

國家原子能科技研究院
委託研究計畫研究報告

生質甲烷新商業模式與成本效益推估研究
A Study on the Commercialization and Cost Effectiveness
Assessment of Biomethane as a New Business Model

計畫編號：112B009

受委託機關(構)：財團法人中華經濟研究院

計畫主持人：陳中舜

研究期程：中華民國112年5月25日至112年11月30日

研究經費：新台幣820,000元

國原院聯絡人員：邱秀玫

報告日期：112年11月22日

目 錄

目 錄	1
中文摘要	3
Abstract	4
壹、計畫緣起與目的	5
貳、研究方法與過程	10
一、文獻回顧	10
(一) 厭氧消化	10
(二) 氣化	12
二、臺灣各縣市農業資源物潛在生質沼氣量推估	16
(一) 背景說明	16
(二) 情境說明	17
三、臺灣各縣市生質沼氣潛在總供應量	25
(一) 優先設置生質沼氣潛在場址區域	27
四、成本案例研究	32
(一) 範例一：北愛爾蘭厭氧消化廠提純成本與效益	32
(二) 範例二：運輸及儲存成本	38
(三) 範例三：外部性	39

參、結論與建議.....	52
一、建廠位置	52
二、新興應用	53
三、對台灣的建議.....	56
肆、附錄.....	58
伍、參考文獻.....	66

中文摘要

生質甲烷工程是指採用厭氧消化技術處理各類有機廢棄物（水）製取沼氣並加以精煉再利用的系統工程，是能源化、減量化、無害化處理農村有機廢棄物、生活垃圾、畜禽糞汙的主要途徑。

本計畫將透過地理資訊系統與相關統計，並透與內外部成本效益分析，找出適合台灣營運之2種創新商業模式與1個可能廠址，以利後續的落實與推廣。

關鍵詞：生質甲烷、地理資訊系統、創新商業模式、可能廠址

Abstract

The term "biomethane engineering" refers to a system engineering approach that utilizes anaerobic digestion technology to treat various types of organic waste (water) and produce biogas, which is then refined and reused. It is a primary method for energy recovery, waste reduction, and harmless treatment of organic waste in rural areas, including agricultural organic waste, municipal solid waste, and animal manure.

This project will use geographic information systems and relevant statistics, and through internal and external cost-benefit analysis, suitable innovative business models and potential plant locations for operation in Taiwan will be identified to facilitate subsequent implementation and promotion.

Keywords : Biomethane, Geographic Information System, Innovative Business Model, Potential Plant Location.

壹、計畫緣起與目的

根據國際能源署（IEA）的分類定義，¹生質沼氣是在無氧環境中通過有機物的厭氧消化產生的甲烷、二氧化碳和少量其他氣體的混合物。生質沼氣的精確組成取決於原料和生產途徑的類型，包括以下主要技術：

1. 生物消化器：這些是密封的系統（例如容器或槽），其中有機物質在水中稀釋後被自然存在的微生物分解。在使用生質沼氣之前，通常會去除污染物和水分。
2. 垃圾填埋氣回收系統：在垃圾填埋場的無氧條件下，城市固體廢棄物（MSW）的分解會產生生質沼氣。可以使用管道和萃取井以及壓縮機捕獲生質沼氣，將其引導到中央集氣點。
3. 污水處理廠：這些廠可以配備以從污泥中回收有機物、固體物和氮磷等營養物質的設備。經進一步處理，污泥可以作為輸入物在厭氧消化器中生產生質沼氣。

生質沼氣的甲烷含量通常在體積上介於45%至75%之間，其餘大部分是二氧化碳。這種變化意味著生質沼氣的能量含量會有所不同；其低熱值（LHV）介於16 MJ/m³至28 MJ/m³之間。生質沼氣可以直接用於發電和供熱，也可以用作烹飪的能源。

而所謂生質甲烷（也被稱為「再生天然氣」）是一種接近純甲烷的能源，通過「升級」生質沼氣（去除生質沼氣中存在的二氧化碳和其他污染物）或通過固體生物質氣化後的甲烷化產生：

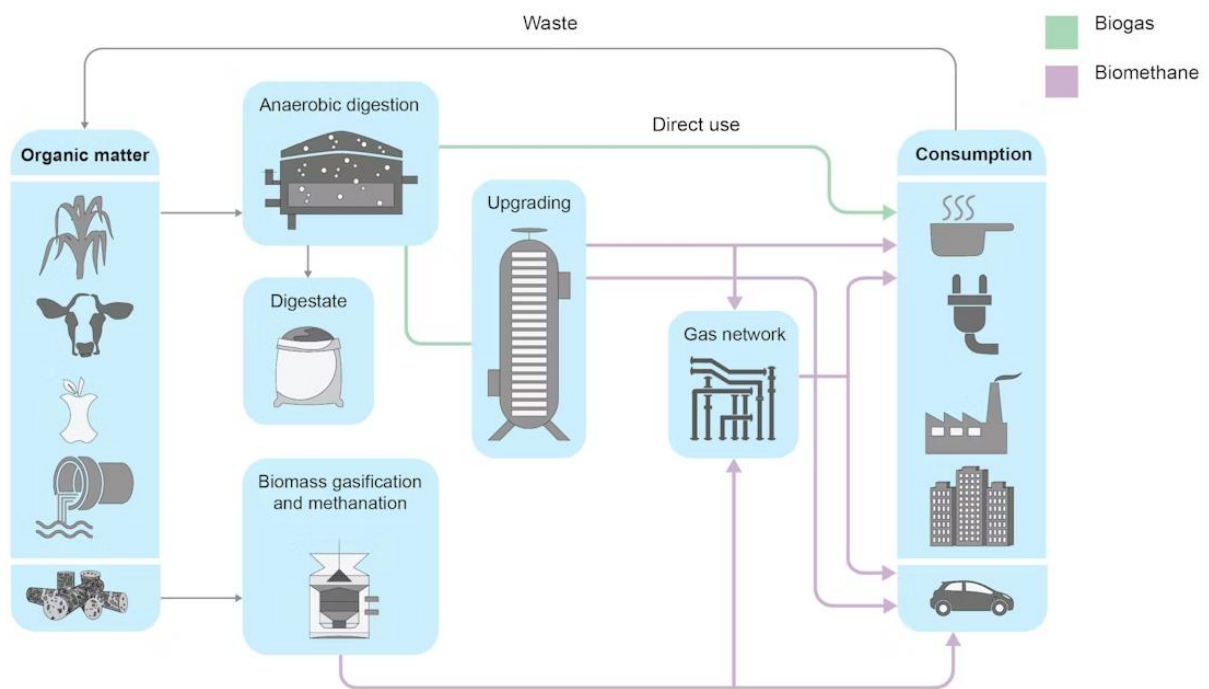
1. 生質沼氣升級：這占當今全球總生質甲烷產量約90%。升級技術

¹ <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/an-introduction-to-biogas-and-biomethane>

利用生質沼氣中各種氣體的不同特性將其分離，如今全球水洗滌和膜分離占生質甲烷生產近60%（Cedigaz, 2019）。

2. 固體生物質氣化後的甲烷：木質生物質首先在高溫（700~800°C）和高壓的低氧環境中分解。在這些條件下，生物質被轉化為合成氣，主要由一氧化碳、氫氣和甲烷組成。為了生產純淨的生質甲烷，將清除合成氣中酸性和腐蝕性成分。然後，甲烷化過程使用催化劑促進氫氣和一氧化碳或二氧化碳之間的反應以產生甲烷。在此過程結束時，將去除剩餘的二氧化碳或水。

生質甲烷的低熱值約為36 MJ/m³，如同現有的天然氣，因此可以在不需要更改傳輸、配送基礎設施或使用設備的情況下使用，並且完全兼容於天然氣車輛中使用（圖1）。



資料來源：IEA。

圖1 沼氣和生物甲烷多元供需途徑

可以使用多種原料來生產生質甲烷。不同類型的殘渣或廢棄物可被大致分為四個原料類別：農作物殘渣、動物糞便、城市固體廢棄物（MSW）中的有機部分（包括工業廢棄物）、以及污水污泥。

使用廢棄物和殘渣作為原料可以避免與能源作物相關的土地利用問題，此外栽種能源作物還需要肥料（通常是由化石燃料生產的），在評估不同沼氣生產途徑的生命周期排放時，這一點需要納入考量。使用廢棄物和殘渣作為原料可以捕獲本來可能在分解過程中逸散到大氣中的甲烷。

大部分生質甲烷的生產來自於沼氣的提純，因此其原料與上述所描述的相同。然而，通過氣化途徑生產生質甲烷可以使用木質生物質（除了城市固體廢棄物和農業殘渣之外）作為原料，其中包括林業廢棄物和木材加工的殘渣。

沼氣的發展在全球各地並不平衡，因為它不僅取決於原料的取得與成本，還取決於鼓勵沼氣生產和使用的政策。歐洲、中國大陸和美國占全球生產的90%。

歐洲是當今最大的沼氣生產地區。德國是最大的市場，擁有歐洲三分之二的沼氣廠容量。能源作物是支撐德國沼氣產業成長的主要原料選擇，但最近的政策趨向更多使用農作物殘渣、連作作物、畜禽廢棄物以及捕獲掩埋區的甲烷。其他國家如丹麥、法國、義大利和荷蘭也積極促進沼氣生產。

在中國大陸，政策鼓勵在農村地區安裝家庭規模的消化器，希望可以提高對生質能源和清潔燃料的使用，這些消化器目前占沼氣容量約70%。目前已宣布了不同的計劃，以利安裝更大規模的汽電共生廠（可同時生產熱能和電力的工廠）。此外，中國國家發展和改革委

員會於2019年底發布了一份關於沼氣產業化和升級為生質甲烷的指導文件，也支持生質甲烷在交通領域的使用。

在美國，沼氣的主要途徑是通過掩埋區氣體收集，目前占其沼氣生產的近90%。對於從農業廢棄物中生產沼氣也越來越感興趣，因為美國國內牲畜市場可提供近三分之一的甲烷排放(USDA, 2016年)。由於各州和聯邦的支持，美國在全球範圍內也引領著生質甲烷在交通領域的使用。

在近期歐盟認為生質甲烷在REPowerEU計劃中扮演著重要角色，²其目標是多元化天然氣供應，減少對俄羅斯化石燃料的依賴，同時降低天然氣價格波動帶來的風險。作為永續且可供應的能源來源，擴大生質甲烷的生產和使用也有助於應對氣候危機。因此，到2030年希望每年能生產350億m³的生質甲烷。

為了實現這一目標，歐盟委員會在2022年5月提出了一份文件，倡議一些可能的行動，以發揮歐盟各國沼氣和生質甲烷的潛力。歐盟希望支持沼氣的永續生產，進一步升級為生質甲烷，並直接從廢棄物和殘渣中生產生質甲烷，避免使用食物和飼料的原料，以免引發土地使用問題。同時，還希望建立永續和安全注入天然氣管線的條件。到2024年，歐盟各國將分開收集有機廢棄物，這將成為擴大永續生質甲烷生產並為農民和林業創造新的商機與收入。

為了達到REPowerEU計劃中設定的生質甲烷目標，其中一個主要提議是建立一個沼氣和生質甲烷產業夥伴關係，以促進永續生產和使用生質甲烷。

這個生質甲烷產業夥伴關係(BIP)在2022年9月28日啟動。它的

² https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/biomethane_en

目標是支持到2030年時每年生產和使用350億m³永續生質甲烷的歐盟目標，並為未來進一步擴大生質甲烷潛力創造條件。BIP將促進委員會、歐盟國家、行業代表、原料生產者、學術界和非政府組織之間的多方參與合作。委員會將密切合作歐盟國家，支持它們制定關於生質甲烷生產的國家戰略，並促進與鄰國和加入國（包括烏克蘭）在生質甲烷領域的合作。

委員會也考慮擴大《永續能源指令》的範圍，以包括所有生質甲烷的使用。同時，委員會的許可建議將有助於促進新的沼氣和生質甲烷投資。此外，通過提供沼氣提純為生質甲烷的獎勵，可以幫助降低個別企業生產生質甲烷的成本。

另外一項提議的行動包括從基礎設施的角度評估生質甲烷所面臨的挑戰、瓶頸和可能的措施，以推廣成本效益較高的生質甲烷。各國政府機構、能源營運商和電力供應商應評估投資挑戰，以增加生質甲烷的使用量並將分散的生產地點與遠距離的消費中心連接起來。

永續生質甲烷技術的普及需要持續提供資金補助和資助機制。這包括簡化現有的資金來源，像是農業政策、基礎建設基金、國家復甦計劃、科研項目和環保基金等等。需要投資於創新技術，幫助沼氣轉換成生質甲烷並將其整合到天然氣中，這樣的資金支持將有助於推動生質甲烷的生產和應用。

貳、研究方法與過程

一、文獻回顧

2017年歐洲委員會永續交通論壇下先進生物燃料小組（Sub-Group on Advanced Biofuels，SGAB）的研究報告了有關一系列生物燃料當前生產成本的數據，透過制定問卷與業界和該領域內其他參與者的廣泛接觸，確定特定技術發展的狀態並評估當前的生產成本。2020年IEA延續SGAB的成果，³更新生物燃料的成本資訊，並通過與產業進行對話確定成本降低的範圍。

IEA詢問89家已經建造和開始試營運的廠商，這些公司涉及各種技術和燃料，分布在歐洲、北美、南美和亞洲。其中約有38家公司提交了問卷，透過問卷收集的數據可以更新燃料的生產成本估算。對於一些不太成熟的途徑，無論是來自產業還是文獻，都缺乏足夠的資訊來進行詳細的分析，因此以下將分別介紹其中兩種技術的成本。

（一）厭氧消化

厭氧消化（anaerobic digestion，AD）技術通常使用水分含量較高的原料，近年來廢棄物中的固體原料（含有30~35%的乾性物質）也越來越多地用於固態發酵。原料在厭氧條件下，溫度控制在35°C到60°C之間，停留時間取決於所使用的原料和溫度，通常為一天到五十天。轉化後的沼氣主要含有50~70%的甲烷，二氧化碳和一些微小成分/污染物。為了將沼氣提純成生質甲烷，需要去除二氧化碳和污染物，使其甲烷含量達到97%以上，有多種已驗證的技術可用於此。

使用這項技術的沼氣廠僅在歐洲就有18,000家，超過95%是小規模（平均0.5 MW）的分散式汽電共生（CHP）廠。在2017年，歐洲

³ Advanced Biofuels—Potential for Cost Reduction, 2020, IEA.

