

生物質能(Biomass energy)

生質能(Bio-energy)

生質燃料(Biofuels)

生物沼氣(Biogas)



何謂沼氣？

- 沼氣：顧名思義就是沼澤裏的氣體。
- ✓ 在沼澤地、污水溝或糞池裏，有氣泡冒出來，如果點火，即可把它點燃，這就是自然界天然發生的沼氣。
- ✓ 沼氣，即是各種有機物質在隔絕空氣(即無氧氣的還原條件)，並且在適宜的溫度、濕度下，經過微生物的發酵作用，所產生的一種可以燃燒氣體。
- ✓ 沼氣的主要成分是甲烷，約占所產生的各種氣體的60%-80%。
- 甲烷：是一種理想的氣體燃料，它無色無味，與適量空氣混合後即可燃燒。

生 (物)質能的定義

- 生質能的廣泛定義即指所有有機物，經各式自然或人爲化學反應後，再粹取其能量應用。
- 例如由農村及都市地區產生的各種廢棄物，如牲畜糞便、農作物殘渣、城市垃圾、及工業廢水等，皆可經由直接燃燒應用，或由微生物的厭氧消化反應而產生沼氣後再行應用。
- Biomass residues can be converted into various non-solid fuel forms referred as biogas and liquid biofuels.

What is Biogas?

- Biogas is a mixture of methane (CH_4), carbon dioxide (CO_2), and depending on the feedstock used, trace gases such as nitrogen (N_2), ammonia (NH_3), sulfur dioxide (SO_2), hydrogen sulfide (H_2S), and hydrogen (H_2).
- Biogas is produced when certain bacteria decompose biological matter in an anaerobic (no oxygen is present, 厭氧) environment.
 - ⇒ This process is referred to as **anaerobic digestion (AD)**.
 - ⇒ AD is a proven technology for effectively treating the organic fraction of waste.
- The treatment of waste through AD has many benefits; it leads not only to a cleaner and healthier environment, but also produces a renewable energy source, methane.

何謂甲烷(Methane)？

- 甲烷：為沼氣的主要成分，約占沼氣所產生之各種氣體的60%-80%。
- ✓ 甲烷是一種理想的氣體燃料，它無色無味，與適量的空氣混合後，即可燃燒。
- ⇒ 純甲烷的發熱量為 34000焦耳/米³ (34 kJ/m³)
- ⇒ 所以，沼氣的發熱量約為20.8—23.6 kJ/m³。
- ⇒ 即1立方米沼氣完全燃燒後，能產生相當於0.7千克(700 g)無煙煤所提供的熱量。

$Q(1\text{m}^3\text{沼氣}) \sim Q(700\text{ g})\text{無煙煤}$

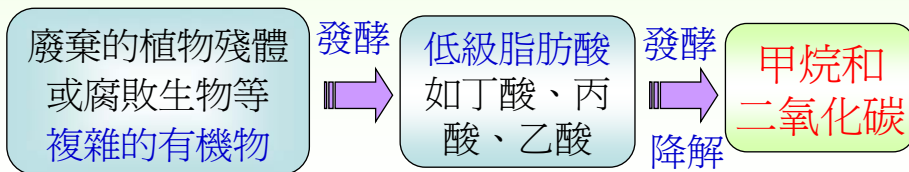
微生物在沼氣發電中所扮演的角色

- 在千姿百態的生物世界中，存在一種我們肉眼看不見、摸不著的微生物，能為人類提供能源。
- 提起微生物，往往會使人們想起它會使食物腐爛變質，也會使人感染上各種疾病。因此，對它們又害怕、又憎惡。
- 但是，在微生物的家族中，因為種類不同，它們的作用也不盡相同，有的會給人類帶來災難，有的會給人類帶來幸福。
- 微生物中，甲烷細菌和酵母菌能為人類提供能量，經過它們的發酵作用可以生產沼氣和酒精等燃燒氣體，進而直接作為燃料及發電用的燃料。

沼氣轉變為燃料氣體 的基本原理

沼氣發生的詳細原理科學家目前尚未完全清楚中，但其形成的過程大致可分為兩個階段：

- (1) 首先將各種複雜的有機物轉化為低級脂肪酸，例如丁酸、丙酸、乙酸；
- (2) 然後再將上述各類產物繼續轉化為甲烷和二氧化碳等燃料氣體。



沼氣發生的基本原理

- 目前已經將沼氣用作燃料和用於照明。
- ✓ 用沼氣代替汽油、柴油，發動機器的效果也很好。
- 作為農村的能源，具有許多優點。
- ✓ 人、畜的糞便以及各種作物秸杆、雜草等，通過發酵後，既產生了沼氣，還可作為肥料，由於腐熟程度高使肥效更高。
- ✓ 糞便等沼氣原料經過發酵後，絕大部分寄生蟲卵被殺死，故並可以改善農村衛生條件，減少疾病的傳染。
- ✓ 譬如，修建一個平均每人1-1.5 m²的發酵池，即可以解決農村一年四季所需的燃柴和照明等基本問題。
- 現在，沼氣應用在各國農村受到大力地推廣，沼氣能源的開發和運用的普及等方面，已經有了不錯的成績。

- 許多已開發的國家，已開始進行微生物厭氧消化農場廢物、生產甲烷的較大規模試驗。如英國建立了甲烷的自動化工廠。
- 在厭氧消化器中有三個基本過程：
 - 第一階段的水解過程：是把不溶解的有機化合物和聚合物，通過酶法轉化為可溶解的有機物。
 - 第二階段為發酵過程：再將上一步轉化成的產物，如碳水化合物、蛋白質、脂肪類、醇等可溶的有機物發酵為有機酸。
 - 第三階段由有機酸發酵，並降解為產生甲烷。

沼氣應用在英、美兩國的發展情形

- 據估計在英國，利用人和動物的各種有機廢物，通過微生物厭氧消化所產生的甲烷，可以替代整個英國25%的煤氣消耗量。蘇格蘭已設計出一種小型甲烷發動機，可供村莊、農場或家庭使用。
- 美國一牧場興建了一座工廠，主體是一個寬30米、長213米的密封池組成的甲烷發酵結構，它的任務是把牧場廄肥和其他有機廢物，由微生物轉變成甲烷、二氧化碳和乾燥肥料。這座工廠每天可處理1650噸廄肥，每日可為牧場提供11.3萬m³的甲烷，足夠1萬戶家庭使用。
- 目前美國已擁有24處利用微生物發酵的能量轉化工程。
- 從世界範圍看，利用各種微生物協同作用生產甲烷的研究和應用，正處於方興未