只有500多家沼氣廠將沼氣提純為生質甲烷，其中200家位於德國，近100家位於英國，瑞典有65家，2017年歐洲的生質甲烷生產量達到了17 TWh，是預定產量的三分之一，許多工廠無法達到預定的產量。投資成本大約為1,500~2,000歐元/kW（51,000~68,000台幣/kW）。⁴

營運成本約為投資成本的10~15%，主要成本為過程所需的熱能、沼氣廠以及電力。營運成本很大程度取決於規模，人員薪資在較小的規模下可能成為主要成本，其次原料的選擇也對整體經濟有很大影響。

沼氣廠可以使用多種原料，包括有機廢棄物、動物糞便、污水處理廠的污泥、食品和肉類加工廠的廢棄物。此外，能源作物和稻草可以單獨使用或與其他原料結合使用。原料成本的範圍可以從負成本到100歐元/噸（3,400台幣/噸）不等，來自各種原料的沼氣產量實際上可能在每噸乾性物質150 Nm³到600 Nm³之間。⁵IEA估計原料對最終產品成本的貢獻範圍在-13~50歐元/MWh（-442~1,700台幣/MWh）之間（表1）。

表1 厭氧消化產生沼氣成本結構

	低成本	高成本
投資成本（台幣/kW）	51,000	68,000
轉換為每單位產品成本（台幣/MWh）		
資本成本	850	1,122
原料成本	-442	1,700
營運成本	952	1,292
總成本	1,360	4,080

資料來源：IEA。

⁴ 本報告中歐元：台幣匯率設定為34:1。

⁵ Nm³是指在攝氏0度且1個標準大氣壓下的氣體體積。

（二） 氣化

氣化為從各種生物質原料（木質生物質、廢棄物、制漿廠中的黑液、農業副產品等）中產生合成氣，接著進一步處理合成氣以產生一系列產品。

主要的過程步驟如下。原料通過預處理進行乾燥，並縮小至適應特定氣化技術的尺寸，然後將其送入氣化器中，通常在較高的壓力下使用純氧和蒸汽作為氧化劑轉換為合成氣。產生的原始合成氣經過處理去除雜質和二氧化碳，接著將乾淨的氣體送入合成裝置生產所需的產品。生產生質甲烷可能會選擇使用低溫間接加熱的氣化器系統，因為它可以在氣化器中直接生成大量甲烷，並且可以避免氧氣製造廠的投資。

能量的總體轉換效率是上述主要步驟的個別轉換效率的乘積。從收到的原料到產出的總體能量轉換效率通常在40~65%的能量範圍內。對蒸汽和熱等副產品的有效利用可以將工廠的總體能效提高5~10%。

SGAB指出甲烷工廠的資本成本範圍在1600~2400歐元/MW（54,400~81,600台幣/MW）之間，原料成本通常為20歐元/MWh（680台幣/MWh），營運成本（包括人員薪資、維護、公用事業成本，催化劑更換和消耗的化學品等）通常約占生產總成本的10~25%，相當於投資成本約5~6%。這些成本估算主要來自正在建設及試營運的工廠，尚不清楚這些工廠是否能夠實現長時間的運轉（8,000小時）和產品品質的保證。

IEA的成本估算相比SGAB的成本並未發生結構性變化，但對資本和營運成本的估算有所變動。IEA分析的投資成本比SGAB報告中

的成本高出25%，主要是因為資料中採用了許多大氣氣化爐（atmospheric gasifier）作為計算依據，影響了生產成本中的資本成本。

IEA預估生物質原料成本落在10~20歐元/MWh（340~680台幣/MWh）之間，取決於使用較低成本的美洲或是較高成本的歐洲，廢棄物的成本為-13歐元/MWh（-442台幣/MWh）。

表2 SGAB及IEA評估不同原料低、高成本比較

	生物質（SGAB）		生物質（IEA）		廢棄物（IEA）	
	低成本	高成本	低成本	高成本	低成本	高成本
資本成本 （台幣/kW）	54,400	81,600	68,000	102,000	88,400	122,400
轉換效率（%）	65	60	65	60	50	50
原料成本 （台幣/MWh）	680	680	340	680	-442	0
轉換成單位成本（台幣/MWh）						
資本成本	884	1,326	1,122	1,666	1,462	2,006
原料成本	1,054	1,122	510	1,122	-850	0
營運成本	442	612	476	1,020	1,020	1,020
總成本	2,380	3,094	2,108	3,808	1,632	3,026

資料來源：IEA。

氣化形式的生質甲烷可以由各種不同原料轉換而來，IEA大致將其分為以下四種：

1. 廢棄物：沒有其他有用用途的材料，通常需要花費資源來管理。
2. 加工殘渣和副產品：材料來自工業過程的一部分，已經在特定地點以預處理方式大量生產，例如用於生產顆粒的木屑或糖蔗渣。
3. 本地可收集的殘渣：這些材料是在收穫過程中產生的，但分散在各處，必須被集中收集並處理後才能使用，例如穀物秸稈、林業殘渣或甘蔗秸稈。

4. 國際貿易的原料：例如木屑顆粒，在工業場地上可獲得的原始材料，經過廣泛處理以提高能量密度，然後長距離運輸以供應大規模轉換廠。

此外，主要作物也可用作原料。這些作物通常提供食物、飼料或其他產品使用，但也同時可用於能源生產，例如玉米、糖和蔬菜，其價格由大宗市場決定。這些作物通常既提供能源原料，又提供有價值的副產品，如可作為飼料的玉米酒粕（DDGS）或壓餅。能源作物也可以作為輪作計劃的一部分種植，不會影響同一片土地上的食物和飼料生產，或者通過在農民不再使用的邊陲土地上進行低強度耕作來種植。在這些情況下，所有生產、收穫和預處理成本必須由買方承擔。

這些資源中的一些成本可能很低，將這些材料用作原物料的使用者可能只需要支付較低的成本。然而一旦市場開始發展，尤其是使用者之間開始競爭資源，這些原物料可能會變得更有價值，並且原料價格可能會與產品價值相關聯（Naumann等，2019年）。

舉例來說，在歐洲建造工廠使用廢木材（來自拆除工地等）發電，這些材料本來會被送往掩埋場，因此工廠設想只用為這些材料支付較低廉的費用即可取得，然而隨著需求超過當地供應，這些廢棄物變得稀缺，現在反而具有額外價值，必需花費額外成本購買這些廢木材，因此損害了已經建成的工廠盈利能力。

開發商傾向於透過選擇工廠位置，確保不會爭奪當地資源，並通過長期合約策略來鎖定供應，以確保供應能夠持續一段時間。公司還尋求實現供應鏈的垂直一體化，以便控制供應鏈的更多元素。例如，英國的生物能源集團Drax已在美國南部投資了木屑顆粒廠；Neste和

其他氫化植物油製程（HVO）公司已取得了廢食用油（UCO）合約；UPM正在發展南美洲的能源作物供應鏈。

表3 各項原料成本

項目 ⁶	濕料裝袋後單價 成本 ⁺ (元/公斤) ⁶	濕料直接進廠單價 成本（未經包裝） ⁺ (元/公斤) ⁶	乾燥後裝袋保存 單價成本 ⁺ (元/公斤) ⁶
食用玉米 ⁶	0.57 ⁶	0.42 ⁶	2.01 ⁶
玉米穗軸 ⁶	0.75 ⁶	0.6 ⁶	2.19 ⁶
狼尾草 ⁶	1.35 ⁶	1.20 ⁶	2.79 ⁶
甜高粱 ⁶	1.34 ⁶	1.19 ⁶	2.78 ⁶

資料來源：本研究整理。

有關稻稈的成交價格可參照食用玉米稈，這兩者在當時研究時，其實是歸屬同類（副產品，並且都是留存於農地，須以機具收穫及收集）；而綠肥作物價格則可參照狼尾草及甜高粱，主要是綠肥作物與雜糧作物種植方式相同（甚至有些地區也會將狼尾草直接作綠肥），其最大的成本支出也都是為土地租金，因此綠肥作物價格與狼尾草及甜高粱趨近。

中經院研究團隊於2022年計劃中已完成我國相關料源之調查。⁶綜整各縣市可供作作內生質能產業運作所需之潛力料源供應量能及項目，可發現農業資源物因其作物產出時序關係，在供給面同樣面臨太陽光、風力再生能源使用，供給（日夜、季節及氣候）與需求時間未能完全銜接之間歇性問題，與燃氣燃煤發電相比在量能上仍有不少限制，爰本研究就上述整體料源時序及熱區空間分布進行歸納說

⁶ 中經院（2022），國內燃氣發電應用情境與商業模式評估研究。

明，使生質能產業能明確得知其料源供應相關時序，以作為後續應用時得以參考俾擬定操作規劃。

二、臺灣各縣市農業資源物潛在生質沼氣量推估

（一）背景說明

為配合達成2025非核家園及政府能源轉型政策訂於2025年之再生能源發電量占比目標，如何妥善利用天然資源，成為不可或缺的關鍵因素。其中，除前述內文所提，生質沼氣的新興循環經濟模式需建立在跨產業鏈、新循環體系之上，俾產生高價化及新使用型態效益，而生質沼氣對於環境有諸多好處，包含：1、減少溫室氣體排放：生質沼氣燃燒所排放的二氧化碳量較傳統化石燃料低，助於減緩氣候變遷並減少溫室氣體排放，且生物質發酵過程也相較傳統化石燃料使用產生較少溫室氣體；2、減少大氣污染：相對於傳統化石燃料，生質沼氣燃燒排放所產生之氮氧化物、硫化物和懸浮微粒等污染物皆明顯漸少，助於改善空氣品質，並減少酸雨和大氣中有毒污染物對健康及環境之影響；3、促進土地永續利用：生質沼氣的料源路徑廣泛，包括農業廢棄物、畜禽糞便及廚餘殘渣等，為高度資源再利用，有效減少廢棄物並推動循環經濟，助於維繫土地資源及地力；4、減少甲烷排放：生質沼氣的產製過程可透過捕集甲烷，減少溫室氣體高排放係數之甲烷逸散到大氣中，助於減緩氣候變化；5、增進能源多樣性：以生質沼氣作為再生能源來源，除有助於降低對傳統化石燃料的依賴，而能源多樣性亦有助於增加區域電網的穩定性與供需平衡。

爰此，生質沼氣作為傳統化石能源的供應使用，在我國能源轉型中扮演極具重要角色，同時生質沼氣的應用除技術面研發外，不同於其他傳統燃油燃氣等發電方式係以進口化石燃料原料為主，生質沼

氣技術應用因受到料源體積及運輸成本等考量，須以在地化料源作為主要評估因素，下述將承續前述針對臺灣近年有關畜牧業、高纖維作物及綠肥作物等各縣市資料，並以料源特性分為「保守情境評估」及「積極情境評估」兩情境，規劃作生質沼氣具潛力之縣市地區，提供本案之參考。

（二）情境說明

以生質料源作為供應規劃，除以量為主要評估因子，更需以料源正副產品（如收穫後剩餘之農業資源物）進行數量管理作為潛在可供應量推估，又生質料源議題癥結點為供給與需求是否得以獲得平衡，換言之，在考量料源特性之背景情形下，可進一步以「縣市層級」及「料源種類」作為臺灣發展生質沼氣資源重點縣市規劃依據。

基於此，將以最新各項生質料源進行生質沼氣潛在可供應各月份，以畜牧業主要養殖家畜（豬）、穀物作物（稻稈）及高纖維作物（綠肥作物、蔗渣及玉米稈）等代表性農業資源物進行推估，又生質料源依據不同的生物質類型及前處理情況而有不同的沼氣產量表，如禽畜糞及農業資源物的水分含量差異等，因此生質沼氣的產量將取決於生質原料的種類、處理過程、發酵條件和沼氣設施效率等因素。故研究嘗試將生質料源經換算為每立方公尺（ m^3 ）單位，並以最新之年平均數量資料計算，推估各縣市生質沼氣年均潛在供應量作為本文保守情境評估，並以加入生質作物時序因素做為本文積極情境估計。

1. 生質沼氣保守情境

本文所規劃生質沼氣保守情境，係以不易受季節時序影響且具有穩定產出特性，滿足長時間連續供應需求等特性之料源作為選取，

由於動物蛋白質為國人日常飲食所必須，故在供應須保持全年度皆有供應以滿足市場需求，因此無論是家畜或家禽類，國內飼養數量長年保持一定頭、隻數，又畜牧場所產之排遺經回收集中後，其用途供種植作物澆灌使用外，可作為供熱、生質沼氣使用之料源來源，爰本研究規劃生殖沼氣保守情境將以臺灣畜牧業家畜及家禽作為主要供應源進行評估。

(1) 家畜

依行政院農業部統計，臺灣養殖仔豬及成豬平均體重60公斤，每頭豬每天可以產生0.25 m³沼氣，以此量作為本文家畜平均重量及潛在生質沼氣供應量係數值依據，以110年度臺灣年平均在養豬隻數577萬5,400頭、豬糞資源化利用率40%計算，每年約產出2億1080萬2100 m³沼氣。

(2) 家禽

參照行政院農業部資料及文獻推估，每隻成年雞隻每年約可產生40公斤糞便，而產出每噸雞糞潛在可供作為沼氣之平均量為150 m³，研究以此量作為本文家禽平均重量及潛在生質沼氣供應量係數值依據，以110年度臺灣年平均在養家禽隻數1億2,038萬3,722隻、家禽糞資源化利用率80%計算，每年約產出36億1,151萬1,660 m³沼氣。

觀察下表4及圖2，臺灣各縣市在畜牧業具備之生質沼氣潛在供應量方面，以彰化縣、屏東縣、雲林縣、臺南市及嘉義縣潛在可供應量最多，主要係家畜類中的豬隻養殖及家禽類中的雞隻養殖為主要潛在供應料源來源，又雲林縣及彰化縣分別為上述兩類別的圈養大縣，同時，屏東在此兩畜牧業類別中數量僅次於雲林、彰化兩主要縣市，因此就料源的集運及蒐集面向進行考量，彰化縣、屏東縣及雲林

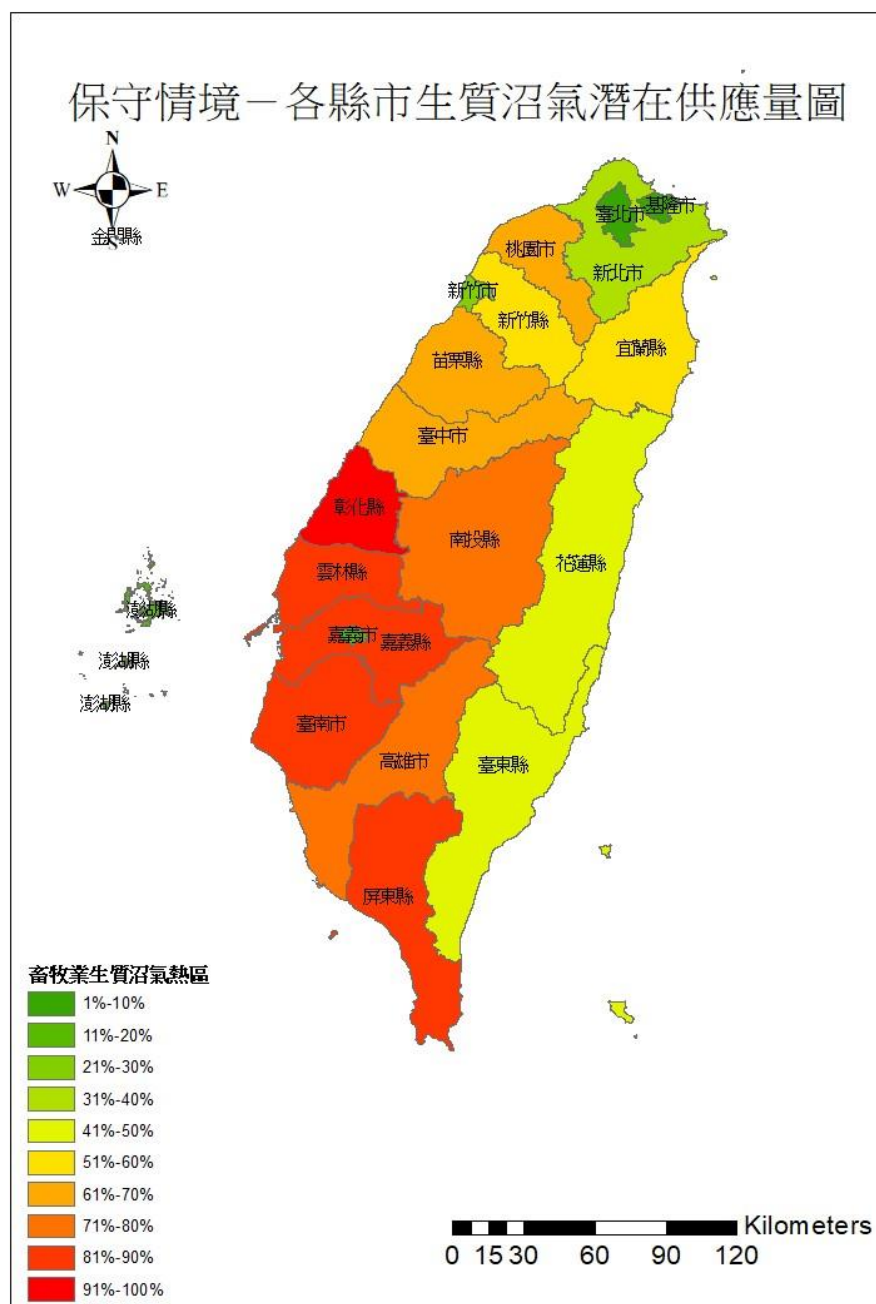
縣為保守情境下，本研究優先建議可進一步評估建置生質沼氣之區域。

表 4 保守情境一生質沼氣潛在供應量

單位：隻／立方公尺

縣市	家畜隻數	家畜潛在年供應量	家禽隻數	家禽潛在年供應量	畜牧業沼氣年供應量
彰化縣	814,146	29,716,329	29,729,248	891,877,440	921,593,769
屏東縣	1,256,563	45,864,550	21,089,351	632,680,530	678,545,080
雲林縣	1,595,929	58,251,409	16,963,313	508,899,390	567,150,799
臺南市	630,254	23,004,271	15,620,257	468,607,710	491,611,981
嘉義縣	411,647	15,025,116	14,481,323	434,439,690	449,464,806
高雄市	319,169	11,649,669	5,917,855	177,535,650	189,185,319
南投縣	89,822	3,278,503	4,693,742	140,812,260	144,090,763
苗栗縣	71,305	2,602,633	2,668,717	80,061,510	82,664,143
桃園市	129,156	4,714,194	2,223,751	66,712,530	71,426,724
臺中市	105,067	3,834,946	2,154,026	64,620,780	68,455,726
新竹縣	66,612	2,431,338	1,641,175	49,235,250	51,666,588
宜蘭縣	48,017	1,752,621	1,355,858	40,675,740	42,428,361
臺東縣	58,339	2,129,374	912,103	27,363,090	29,492,464
花蓮縣	76,566	2,794,659	529,193	15,875,790	18,670,449
新北市	58,782	2,145,543	183,530	5,505,900	7,651,443
金門縣	23,657	863,481	137,864	4,135,920	4,999,401
新竹市	11,058	403,617	42,130	1,263,900	1,667,517
嘉義市	2,823	103,040	19,570	587,100	690,140
澎湖縣	6,107	222,906	17,369	521,070	743,976
臺北市	233	8,505	2,174	65,220	73,725
連江縣	101	3,687	588	17,640	21,327
基隆市	47	1,716	585	17,550	19,266
合計	5,775,400	210,802,100	120,383,722	3,611,511,660	3,822,313,760

資料來源：行政院農業部（2022）、本研究分析。



資料來源：本研究分析繪製。

圖2 保守情境－各縣市生質沼氣潛在供應量

2. 生質沼氣積極情境

有別於前述保守情境，於此所規劃生質沼氣積極情境，係以涵蓋

各季節作物，經考量作物生長時序後所規劃之情境，其料源選項為直接產出於地表之生質作物及可供作料源之農業生產副產品，主要有高纖維作物（如甘蔗、狼尾草）、穀物作物（如稻米、食用玉米）、油脂作物（如豆科植物等綠肥作物），並將其用於生產生質沼氣，除可有效去化農業廢棄物將其資源化外，更可提升我國能源多樣性來源，增加能源供應選項，並作為前述保守情境之補充。

(1) 稻稈

以稻稈為料源，每公噸約可產生75 m³沼氣。以111年臺灣年稻作種植面積23萬8,701公頃計算，約可產出275萬2,224公噸稻米正產物、55萬447公噸稻稈，全年度計可供應4,128萬3,511 m³沼氣，產季1月、6月、7月及12月約可分別產出1,032萬877 m³沼氣供應。

(2) 蔗渣

以蔗渣為料源，每公噸約可產生40 m³沼氣。以111年臺灣年甘蔗種植面積7,914公頃計算，約可產出51萬5,779公噸甘蔗正產物，另每噸甘蔗正產物約產生0.25公噸副產物蔗渣，計111年臺灣年甘蔗種植可產出12萬8,945公噸蔗渣，全年度可供應515萬7,790 m³沼氣，產季1月、2月、3月、4月、11月及12月約可分別產出85萬9631 m³沼氣供應。

(3) 玉米稈

以玉米稈為料源，每公噸約可產生35 m³沼氣。以111年臺灣年食用玉米種植面積1萬5,052公頃計算，約可產出13萬563公噸食用玉米正產物，另每噸食用玉米正產物約產生0.4公噸副產物玉米稈，全年度可供應182萬7,882 m³沼氣，產季1月、7月、8月及12月約可分別產出45萬6,970 m³沼氣。

(4) 綠肥作物

以綠肥作物為料源，其代表性作物有太陽麻、田青、狼尾草及其他豆科植物等，每公噸平均約可產生 67 m^3 沼氣。以111年臺灣綠肥作物種植面積6萬3,618公噸計算，約可產出112萬3,935公噸綠肥作物產物，推估全年度可供應7,530萬3,645 m^3 沼氣，又綠肥作物不同於其他作物品項需參照節氣時分才能有較好的種植收穫，屬全年度皆可收穫之作物，故全年度每月約可皆可產出627萬5,304 m^3 沼氣供應。

不同於前述規劃之保守情境，於此所規劃生質沼氣積極情境，係以涵蓋各季節作物，經考量作物生長時序後所規劃之情境，其料源選項為直接產出於地表之生質作物品項，觀察下表5及圖3，以臺灣各縣市在使用農業資源物下進行之生質沼氣潛在供應量推估，可發現以臺南市、雲林縣、嘉義縣、彰化縣及宜蘭縣可供應之潛在數量最多，主要係稻作生產後的稻稈副產品及綠肥作物為主要潛在供應料源來源，而雲林縣及臺南市分別為上述兩作物項目的主力種植縣市。

值得注意的是，在臺南市、雲林縣及嘉義縣可供應之蔗渣遠高於其他縣市，其原因係為上述縣市為台糖公司現況重點生產甘蔗供製糖使用之地區（供應虎尾糖廠及善化糖廠壓榨原料使用），同時，以蔗渣為料源，每公噸約可產生 40 m^3 沼氣而言，具有一定之產製效率，可作為後續研究近一步研究之標的。

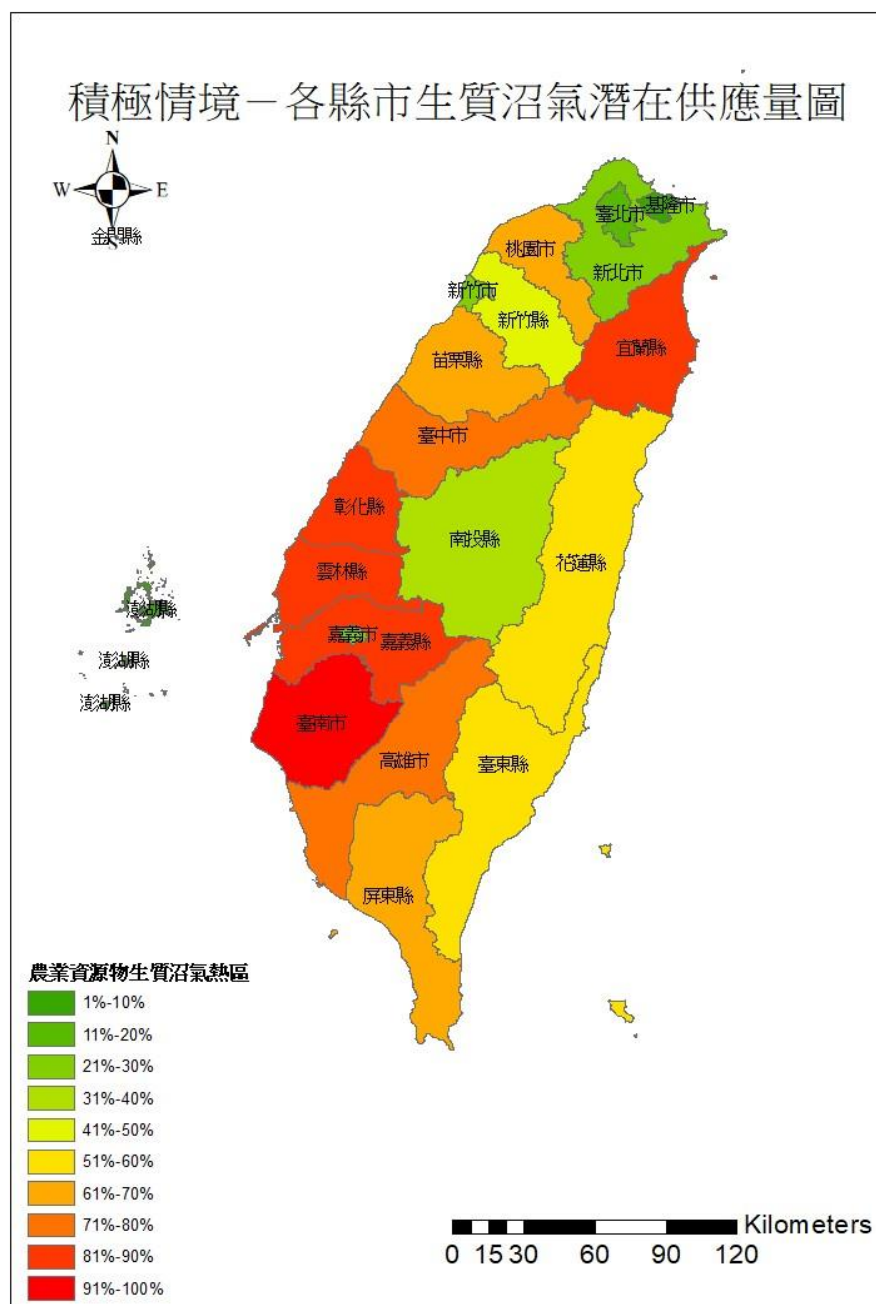
簡言之，以料源的集運及蒐集面向進行考量，臺南市、雲林縣、嘉義縣為積極情境下，本研究優先建議可進一步評估建置生質沼氣之區域。

表 5 積極情境—生質沼氣潛在供應量

單位：立方公尺

縣市	稻作潛在年供應量	蔗渣潛在年供應量	玉米稈潛在年供應量	綠肥作物潛在年供應量	農業資源物潛在年供應量
臺南市	2,941,015	1,051,050	225,540	24,690,237	28,907,842
雲林縣	6,951,206	2,040,290	1,116,402	5,818,816	15,926,714
嘉義縣	4,808,529	1,427,500	138,712	8,206,495	14,581,236
彰化縣	7,647,157	610,310	49,952	4,215,238	12,522,657
宜蘭縣	1,931,852	-	3,178	10,404,162	12,339,192
高雄市	899,686	28,640	80,290	6,558,161	7,566,777
臺中市	3,538,557	-	26,250	3,008,367	6,573,174
苗栗縣	1,510,891	-	22,904	3,478,372	5,012,167
屏東縣	1,207,883	-	46,326	3,749,052	5,003,261
桃園市	2,271,179	-	5,908	2,388,349	4,665,436
花蓮縣	3,001,893	-	43,554	1,072,938	4,118,385
臺東縣	2,248,696	-	19,544	1,081,916	3,350,156
新竹縣	1,137,492	-	15,162	180,096	1,332,750
南投縣	687,649	-	18,634	128,305	834,588
嘉義市	223,106	-	4,102	65,861	293,069
新竹市	174,334	-	840	59,228	234,402
新北市	25,424	-	5,894	197,985	229,303
臺北市	76,963	-	812	67	77,842
澎湖縣	-	-	3,668	-	3,668
金門縣	-	-	182	-	182
基隆市	-	-	28	-	28
連江縣	-	-	-	-	0
合計	41,283,511	5,157,790	1,827,882	75,303,645	123,572,828

資料來源：行政院農業部（2023）、本研究分析。



資料來源：本研究分析繪製。

圖3 積極情境－各縣市生質沼氣潛在供應量

三、臺灣各縣市生質沼氣潛在總供應量

綜整上述保守情境及積極情境針對臺灣當前各縣市潛在之生質沼氣年供應總量，可發現以生產家畜家禽的縣市將為我國生質沼氣重點供應來源。如彰化縣、屏東縣、雲林縣、臺南市及高雄市，其中彰化縣為禽類養殖大縣，又禽類有機物含量高，極具發展生質沼氣潛力，其養殖技術亦具規模化與成熟度，如能結合沼渣沼液循環利用，將可獲得畜牧業產業升級與發展再生能源多樣性雙贏局面；另一方面，針對農業資源物潛在生質沼氣供應，以臺南市、雲林縣、嘉義縣、彰化縣及宜蘭縣潛在可供應量最多，主要係上述縣市在稻作方面及綠肥作物種植皆具有優於其他縣市較高的產出表現。

針對保守情境及積極情境進行臺灣各縣市生質沼氣潛在供應分析，如下表7及圖4，可發現以彰化縣、屏東縣及雲林縣為最具潛力地區，同時，上述縣市亦為我國農業部門大縣，在面對畜牧業及農業生產過程未能去化之剩餘生物質，將可透過資源化進一步去除二氧化碳、矽氧烷及硫化氫等雜質後，產出生質甲烷作為天然氣之替代品使用，爰本研究所提出之重點潛在生質沼氣發展地區，盼作為協助我國農業部門去化廢棄物及達成溫室氣體減量目標之重點發展地區。

表 7 臺灣各縣市生質沼氣潛在總供應量

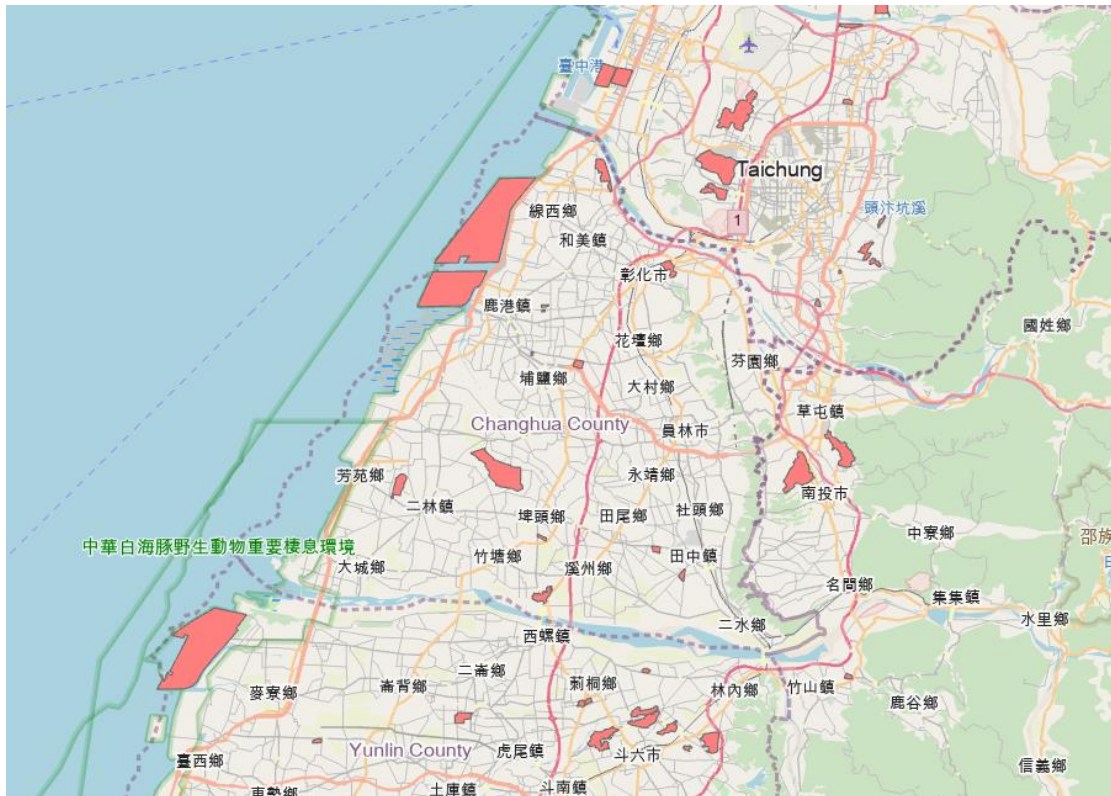
單位：立方公尺

縣市	畜牧業潛在年供應量	農業資源物潛在年供應量	生質沼氣潛在總供應量
彰化縣	921,593,769	12,522,657	934,116,426
屏東縣	678,545,080	5,003,261	683,548,340
雲林縣	567,150,799	15,926,714	583,077,513
臺南市	491,611,981	28,907,842	520,519,823
嘉義縣	449,464,806	14,581,236	464,046,041
高雄市	189,185,319	7,566,777	196,752,095
南投縣	144,090,763	834,588	144,925,351
苗栗縣	82,664,143	5,012,167	87,676,310
桃園市	71,426,724	4,665,436	76,092,160
臺中市	68,455,726	6,573,174	75,028,900
宜蘭縣	42,428,361	12,339,192	54,767,552
新竹縣	51,666,588	1,332,750	52,999,338
臺東縣	29,492,464	3,350,156	32,842,619
花蓮縣	18,670,449	4,118,385	22,788,834
新北市	7,651,443	229,303	7,880,746
金門縣	4,999,401	182	4,999,583
新竹市	1,667,517	234,402	1,901,919
嘉義市	690,140	293,069	983,208
澎湖縣	743,976	3,668	747,644
臺北市	73,725	77,842	151,566
連江縣	21,327	0	21,327
基隆市	19,266	28	19,294
合計	3,822,313,760	123,572,828	3,945,886,588

資料來源：行政院農業部（2023）、本研究分析。

種植所產出的每單位可供轉換生質沼氣的料源，畜牧業所產出之禽畜糞具有較佳的轉換效率，又彰化縣為臺灣畜牧業的主力飼養縣市，而屏東為在養數量僅次於彰化，惟在設址評估外，運輸成本除係指料源蒐集的集運外，另一方面亦須將供應至潛在需求對象的運輸費用考量進去，故在進行設置生質沼氣廠評估時，區位的擇定將決定該項投資是否能產生超額利潤，該項決策除了作為做為去化畜牧業及農業所產出廢棄物之解方外，更能從中獲得預期報酬。

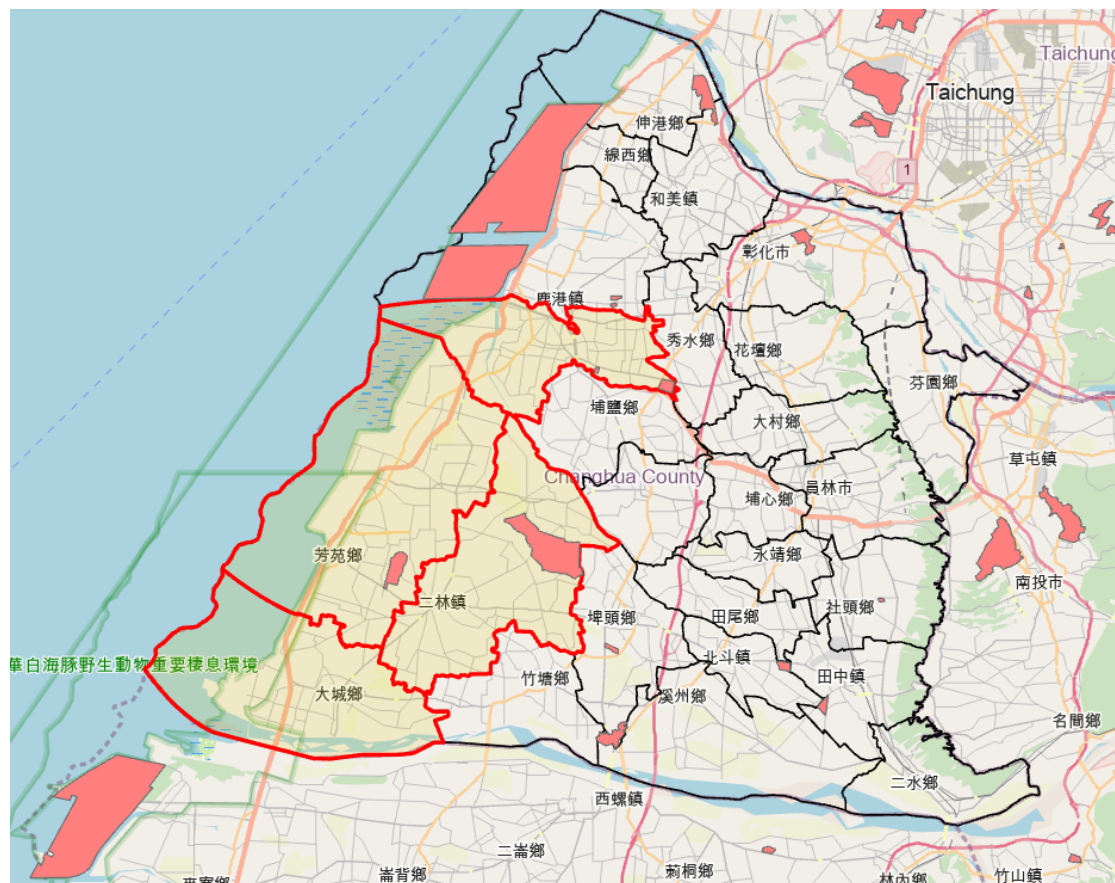
生質沼氣技術的使用，被賦予的期待係其燃燒過程可大幅減少相較傳統化石燃料燃燒使用時含硫物質及粒狀物所帶來的環境污染，減緩對於當地的空間品質損害，而當前我國對於能源需求迫切的中部地區，臺中市設有臺中科學園區、臺中工業區、精密機械科技創新園區以及潭雅神地區各中小工廠，而彰化縣除設有彰化濱海產業園區外，亦有水五金產業及紡織業等對於能源需求迫切的輕工業設置，雲林縣則有仰賴燃煤發電、燃煤汽電共生作為廠區能源供應的台西工業區（如下圖5紅色標示處），換句話說，我國二級產業對於能源轉型壓力最為迫切地區為中部縣市。簡言之，除以料源的蒐集及供應面向考量設置生質沼氣場址，就考量改善臺灣環境品質、增進社會福祉而言，以生質沼氣替代傳統化石燃料使用，係為最具成本有效性之方式。



資料來源：本研究分析繪製。

圖5 臺灣本島工業區中部地區分布

爰此，針對設置生質沼氣場址，本研究擬建議應可首先以毗鄰中部工業區，且具運輸及最具潛在料源供應優勢的彰化縣為重點縣市，並以福興鄉、芳苑鄉、二林鎮及大城鄉為優先設置生質沼氣場址區域（如下圖6），另依據「再生能源發展條例」及「申請農業用地作農業設施容許使用審查辦法」規定略以：所稱綠能設施，指依再生能源發展條例第三條第一項第一款所定太陽能、風力及非抽蓄式水力設施。考量土地利用及符合管制規則，在設置地點處可採未進行現況變更分區編定下，以結合現有農業經營為主要選擇規劃，如後續達相當規模或政策策略需求擬朝向進駐工業區生產生質沼氣，則可結合位於線西鄉及鹿港鎮西側彰化濱海產業園區，呼應該園區核心產業規劃，以減碳、綠色能源作為生質沼氣技術發展及設址藍圖。



資料來源：本研究分析繪製。

圖6 潛在可優先設置生質沼氣廠址區域

本計畫針對可供作生質能發電所需之料源項目及潛在供應量能進行空間分析，發現無論總產量或是產業聚集而言，彰化、雲林、嘉義縣在各項需求料源的分布上具有高度空間聚集，另亦位處臺灣本島中間縣市，具有地理位置及運輸成本優勢，建議規劃生質低碳燃氣應用模式及生質能產業設址地點時，應可就上開縣市為優先設址考量區域。

為提升臺灣電網韌性及改善能源結構，除發展分散式電力係迫切議題外，在電力能源開發及電網建設亦須考量是否得滿足未來用電需求，考量風險趨避及如何以農業資源作為循環經濟之實踐。發展生質低碳燃氣應用模式除著重關注在農、林、漁領域為主料源之生質

燃氣進行料源集運之經濟可行性為首要評估外，多元化物料來源有助於單一物料如面臨之價格波動時，得對於潛在成本風險加以控管並降低供給面的不確定性。基於料源潛在供應量能及時序，建議生質低碳燃氣之應用可採家禽及家畜排遺物直作為基載料源、直接栽植於土壤的農業生產物（穀物作物、高纖維作物及綠肥作物）作為中載料源（綠肥作物）及中、尖載料源（穀物作物、高纖維作物），而廚餘作生質低碳燃氣應用之料源規劃，建議待臺灣廚餘回收系統得獲得較為穩定之處理量時，再就其定位於尖載料源時之執行可行性加以評估。而採搭配方式作為生質料源使用方面，如以畜禽廢水結合農業資源物、解聚技術高溫蒸煮廚餘技術應用於樹枝、落葉等資源物去化，雖現階段仍囿於料源集運可行性而尚未具執行效益，惟基於料源供應多元化因素，後續亦可納入生質低碳燃氣應用潛力情境考量。

本研究針對可供作生質能發電所需之料源項目及潛在供應量能進行空間分析，發現無論總產量或是產業聚集而言，彰化、雲林、嘉義縣在各項需求料源的分布上具高度空間聚集現象，另亦位處臺灣本島中間縣市，具有地理位置及運輸成本優勢，建議規劃生質低碳燃氣應用模式及生質能產業設址地點時，可就上述中南部縣市為優先設址考量區域。

在生質甲烷使用方面，一般最保守之方式可採躉購電價方式，目前獲利仍高於碳權買賣。但若未來國內再生能源市場變化與氫經濟發展後，24 小時綠電或是綠氫需求將更具市場價值。故在今日生產方面可考慮引進多聯產的方式，以增加生質甲烷靈活性，來因應市場變化做最有效之搭配。

本次研究針對不同用戶需求，為生質甲烷提出了3種新興商業模

式，從綠色備用電力、區域再生能源中心、生質甲烷綠氫園區。除了規模差異外，也涵蓋配合國家短中長期之能源發展政策，若可盡早佈局，將有助於企業持續之獲利並促進產業升級。

四、成本案例研究

由於我國尚未有引進生質甲烷之實績，以下將針對國外三個具代表性案例進行說明，並於後文中分別帶入部分本土化數據試算之。

（一）範例一：北愛爾蘭厭氧消化廠提純成本與效益⁷

Mattia De Rosa等人於2020年的研究表示可以透過來自農業部門和有機廢棄物的生物原料，經過厭氧消化來生產沼氣。沼氣的成分和品質取決於所使用的原料類型和採用的AD製程類型，如表8所示。一般情況下，甲烷含量約為50~75%，其餘為污染物，如二氧化碳（25~45%）、氮氣（5%）、水（0~5%）、氧氣（0~5%）、一氧化碳（0~3%）、其他微量氣體（NH₃、H₂S等）。

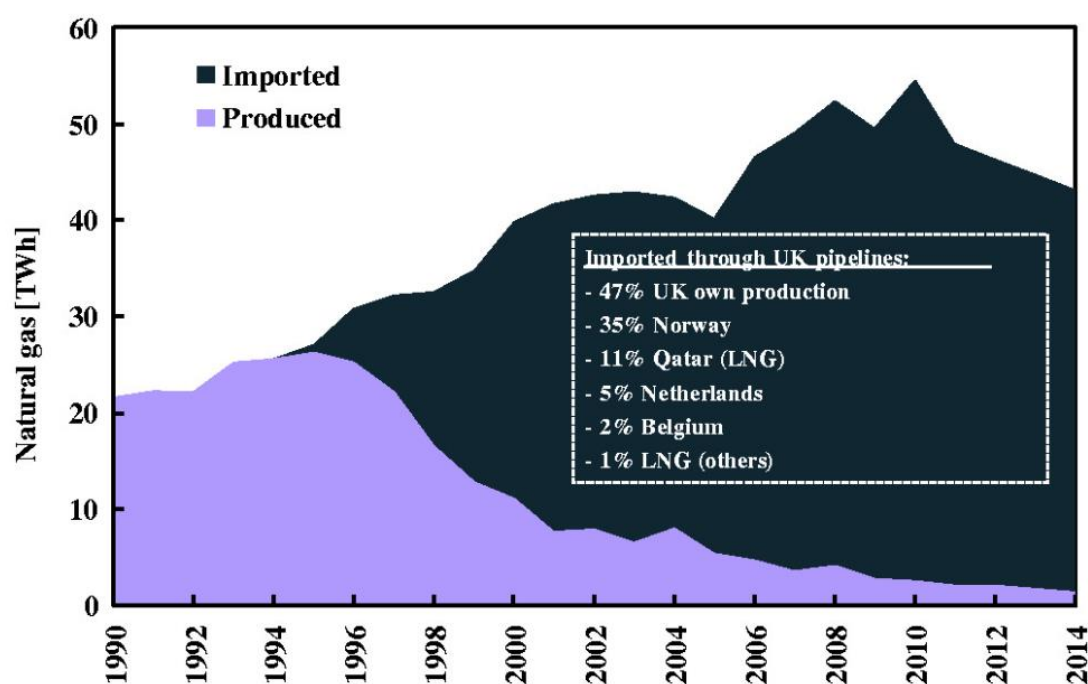
表8 沼氣的化學成分和物理特性

化學成分	單位	生活垃圾	農業廢棄物
甲烷	%	50~60	60~75
二氧化碳	%	34~38	19~33
氮氣	%	0~5	0~1
氧氣	%	0~1	<0.5
水	%	6	6
硫化氫	mg/m ³	100~900	3,000~10,000
氨	mg/m ³	-	50~100
高熱值（HHV）	MJ/kg	25.6	31.8
低熱值（LHV）	MJ/kg	23.2	28.8
密度	kg/m ³	0.93	0.85

資料來源：Rosa, M. D. (2020)。

⁷ Economic assessment of producing and selling biomethane into a regional market. Energy & Environment, 31(1), 60-76, 2020, Rosa, M. D.

在過去的幾十年中，愛爾蘭（包括北愛爾蘭和愛爾蘭共和國）對天然氣的使用不斷增加，目前約占愛爾蘭總初級能源需求的30%，2014年達到約3.9百萬噸油當量（見圖7）。愛爾蘭使用的天然氣約96%通過英國進口，其中約47%來自英國自身生產，35%來自挪威，12%來自液化天然氣（LNG，主要來自卡達）（2014年數據）。



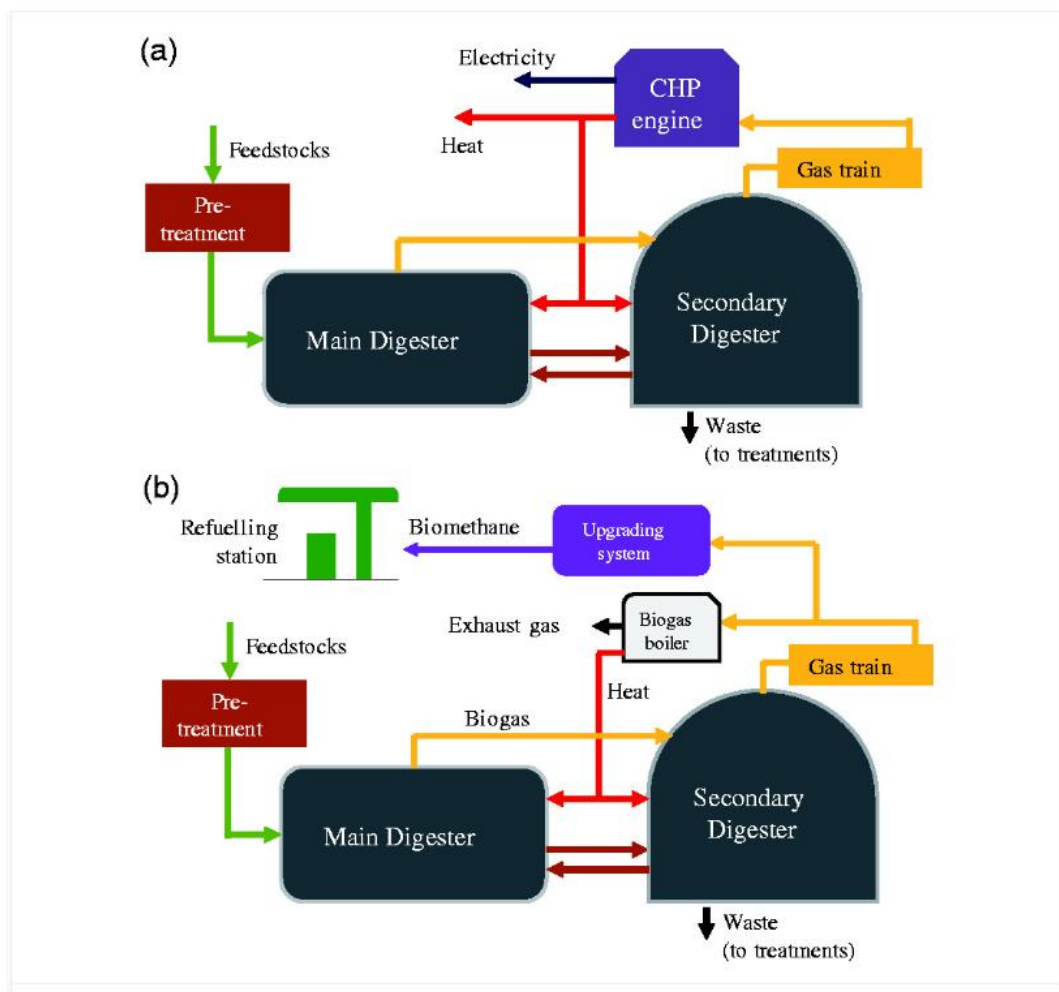
資料來源：愛爾蘭永續能源局和英國能源統計局。

圖7 愛爾蘭天然氣生產和進口的歷史趨勢。

愛爾蘭以其豐富的沼氣生產潛力而聞名，這歸功於大量的有機資源，包括市政、商業和工業有機廢棄物。僅在北愛爾蘭，這些資源被估計在20萬至50萬噸之間，能夠產生北愛爾蘭總用電需求的5%到23%。考慮到現有的資源和經濟激勵措施（再生能源證書），在過去的幾年裡，厭氧消化（AD）已經取得了強大的發展。目前，在北愛爾蘭僅有約42座AD廠正在運營，另有44座已經計劃或獲得批准。北

愛爾蘭生產的大部分沼氣主要用於當地發電，通常輸入電網，以及供應當地的熱能消耗。

報告中顯示愛爾蘭厭氧消化廠每年可處理約16,000噸的飼料（例如草木、牛糞、雞糞等），平均固體物含量為449 m³/噸，沼氣產量為120.3 m³/噸。該廠通過使用汽電共生沼氣發動機（裝有約500 kW的發電功率），轉換效率為40%，同時產生電力和熱能。該廠生產的電力能銷售到市場上，而熱能則在內部回收，以維持消化器內所需的生物溫度。



資料來源：Rosa, M. D. (2020)。

圖8 AD-CHP發電廠簡易流程圖

表9 AD廠消耗及生產數據

	單位	數量
裝置容量	kW	500
原料消耗量	噸/年	16000
甲烷含量	%	55.2
甲烷逸散量	%	4.7
生質甲烷產量	m ³ /年	971570
生質甲烷生產率	m ³ /小時	230
寄生負載（待機功率）	%	15
平均發電量	MWh	3950
投資成本	億台幣	1.331
生產成本	台幣/m ³	9.438
補貼	台幣/MWh	7,020
售電價格	台幣/MWh	2,145

資料來源：Rosa, M. D. (2020)。

生產出來的沼氣可以透過適當的處理產出純度更高的生質甲烷，目前許多技術可用於執行這些過程，以下簡要介紹了最常見的幾種：

1. 變壓吸附（PSA）：使用高度多孔的吸附材料（例如活性炭），根據混合壓力有選擇性地保留氣體污染物（主要是CO₂）。
2. 水洗滌/化學洗滌：CO₂和H₂S的不同溶解度可以使用流體從原始沼氣中去除這些污染物。通常可以使用兩種類型的流體：（i）水，這是處理加壓原始氣體的最常見溶劑。（ii）有機或胺基的化學品，例如二乙醇胺，乙醇胺等。
3. 物理吸附：使用非反應性流體作為吸收劑，以「物理」方式提取污染物。
4. 膜分離：使用具有對一種氣體成分有優先轉移的半透膜，將該氣體從沼氣中分離出來。可以根據所採用的類型使用高壓和低壓膜。

5. 低溫技術：通過利用不同的液化或凝固溫度來實現對原始氣體成分的選擇性分離。可以在特定壓力下（例如10大氣壓）通過逐漸降低溫度直到-85°C來執行。

將沼氣提純為生質甲烷所需的能耗、甲烷逸散率及相關成本對於技術選擇至關重要。表10總結了文獻中每種技術的數據。最常見的技術都有0.24~1 kWh/m³的能耗值，且甲烷逸散率<6%（不包括物理吸收技術，根據工作條件可能達到13%的甲烷逸散率）。最後，將沼氣升級為生物甲烷的總成本可在每生產升級沼氣體積（m³）的範圍內考慮，PSA、洗滌（化學和水基）和膜分離的範圍為0.11~0.26歐元（4.29~10.14台幣）。考慮到文獻中可獲得的技術和經濟數據，報告中使用水洗滌技術。

表10 沼氣提純技術比較

	能源需求	甲烷逸散率	投資成本（依單位純化率：m ³ /小時）	提純費用
	kWh/ m ³	%	台幣	台幣/m ³
PSA	0.24-0.6	<5.5	58,500~105,300	4.29~10.14
水洗滌	0.2-0.9	<2	70,200~214,500	3.9~5.85
化學洗滌	0.12-0.6	<0.1	70,200~124,800	<5.85
物理吸附	0.4-0.5	2-13	-	-
薄膜分離	0.19-0.38	<0.5	78,000~234,000	5.07~8.58
低溫	0.42-1	<2	-	15.6

資料來源：Rosa, M. D. (2020)。

報告中考慮的 AD 生物甲烷升級案例的主要參數。為了簡單起見，假設沼氣產量的一部分用於加熱消化池。

表11 AD廠提純生物甲烷消耗及生產數據

	單位	數量
裝置容量	kW	500
原料消耗量	噸/年	16,000
生質甲烷產量	m ³ /年	971,570
生質甲烷生產率	m ³ /小時	230
投資成本	億台幣	1.331
AD提純費用 ^a	億台幣	0.452
平均生產成本	台幣/m ³	19.5
補貼 ^b	台幣/m ³	43.25
售價	台幣/m ³	22.97
售電價格	台幣/MWh	2,145

a:提純費用包括安裝生質甲烷以滿足車用燃料標準的成本及其壓縮成本。

b:可按照目前的費率，每提供1公斤燃料發放1.9個憑證，相應價值為7.5便士/kWh（2.925台幣/度）。

資料來源：Rosa, M. D. (2020)。

依照前面的假設，進行了AD + CHP和提純生質甲烷（UP-BM）的成本收益分析。UP-BM案例考慮了0.6 m³/英鎊（23.4 m³/台幣）⁸的平均生質甲烷零售價格。

表12 AD廠經濟性數據

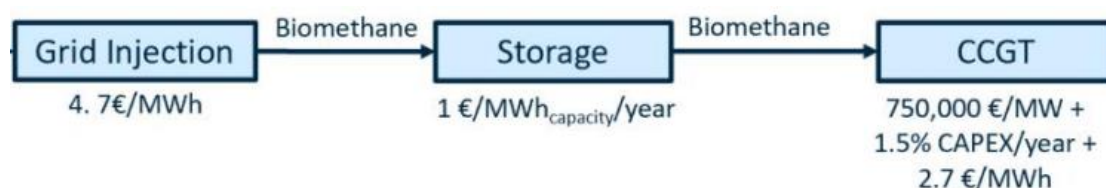
	單位	AD + CHP	UP-BM
總投資金額	億台幣	1.331	1.786
回收年限	年	5.78	6.13
NPV（10年）	億台幣	0.71	0.862
獲利指數（10年）	-	1.53	1.48
IRR（10年）	%	15.1	14.1
NPV（10年）	億台幣	1.864	2.414
獲利指數（10年）		2.39	2.35
IRR（10年）	%	19.2	18.5

資料來源：Rosa, M. D. (2020)。

⁸ 本報告中英鎊：台幣匯率設定為39：1。

（二）範例二：運輸及儲存成本⁹

生質甲烷的運輸可以分為生產設施到電網、電網到儲存地和儲存地到發電廠。對於這個分析，僅考慮從有限數量的生產設施到區域甲烷合成的沼氣管線，以及從該管線到現有甲烷（天然氣）電網。



資料來源：Common Futures。

圖9 生質甲烷儲存和併網成本

1. 運輸

Common Futures指出2050年的總生質甲烷線路成本估計為9.7歐元/MWh（329.8台幣/MWh），其中沼氣管線為5.0歐元/MWh（170台幣/MWh），併網和連接成本為每年4.7 歐元/MWh（159.8台幣/MWh）。

2. 儲存

生質甲烷可以儲存在天然氣儲存設施中，因為它的成分與天然氣相同。對於生質甲烷的流入，考慮到來自具有升級站的厭氧消化槽的不斷流入，使得流入是可預測的，並在很大程度上可與天然氣的流入進行比較，後者具有恆定的儲氣庫提取加進口。

創建地下天然氣儲存的投資成本約為25歐元/MWh（850台幣/MWh）。儘管技術壽命可能非常長（>50年），但折舊期限可能不會超過30年。由於許多儲存設施可能已經在使用中，營運支出成本低，且總成本僅為生質甲烷可調度電力的總成本的一小部分，因此將儲

⁹ Comparing the cost of solar, wind and biomethane on a dispatchable basis Commissioned by Eurogas.

存成本簡化為每年的固定成本為1歐元/MWh（34台幣/MWh）。

對氣體儲存需求的方法由Guidehouse在一項由GIE委託的研究中考慮過，該研究與一些操作氣體儲存的成員進行合作，因此認為這是一種適當的估算方法。

在2014-2019年，歐盟的年均天然氣消耗量為5,724 TWh，而2021年的工作氣體儲存容量為1,168 TWh。因此，使用了消耗-儲存的期望比例為4.9：1。

假設在運輸和儲存中甲烷逸散率為0.18%。然而，即使損失被假定在1%的水平，這將對可調度發電的經濟影響非常小，但對氣候產生相當大的影響。

對於從生質甲烷生產電力，考慮通過聯合循環燃氣輪機(CCGT)的燃燒。CCGT的效率為60%，資本支出(CAPEX)成本為750,000歐元/MW(2.55千萬台幣/MW)，營運支出(OPEX)成本為2.7歐元/MWh(91.8台幣/MWh)，固定OPEX為CAPEX的1.5%/年。

(三) 範例三：外部性¹⁰

與其他再生能源相比，生質甲烷能提供許多外部性，根據歐洲沼氣協會(European Biogas Association, EBA)的資料，沼氣的外部性大致可以分為三大類。

(1) 環境外部性

環境外部性反映了生質甲烷在環境和氣候方面所能發揮的作用，在農業方面，可以改善家畜糞便的管理和替代合成肥料，在交通、供熱和發電領域替代化石燃料減少溫室氣體排放。但同時，生質甲烷生產中逸散的甲烷可能對環境產生負面影響，抵消了一部分減

¹⁰ Beyond energy – monetising biomethane’s whole-system benefits, 2023, Guidehouse.

排效果。

(2) 經濟外部性

經濟外部性是指增加額外價值或降低整體經濟成本的因素，生質甲烷在能源安全方面的正效益，包括多元化能源系統、降低難以實現電氣化的工業部門的需求、減少處理有機廢棄物的成本。

(3) 社會外部性

社會外部性影響人民生計和福祉，未來大規模的生質甲烷產業能為農村提供穩定的工作。例如在生物甲烷生產設施的建設和運營、連續種植計劃的開發或建立農業殘渣和家畜廢物收集供應鏈方面。此外，永續甲烷生產技術的發展使知識和技術的出口成為可能，進一步增加了就業機會。

表13 外部性描述及影響

	項目	描述	影響
環境外部性	生物多樣性	與休耕地相比，種植不同作物的土地可以對生物多樣性產生正面影響，生活在地面的昆蟲更容易在有植被的土地上存活。	+/-
	改善土壤肥沃度	使用沼渣以及精細農業等保護性措施，結合複種（同一塊土地生產兩種以上作物）或義大利沼氣聯盟開發的Biogasdoneright（BDR™）系統，可以改善土壤健康、保水並減少土壤侵蝕。	+
	用水變化	複種可能會產額外的需水量，可以使用滴灌系統的節水灌溉來減輕。	+/-
	水質變化	有機廢棄物在沼氣廠中而不是在垃圾掩埋場進行處理時，可以避免當地污染和當地水道優養化。	+
	不使用會耗竭的原物料	生質甲烷使用廢棄物和農業殘留物作為原料，與其他再生能源技術相比，它不涉及開採金屬（例如用於電池、太陽光電和風電的鋰、鎳、矽，或稀土）。	+

	項目	描述	影響
	與其他產業爭奪原物料	將原料從其他用途轉而用來生產生質甲烷可能會帶來負面影響。如果過度提取殘餘物，可能對土壤品質和生物多樣性造成影響，這些影響可以通過監測或管理計劃來減輕。額外的影響可能包括原物料價格的增加（例如，在畜牧業中用作動物飼料或動物飼料的稻草價格上漲）。	-
	減少溫室氣體排放	生質甲烷可以替代化石燃料降低碳排放，厭氧消化的沼渣可以取代合成肥料，將來自原料的養分送回土壤，減少合成肥料生產的排放，可以避免由糞便管理和有機固體廢棄物管理引起的碳逸散。	+
	增加溫室氣體排放	在甲烷化的過程中，甲烷可能會從工廠或管線洩漏。	-
	減少污染物	生質甲烷減少了污染物的排放，包括硫氧化物、氮氧化物和磷酸鹽，若在運輸中改用生質甲烷燃料將減少與交通相關的氮氧化物排放。	+
經濟外部性	增加可調度電力	生質甲烷可以輕鬆儲存和利用現有的天然氣設施並提供可調度電力，減少電氣化的總體需求和未來氣候中和能源系統相關的成本。	+
	農作物產量變化	引入複種生產生質甲烷可能會影響主要農作物的產量。	+/-
	農業多樣化收入增加	除了作物之外，農場可以透過多元化的收入（沼氣、生質甲烷、沼渣）提高競爭力。	+
	天然氣輸送和配置成本	生質甲烷將透過天然氣管線運輸，因此有助於維持天然氣運量，降低電網成本。	+
	改善能源安全	國產生質甲烷可直接替代天然氣，減少對進口的依賴和價格波動。	+
	有機廢棄物處理	將廢棄物轉化為有用的原料來創造價值有助於發展循環經濟。	+
	提供生物碳	來自沼氣升級或合成氣甲烷化的生物二氧化碳使用或封存於地下，為廠商和環境帶來正面經濟效益。	+

	項目	描述	影響
社會外部性	出口增加	生質甲烷在全球快速發展，成為專業知識的中心可向其他國家出口相關技術。	+
	創造就業機會	生質甲烷工廠及其原料的規劃、建設和營運供應鏈創造了農村地區的就業機會	+
	地方能源轉型	生質甲烷可以提供當地能源和農業轉型。	+
	減少噪音污染	燃氣車輛比傳統燃料車輛安靜，在運輸中改用生質甲烷燃料將減少交通相關噪音	+
	減少異味	相比直接在田地使用糞便和泥漿，使用厭氧消化（AD）加工這些原料產生的沼渣可減少異味。	+

資料來源：Guidehouse。

1. 定量方法

報高中選擇進行詳細評估的外部性如下表14所示。這個選擇的基礎是確保涵蓋了多樣和代表性的方面，包括每個類別類型至少有一個外部性。還進行了初步篩選，以評估每個外部性的可行性，並確定最可能對整體影響最大的外部性。重要的是，選擇了正面和負面的外部性。

表14 選擇量化的外部性項目

類型	項目
環境外部性	土壤健康的變化
	溫室氣體影響
經濟外部性	改善能源安全
	有機廢棄物處理
	提供生物碳
	資源置換
社會外部性	創造就業機會

資料來源：Guidehouse。

這些外部性的選擇旨在全面考慮各種方面，包括經濟、社會和環境，以確保評估盡可能全面。此外，這些外部性中既包括正面效益（如就業機會和土壤健康），也包括負面效益（如氣候影響和溫室氣體減排）。

該研究的外部性評估遵循了以下5個步驟方法：

- (1) 繪製外部性：首先，該研究確定了每個原料和技術在外部性的相關性。儘管許多外部性是普遍適用的，但在某些情況下，外部性只適用於厭氧消化或特定原料。因此，第一步是確定外部性對每個原料和技術的相關性。
- (2) 定義對照案例：接下來，該研究確定了每個外部性的對照案例。這確定了在歐洲未生產生質甲烷的情況下，替代方案是什麼。例如，有機廢物處理的對照案例是，如果不進行生質甲烷生產，則廢棄物可能會被堆肥、填埋或焚燒（取決於廢物類型）。對於能源安全，對照案例是，如果沒有國內生產的生質甲烷，則必須進口天然氣。
- (3) 識別量化外部性的指標：針對每個外部性採用不同指標進行量化。這些指標定義了生質甲烷生產和對照案例可以進行比較的基礎。例如，用於溫室氣體減量的「二氧化碳減少量」和用於沼渣替代合成肥料的「肥料替代量」。量化中使用的數據是通過廣泛的文獻回顧和利益相關者的研究獲得。
- (4) 貨幣化外部性：外部性指標通過貨幣化係數轉換為歐元/MWh。例如，對於一些外部性，使用歐盟排放交易體系（ETS）中的碳成本（歐元/二氧化碳當量）來貨幣化涉及溫室氣體影響的外部性指標。對每個外部性計算了從低至高的

歐元/MWh範圍。

- (5) 每種技術的外部性量化：最後，根據2030年和2050年每個原料的生質甲烷生產量(MWh)，計算了每種技術的外部性值。該計算使用了Gas for Climate發布的生質甲烷潛力。

2. 計算結果

圖10顯示了每種外部性和技術的生物甲烷外部性估算的低估值和高估值。厭氧消化的總外部性效益與氣化估計的總外部性效益基本相似。



資料來源：Guidehouse。

圖10 依照外部性和技術分類的生質甲烷估計值

厭氧消化提供了生質甲烷的額外效益為 84~175 歐元（2,856~5,950 台幣），而氣化提供的額外效益為 80-162 歐元（2,720~5,508 台幣）。重要的是，這些效益超出了通過這些技術生產生質甲烷的成本。

厭氧消化的較高外部性主要來自於減少農業中的氣體逸散，沼渣的應用（取代合成肥料）和處理有機廢棄物帶來的好處，以及較低的生產成本增加了整體效益。

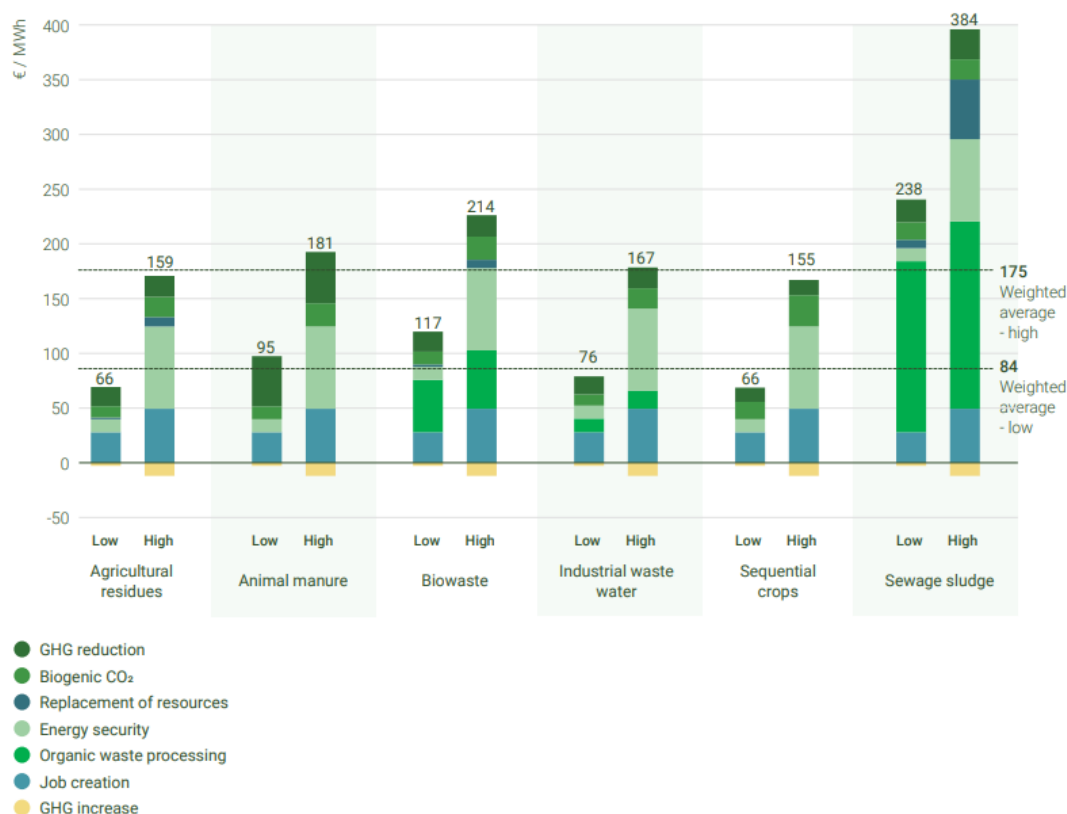
然而，每種外部性的相對占比在低和高情境之間以及技術之間也有所不同。對於厭氧消化，在低情境中，占比相對均勻分佈。創造就業機會（33%）、溫室氣體影響（28%）、提供生物碳（15%）和能源安全（14%）佔總數的80%以上。在高情境中，能源安全（43%）和創造就業機會（28%）兩者相加就已經超過70%。

對於氣化，低情境中，創造就業機會（40%）和提供生物碳（37%）占比最高，其餘主要為溫室氣體影響（20%）。在高情境中，占比更加均勻，能源安全相比低情境占比有大幅上升（28%）。

厭氧消化因原料不同有不同的外部效益，儘管大多數原料（農業殘渣、生物廢棄物、工業廢水和連作作物）的值大致相似。例外的是動物糞便，特別是污水污泥。動物糞便的較高值主要來自改進糞便管理減少氣體逸散，減少28歐元/MWh（952台幣/MWh），導致溫室氣體減量影響值大幅提高。污水污泥主要是由於處理有機廢棄物的外部性非常高所驅動，達到156~171歐元/MWh（5,304~5,814台幣/MWh）。污水污泥的處理相對昂貴，而厭氧消化提供了一個成本效益高的解決方案，以降低這些成本。此外，每噸污水污泥的沼氣產量較低，這也有影響，因為每單位生產需要處理大量污泥。然而，由於

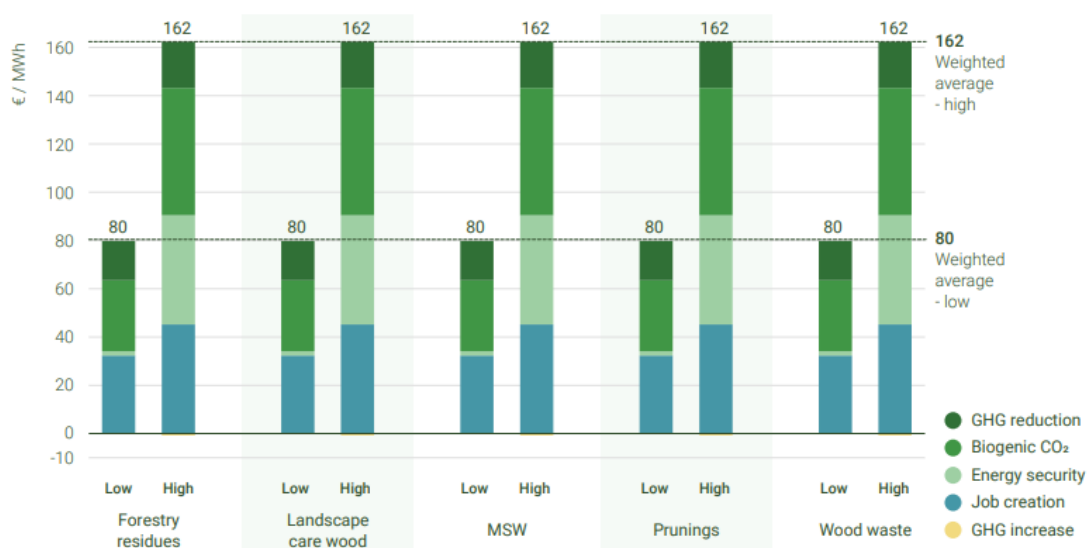
污水污泥在2030年（3%）和2050年（1%）的整體生質甲烷原料中占比很小，這對整體外部性值的影響較小。

對於氣化的基本假設適用於所有範圍內的原料，因此計算的外部性對所有原料也是相同的。



資料來源：Guidehouse。

圖11 厭氧消化每種原料的外部性效益



資料來源：Guidehouse。

圖12 氣化每種原料的外部性效益

3. 外部性結論

Guidehouse的報告明確突出了生質甲烷生產可以提供超越成本的好處。這些好處多種多樣，涵蓋了多個環境、經濟和社會方面，如下簡要總結。其中許多外部性和其他再生能源所不具備的。

- (1) 土壤健康：厭氧消化生產的沼氣產品富含營養的沼渣。沼渣應用於農業土壤已經被證明可以改善一系列土壤健康指標並將有機碳固定在土壤中。其富含有機物的組成可以恢復受損的土壤，這對於長期農業的永續有其必要性。將沼渣應用於土壤還可以循環再利用原料中包含的大部分營養物質，減少了對來自化石能源的合成肥料需求，有助於實現循環經濟。連作作物的種植也可以減少土壤侵蝕，因為土地全年都有植被覆蓋。
- (2) 溫室氣體排放影響：生質甲烷是一種多功能的再生能源向量。它可以應用於多個最終用途領域，包括交通（道路、航

運）、供暖（工業、建築）和發電。生質甲烷可以直接取代這些領域中的化石燃料使用，具有降低溫室氣體排放的潛力。此外，通過使用糞便作為生質甲烷生產的原料，農業部門可以避免大部分的氣體逸散，從而提供了一個有價值的解決方案，減少全球甲烷的排放（例如，作為全球甲烷承諾的一部分，以2020年為基準，該承諾旨在到2030年將全球甲烷排放量至少降低30%，）。

- (3) 能源安全：歐洲能源依賴進口，在地生產的生質甲烷可以減少進口天然氣的需求，直接提高歐洲的能源獨立性和安全性。這有助於減輕對不穩定的天然氣價格的風險，保護歐洲產業的競爭力，並減少家庭的能源貧困風險。生質甲烷在增強歐洲能源獨立性和安全性方面的作用已獲得歐洲委員會在REPowerEU計劃中的充分認可，該計劃旨在到2030年在歐盟每年生產350億立方公尺的生質甲烷。
- (4) 提供生物碳：通過厭氧消化和氣化，生質甲烷可以產生純生物碳。生物碳可以用作多種工業應用的原料，可以大部分取代化石二氧化碳，也可用於新興應用，如再生燃料、化學品和藻類生產。其次可以永久儲存在地下（例如，位於海下的封閉鹽水層），以實現溫室氣體去除（GGR；也稱為二氧化碳去除，CDR）。這種去除對於實現零排放目標至關重要，因為它們能夠抵消其他產業中無法避免的排放。
- (5) 有機廢棄物處理：生質甲烷生產提供了廢棄物處理服務以及能源生產服務，可以改善營運的整體經濟。這也對實現循環經濟起到有價值的作用，通過回收有機廢棄物並將其轉化為

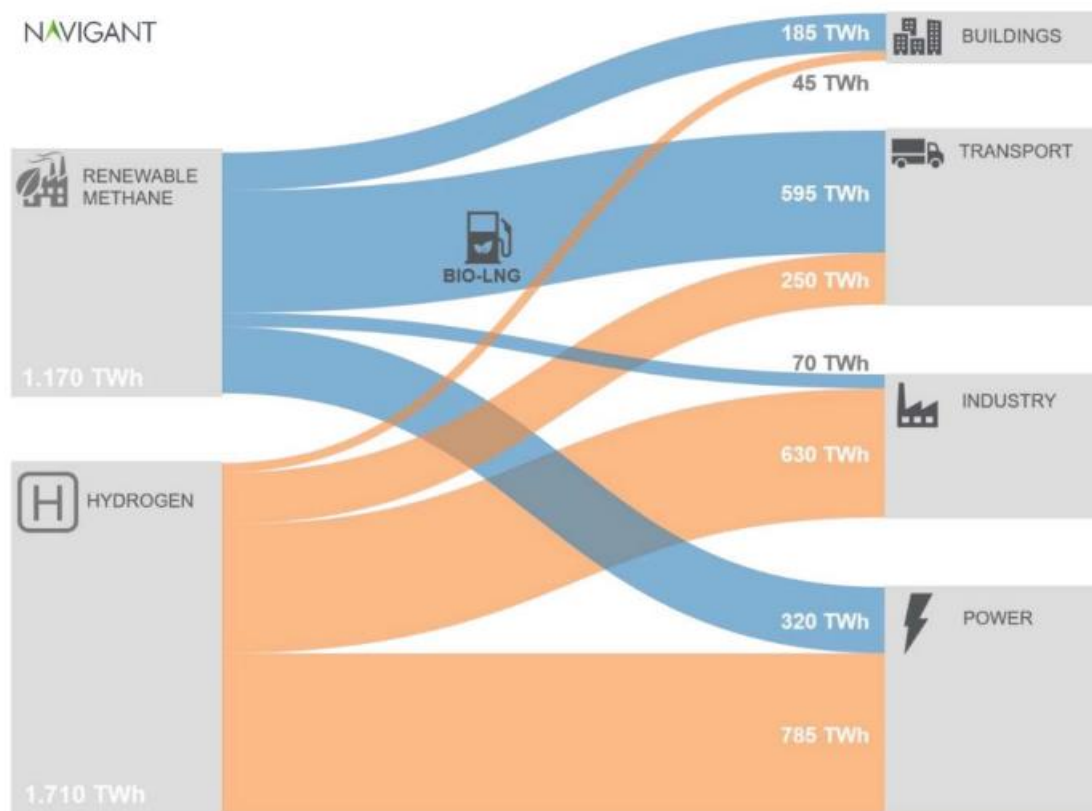
有用產品，包括再生能源和營養豐富的沼渣，可以返還到土壤中。

- (6) 創造就業機會：到2050年，生質甲烷生產預計能在歐洲價值鏈的各個環節中創造110萬至180萬個工作機會。由於厭氧消化生產的生質甲烷來源於農業廢棄物、殘渣和永續作物，採用分散生產模型，因此預計其將特別為歐洲各地的鄉村地區帶來新的就業好處。相反，預計氣化生產的生質甲烷將在更加集中的生產設施中帶來就業好處，這些設施主要位於永續林業或將收集原料的城市地區附近。

4. 多元應用¹¹

NAVIGANT設定了2050年電力和天然氣需求的「最佳化天然氣」情境，需要大量增加再生電力，此外實現高溫工業的全面脫碳都需要再生氣體的占比。在「最佳化天然氣」情境中，現有的天然氣基礎設施用於運輸和配送1,170TWh生質甲烷和1,710TWh綠氫到歐盟的建築、工業、交通和電力部門，相當於2050年的氣體消耗量為2,720億m³天然氣當量（以能量計算）。應該注意的是，生質甲烷的使用是供應推動的，而綠氫的使用是需求拉動的。圖13顯示了「最佳化天然氣」方案中再生和低碳氣體的供應和需求。隨後，描述了兩個方案中能源分配給需求部門的情況。

¹¹ GAS FOR CLIMATE, The optimal role for gas in a net-zero emissions energy system.



資料來源：Navigant。

圖13 最佳化天然氣情境中再生天然氣供需

5. 電力生產和建築供暖

Navigant分析了氫氣和生質甲烷在電力生產和建築供熱中的可能占比，結果與先前的研究相比差異不大。在「最佳化天然氣」情境中，2050年大多數建築將通過全電熱泵供暖，並假設區域供熱整體增加。在電力部門，現在氫氣也被用於可調度的發電。

對於建築供熱，目前有天然氣連接的建築物將繼續使用天然氣至2050年，主要來源於生質甲烷，並在混合熱泵中與電力一起在高峰需求期間使用一些氫氣。

工業方面，Navigant評估了鐵和鋼、氨、甲醇、水泥和石灰產業在2050年的預期能源需求和最佳的零排放能源組合。評估結論是工

業低溫熱主要來源於直接電力，高溫工業熱主要由氫提供，還有一些生質甲烷和氫作為工業原料，其中鋼鐵和水泥業還需要使用CCS來減少二氧化碳排放。

關於運輸，Navigant還評估了在2050年實現歐盟交通全面脫碳的情境以及再生和低碳氣體在其中的角色，重點在道路交通（轎車、卡車和大眾運輸、海運和航空。海運和航空包括歐盟內的航運和航空，以及跨國加油。報告得出的結論是到2050年，歐盟交通能源需求可以從目前的4,500TWh降低一半，至約為2,100TWh。輕型道路運輸（小轎車、輕型商用車）和國內航運將主要使用電力，對於國際海運和航空，需要具有高能量密度燃料的長途重型運輸，這意味著直接使用電力（電池）不太適合，反而是氫氣和生物液化天然氣在重型道路運輸和國際航運中占主導地位。儘管在一地實施了多種的加油選擇，但對於長途卡車運輸、海運和航空的能源混合必須是國際統一的。一個國家為船隻加注液化生質甲烷（生物液化天然氣）而其鄰國提供生物柴油是不可行的。在航空方面，兩種最有前途的再生燃料，生物噴射燃料和合成煤油可以使用與今天相同的加油基礎設施。

參、結論與建議

一、建廠位置

考慮台灣若建造生質甲烷廠於彰化，每年畜牧業能有9.21億 m^3 的潛在生質甲烷產量，足夠滿足原料所需。另建議應盡可能靠近相關工業園區，以利氫氣運儲。不過本次計畫尚無統計到廠家氫氣實際用量需求，故只能提出初步建議。在成本方面，若使用範例二之規模建設沼氣廠以及使用甲烷逸散率最低的化學洗滌純化為生質甲烷，相比起北愛爾蘭平均生產成本為19.5台幣/ m^3 ，台灣由於沼氣廠設廠成本及使用化學洗滌投資成本較低，再加上工業用電價較為便宜，平均生產成本為6.16~9.36台幣/ m^3 。

表15 台灣AD廠提純生物甲烷消耗及生產數據

	單位	數量
裝置容量	kW	500
生質甲烷產量	$\text{m}^3/\text{年}$	1,362,910
生質甲烷生產率	$\text{m}^3/\text{小時}$	322.64
投資成本	億台幣	0.5876
AD提純費用（下限） ^a	億台幣	0.2025
AD提純費用（上限） ^a	億台幣	0.6124
平均生產成本（下限）	台幣/ m^3	6.16
平均生產成本（上限）	台幣/ m^3	9.36

a:使用化學洗滌技術。

資料來源：本研究整理。

生質甲烷成本相比沼氣發電躉購費率7.0089台幣及從國外進口的天然氣（圖14）仍然具有一定的成本差距。需思考是否把生質甲烷應用於發電以外的領域。

實施日期:2023/11/01

產品編號	產品名稱	包裝	銷售對象	交貨地點	計價單位	參考牌價	營業稅	貨物稅	備註
102F 0100100	天然氣 (1)	散裝	工業用戶		元 / 立方公尺	8.6002	5%		
102F 0100100	天然氣 (1)	散裝	公用天然氣事業用戶		元 / 立方公尺	8.15	5%		
102F 0100100	天然氣 (1)	散裝	合格汽電共生系統用戶		元 / 立方公尺	8.19	5%		
102F 0100100	天然氣 (1)	散裝	本公司直營家庭用戶	新竹苗栗地區配氣管線供應範圍	元 / 立方公尺	9.76	5%		
102F 0100400	天然氣 (2)	散裝	工業用戶		元 / 立方公尺	9.3732	5%		
102F 0100400	天然氣 (2)	散裝	公用天然氣事業用戶		元 / 立方公尺	8.88	5%		
102F 0100400	天然氣 (2)	散裝	合格汽電共生系統用戶		元 / 立方公尺	8.9262	5%		
102F 0100400	天然氣 (2)	散裝	電業用戶		元 / 立方公尺	16.8	5%		
102F 0110600	液化天然氣	散裝	工業及其他用戶		元 / 公斤	12.78	5%		
102F 0110600	液化天然氣	散裝	公用天然氣事業用戶		元 / 公斤	12.09	5%		

資料來源：中油。

圖14 天然氣牌價表

二、新興應用

在交通領域，尤其是大眾運輸方面，生質甲烷被視為一種可行的替代能源。作為交通燃料，它可以應用於天然氣車輛，降低交通部門的碳排放，生質甲烷的環保優勢和永續特性成為了吸引企業和政府採用的原因。

此外，工業領域中對高品質燃氣的需求，使生質甲烷在某些工業生產過程中成為一項理想的選擇，穩定的供應和永續性使其在需要再生燃氣的工業應用中具有競爭力。

在再生氣體基礎設施的建設方面，生質甲烷也可以扮演關鍵的角色。作為再生氣體體系的一員，生質甲烷可以與其他再生能源結合使用，形成更全面的能源轉型。這對於實現區域供熱、工業用途和其他高效能源需求至關重要。

此外，生質甲烷的生產通常與生物質處理廠相關，這些工廠可以將有機廢棄物轉化為再生能源。在這方面生質甲烷可以作為一種副產品，提供額外的經濟效益。

在以上情境中，生質甲烷不僅有助於減少碳排放，還能滿足產業

對綠色、高效能源的需求，提升整體能源體系的永續性。然而，詳細的成本效益分析仍需根據能源需求、價格和政策環境進行評估。

從成本效益來看，台灣2022年約進口2,000萬噸液化天然氣，相當於262.5億m³天然氣，若未來成功推動生質甲烷的使用，預計可以替代約40億噸（15%）的天然氣發電。若以2022年我國全年進口LNG共花費新台幣5952億元，這顯示生質甲烷作為一種替代能源，有望在能源結構中發揮更大的作用，並節約近900億元的入超。這項轉變將有助於降低對傳統天然氣的依賴，同時推動更永續和環保的發電。

在未來，以生質甲烷產氫將是一個值得注意的新領域。德國南巴伐利亞邦的新創公司BtX負責人Andy Gradel表示，氫氣可從像是液體肥料、糞便或有機廢物的沼氣中分離產生。該公司與擁有沼氣廠的農民以及亞琛（Aachen）工業大學合作的「BioH₂Re」研究計畫，由德國聯邦經濟及氣候保護部資助130萬歐元，利用現有的沼氣廠生產氫氣，預計這些工廠每年將生產40多噸氫氣。¹²

該技術的重點在於：

1. 利用既有甲烷成熟、大量且低廉的灰氫技術，搭配上生質能不計入CO₂人為排放之優勢，將可大幅減少後續CCUS的相關投資，如下圖15。若考慮增設這類技術後，則可以達成相當程度的「負排放」（Negative emissions），有可能做為我國優先達成負排放的示範案例。
2. 若以生質甲烷結合週邊產業發展，可形成氫能源區域中心並推動管線運輸，將有利於降低氫的運儲困難與成本，如圖16。可現地自用並加大我國自產能源比例，減少對外依賴。

¹² <https://www.moneydj.com/kmdj/news/newsviwer.aspx?a=b7ea0759-eed1-410c-83c6-ff6045047b2f>

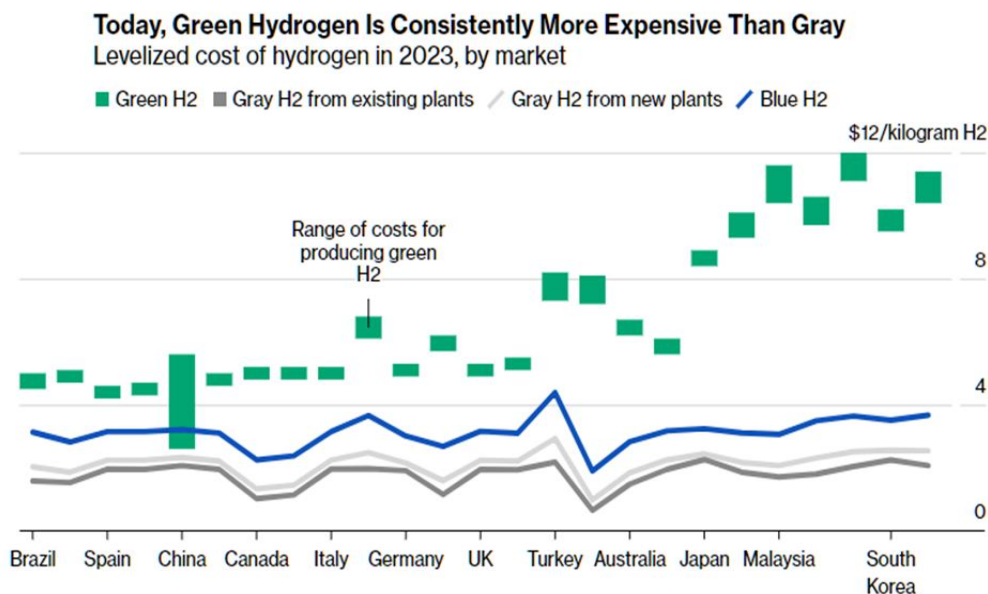
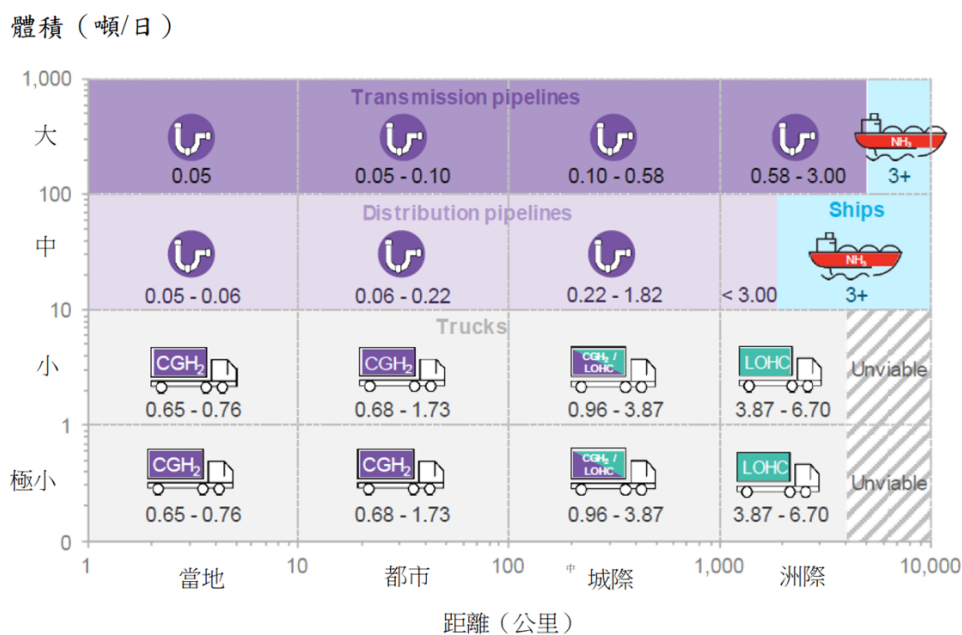


圖15 當前各國氫的生產成本¹³



圖例：壓縮氫氣 液態氫氣 氫氣 液態有機氫載體

圖16 不同數量與距離的氫運輸成本、最適方式¹⁴

¹³ BNEF (2023) 2H 2023 Hydrogen Market Outlook The Demand Question.

¹⁴ BNEF (2019) Hydrogen The Economics of Transport Delivery.

參考圖15可知，現階段比照南韓，我國以生質甲烷產氫不加CCUS，成本應落在3~4美元/kg-H₂，而售價則可參考綠氫在8美元/kg-H₂附近，已明顯日、韓甚至馬來西亞以再生能源電解水產綠氫的成本預估。

常溫常壓下1立方公尺的氫若以槽車輸送，台灣現貨價介於25~50元，約可產生1.2度的電，這並非經濟的作法。同樣的，大量的跨海運輸也是一個高成本、高風險的作法。若能透過將本土自產清潔氫的規模擴大供應，且改採管線運輸，不僅可降低運輸成本並能滿足不斷增長的區域需求，實現商業上可行的清潔氫部署。將大規模的清潔氫生產與多個終端用途同地點合併，有助於低成本氫的發展以及必要的支持基礎設施建設，以推動重要市場部分的氫經濟起飛。此外，追求區域氫發展策略將使供應鏈上的公司能夠充分利用相似公司聚集在工業集群中時帶來的好處。這些好處包括共用基礎設施，包括原材料和其他下游供應鏈的訪問權，運輸和傳輸系統，以及強大且訓練有素的勞動力。此外，工業集群受益於創新與製造的鄰近，促進了公司之間的知識共用。工業集群還有助於建立更強大的社會和市民參與，因為工人在該地區有多個就業機會，因此更有可能與社區建立持久聯繫。最終，通過樞紐方法開發氫將創建更強大且更具競爭力的區域經濟。

三、對台灣的建議

台灣推動生質甲烷可能對各方面產生多方面影響。首先，生質甲烷的生產可能促進相關的生物資源產業，包括農業和林業，這有望提高價值鏈，創造就業機會。然而，這也可能導致對生物資源的競爭，需要謹慎平衡各行業之間的原物料利用。另外也需要注意其中可能

存在的洩漏問題。生質甲烷在整個生產、轉換和使用過程中，都可能發生洩漏，尤其是在生產和運輸的階段。

氣體洩漏可導致甲烷逸散到大氣中，導致溫室效應加劇。因此，管理和減少洩漏是生質甲烷供應鏈中一個極為重要的環節。

為了應對這個問題，生質甲烷生產和使用的相關產業需要採取有效的監測和減少洩漏的措施。這可能包括未來改進生產工藝、使用更先進的技術、建立監測系統，以及提供相應的法規和標準。

在環境方面，生質甲烷在確保不洩漏下的使用有助於減少溫室氣體排放，取代傳統的高碳能源，但同時需要確保生產過程的碳足跡可控。此外，生質甲烷也可以作為一種可調度的能源來源，有助於穩定電力供應，但需要有效的儲能和調度技術。

從能源安全的角度來看，推動生質甲烷生產有助於多元化能源來源，減少對進口能源的依賴，提高能源安全性。然而，需要確保生產過程的可持續性，以免對當地環境和生態系統產生不良影響。

最後，如果台灣能夠有效生產生質甲烷，將可緩解對於進口天然氣的需求。同時，在遵守國際標準，確保生質甲烷的生產符合環保和永續性標準，進而贏得國際市場的信任。

總體而言，台灣推動生質甲烷需要在經濟、環保和社會之間取得平衡，透過有效的政策和技術手段，實現各方面的永續發展。

肆、附錄

瑞典GOBIGAS氣化廠案例¹⁵

在GoBiGas計畫中，建造了首座工業規模的生物精煉廠，旨在展示並促使以氣化方式從木質生物質中商業生產生質甲烷。報告總結了在GoBiGas廠的可行性研究、建設和營運過程中的經驗、教訓和結論，有助於先進生物燃料商業生產廠的發展。

GoBiGas廠位於瑞典哥德堡，具有將20MW的生質甲烷輸送至瑞典天然氣網的生產能力。該廠由Göteborg Energi AB建造，得到瑞典能源局的支持，計畫於2005年啟動。報告總結了計畫期間的技術選擇並描述了該廠於2013年投產、2018年停運之前，從營運和過程評估中獲得的經驗。對該廠的評估主要聚焦在透過建造具有100MW或更高生產能力的類似獨立廠房來實現技術商業化的可能性上。

超過12,000小時的運轉，GoBiGas計畫展示了如何利用各種不同的原料，包括樹皮、木屑顆粒、木片和A1級回收木材，來控制生物質氣化器生產氣體的品質。結果顯示，使用低熱值的乾燥無灰生物質轉化為生質甲烷的效率可達70%，並且使用該技術可生產溫室氣體排放減少超過80%的生質甲烷。為達到如此高的效率，需要將原料乾燥，這也有益於過程的穩定性。結果還顯示，氣體品質滿足注入天然氣網的歐洲標準，因此證明通過注入天然氣網交付大規模生產的生質甲烷是可行的。該計畫證明了這種類型的過程可以使用已知技術在商業規模上實現高性能，未來的發展應包括不同過程步驟之間的改進兼容性以及生產可行性的提高。使用當前的工藝配置和以森林殘渣作為原料，根據GoBiGas的經濟數據估算，擁有200MW生產能力的廠

¹⁵ The GoBiGas Project Demonstration of the Production of Biomethane from Biomass via Gasification.

房的生產成本約為600瑞典克朗/MWh（1,800台幣/MWh）¹⁶。

可行性研究的結果被視為非常有前途，下一步是開始進行前期工程，更詳細地分析未來廠房的技術、環境和經濟條件。

被認為最有潛力的技術是間接氣化（由Repotec提供），與流化床中的甲烷化技術結合（由CTU開發）。然而，這兩者都無法擴大至100MW的規模。因此，決定將計畫分為兩個階段，首先第一階段在20MW的廠房中演示技術，然後在第二階段建造商業廠房。正如後面在本報告中進一步描述的，能源市場的變化使得繼續進行第二階段在經濟上變得不可行。因此，本報告僅限於GoBiGas項目第一階段和20 MW示範廠的經驗。

於2009年向瑞典能源局申請政府資金時預計達成的目標如下：

- 裝置容量為20MW：20MW的規模展示該技術可能遇到的問題與執行成果，且氣體品質必須滿足併入天然氣的要求。
- 生物質轉化為生質甲烷的效率為65%（以能量為基準計算）：Repotec氣化技術（在Güssing進行測試）和傳統甲烷化的組合可以有較樂觀的效率推估。這一性能目標很重要，因為它決定了從有限的生物質資源中生產多少甲烷。
- 總能源效率超過90%：能源效率包括用於其他用途（如發電或區域供熱）的回收能量。GoBiGas第一階段的規模不夠大，無法實現發電，但因為該廠位於供熱管線和原料生產廠附近，廠房的廢熱被回收可被用於區域供熱和作為熱泵的熱源。
- 每年8,000小時的營運時間：這對於一個示範廠來說是一個非常具有挑戰性的目標，但對於完全商業化的經營非常重要。

¹⁶ 本報告中瑞典克朗：台幣匯率設定為3:1。

一、場地要求

由於廠房空間有限，且靠近當地的一個自然保護區和居民區，必須將其建造成室內廠房。噪音限制要求將工業過程中潛在噪音源置於建築物中。此外，還不清楚該廠是否會引起氣味問題。

廠房的建設使用了以下的材料：

- 5000立方公尺混凝土，800噸鋼筋，1300噸鋼結構
- 25公里管線，90公里電纜
- 130台泵、壓縮機、風扇、輸送機
- 200座塔、反應器、熱交換器、儲存罐和容器
- 2500個儀器
- 650個閥門

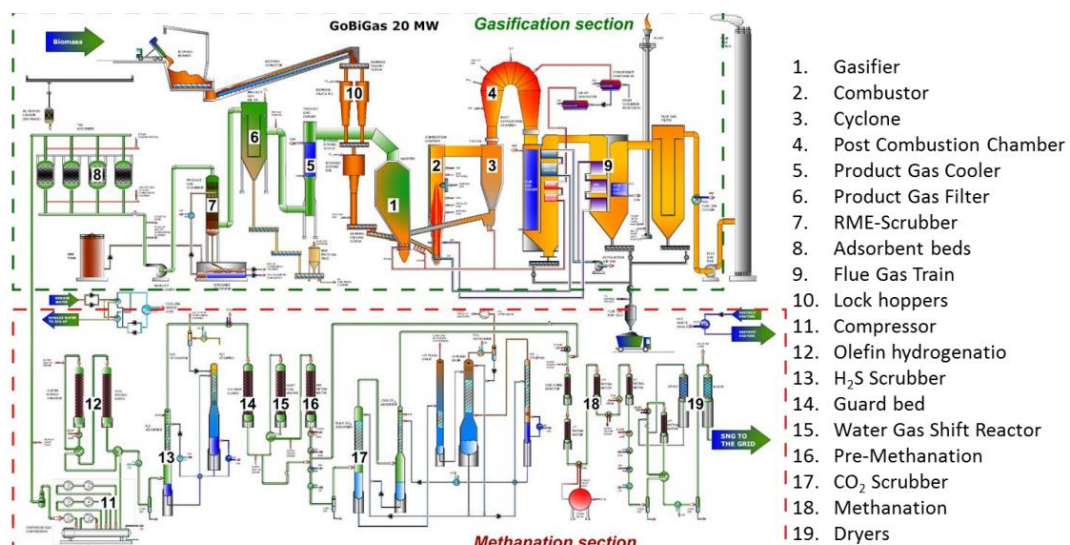


Figure 2.5: A Schematic overview of the GoBiGas-plant including a list of the major process steps.

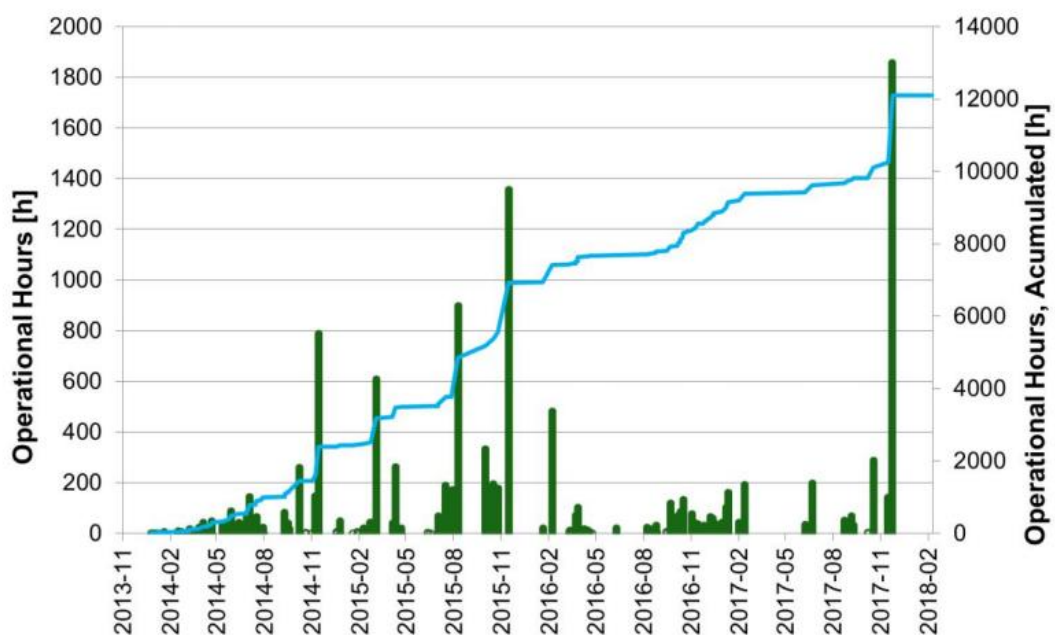
資料來源：GoBiGas。

圖15 GoBiGas工廠主要技術步驟示意圖

二、營運狀況

GoBiGas氣化器於2013年底開始啟動，其運行時間顯示在圖16

中。綠色長條表示每次的運轉時間，藍線表示累積運轉時間。最初使用木屑顆粒做為原料在技術上面臨重大挑戰，一開始只能運轉約10小時，然後停止過程清潔冷卻器。到了2016年年初，該工廠幾乎可以持續運轉，產生約16-17MW的生質甲烷，相當於原設定目標的80%到85%。



資料來源：GoBiGas。

圖16 GoBiGas氣化運轉時間表

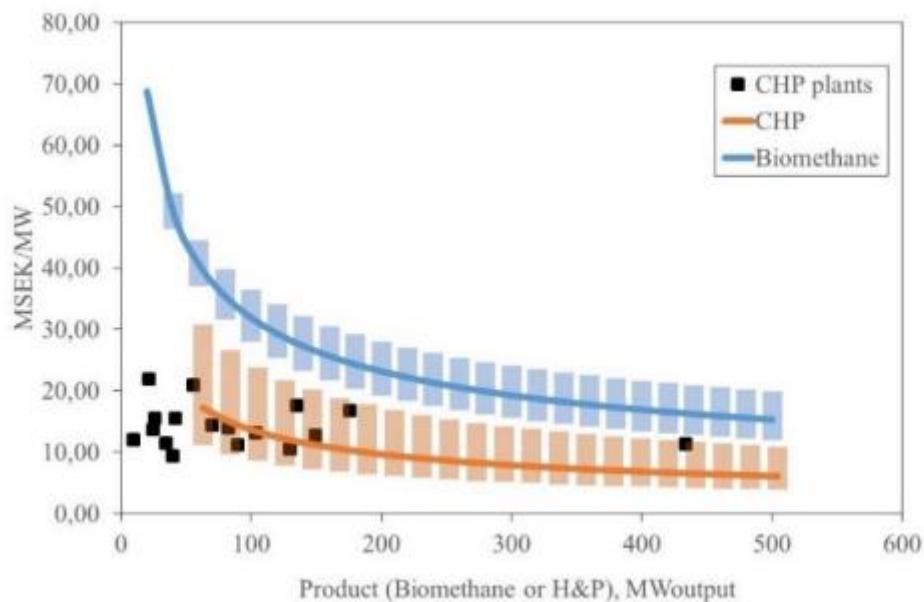
GoBiGas氣化器總共運轉約12,000小時，向天然氣網輸送了超過67GWh的生質甲烷。該廠使用不同的原料，包括：木屑顆粒、木片、切碎的樹皮、回收的A1級木材，

GoBiGas廠最初使用木屑顆粒，但最終目標是使用林業副產品進行運轉。經過測試了不同的燃料，包括由林業並未使用到且質量較差的原木生產的木屑、鋸木廠的副產品、制漿廠的樹皮以及回收托盤上的木材（A1級）。由於木屑顆粒提供了最穩定的運轉，因此使用這

種燃料的時間最長。在示範過程中，與原料供應和原料含水量有關的挑戰是主要的限制因素。

三、投資及生產成本

根據對GoBiGas廠的投資成本分析，估算了商業規模的氣化廠的投資成本。下面給出了所用的投資和規模因素，估計的投資成本以及廠房規模（生產能力）之間可得到生產函數。同時還顯示了使用流化床的商業汽電共生（CHP）廠的數據。從CHP廠的數據顯示，由於原料和工廠性能等因素都不同，因此CHP廠的投資成本並不遵循預期的規模經濟。實際上，CHP廠投資成本更受到其他因素的影響而不僅僅是廠房規模。在這種情況下，應強調以下估算適用於與GoBiGas廠的性能、安全水平和原料類似的廠房。



資料來源：GoBiGas。

圖17 生質甲烷和汽電共生工廠單位產能投資成本

對GoBiGas的投資和營運成本進行了分析，建立一個20MW可供參考的廠，已減去了計畫特有的成本，並且根據對該技術的審查，最小化了與消耗品相關的成本。

表16 GoBiGas及普通20MW廠房推估成本比較

	GoBiGas	普通20MW廠房
成本項目	百萬台幣	百萬台幣
反應爐	714	714
輔助設備及相關工程	3,423	2,865
蒸氣、原料處理及乾燥	-	546
初始投資成本	4,140	4,125
薪資	543	543
維護費用	177	177
電力	112.8	0 ^a
生質柴油（RME）	95.1	0 ^a
活性碳	25.5	30
其他消耗品	160.8	135.3
其他支出	79.5	79.5
營運成本	1,284	1,054.8

表17 各類原料轉換成本

原料成本	原料成本 台幣/MWh	原料轉換為沼氣成本				
		低熱質（LHV）乾燥生物質轉換為生質甲烷效率				
		55%	60%	65%	70%	75%
木屑顆粒 ^b	750	1,344	1,233	1,137	1,056	987
林業殘渣 ^c	510	828	759	702	651	609
回收木頭 （一） ^d	330	582	534	492	459	429
回收木頭 （二） ^d	150	264	243	225	207	195

a:由GoBiGas技術審查建議而得。

b:木屑顆粒含水率為10%。

c:林業殘渣含水率為45%。

d:回收木頭含水率為18%。

資料來源：GoBiGas。

燃料相關的成本占總生產成本比例大，因此使用更便宜的原料是降低生產成本的一種有效方式，如木屑顆粒，以及含有樹皮的原料（林業副產品和切碎的樹皮）。

綜合這些發現，估算了不同規模以氣化為基礎的生質甲烷商業化廠房的總生產成本。

表18 不同規模工廠預估生產成本比較

	20MW工廠	100MW工廠	200MW工廠
單位	台幣/MWh		
資本成本（折舊）	1,290	597	435
資本成本（5%利息）	774	360	261
開發成本	129	60	45
營運成本	1,056	498	396
原料成本	651	651	651
總成本	3,900	2,166	1,788

註：使用45%含水率的林業廢棄物，8000運轉小時，20年經濟壽命。

資料來源：GoBiGas。

通過建造產能為200MW的工廠，生產成本可以降低到約600瑞典克朗/MWh（1,800台幣/MWh），這在發展成熟的生質甲烷市場下可能具有經濟可行性。對於一個產能為100 MW的工廠，例如GoBiGas計畫的第二階段，生產成本超過720瑞典克朗/MWh（2,160台幣/MWh）。

需要注意的是，通過將這種生產方式與其他現有產業統整，即使在較小的規模上也可以大大降低投資和營運成本，實現更具成本效益的生產。使用更便宜的原料，如回收的木材或林業廢棄物也是這種技術未來發展的一個有吸引力的選擇。

四、結論

GoBiGas廠是第一個以工業規模將生物質通過氣化轉化為生質甲烷的計畫。該計畫的目的是展示使用這種技術可以在100MW或更大商業規模上生產高質量的生質甲烷。

示範的目標是達到20MW的生產能力，生物質轉換為生物甲烷的效率為65%，廠房效率達90%，每年營運8,000小時。使用木屑顆粒作為燃料實現了20MW的生產能力目標，較低的燃料熱值和乾燥無灰的燃料，生物質轉換為生物甲烷的效率最高可達63%。

每年8,000小時的營運時間目標在計畫中未能實現，連續營運的最長時間為1,750小時。在示範過程中對流程和營運策略進行的調整在進展中得到了很大的改善，在這類廠房中實現每年8,000小時的營運目標被認為是可能的。對於GoBiGas廠而言，主要限制因素與燃料供應、原料特性和冷卻器有關。

對GoBiGas廠的生產成本進行了詳細分析，結論是在使用木屑顆粒營運期間，營運成本為800~1,000瑞典克朗/MWh（2,400~3,000台幣/MWh），位於計畫可行性階段預測範圍內。然而，由於能源價格低於預期，特別是生質甲烷的價格，因此無法實現盈利生產。要使這種類型的過程盈利，必須降低生產成本或提高生質甲烷的價值。由於生質甲烷的成本考量，新管理層和新董事會在2018年決定停止該計畫。

伍、參考文獻

1. Adam Brown, Lars Waldheim, Ingvar Landälv, Jack Saddler, Mahmood Ebadian, James D. McMillan, Antonio Bonomi, Bruno Klein (2020). Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction. IEA Bioenergy.
2. Jelle Hofstra, & Kees van der Leun (2022). Comparing the cost of solar, wind and biomethane on a dispatchable basis. Common Futures Energy.
3. Sacha Alberici, David Gräf, Magali Aurand (2023). Beyond energy – monetising biomethane's whole-system benefits. Guidehouse
4. Wouter Terlouw, Daan Peters, Juriaan van Tilburg, Matthias Schimmel, ...Tobias Fichter (2019). Gas for Climate. The optimal role for gas in a net zero emissions energy system. (Navigant Reference No.:203997)
5. Anton Larsson, Ingemar Gunnarsson, Freddy Tengberg (2018). The GoBiGas Project Demonstration of the Production of Biomethane from Biomass via Gasification. Göteborg Energi. doi: 10.13140/RG.2.2.27352.55043
6. Rosa, M. D. (2020). Economic assessment of producing and selling biomethane into a regional market. Energy & Environment, 31(1), 60-76. <https://doi.org/10.1177/0958305X18762581>
7. IEA (2020). Outlook for biogas and biomethane.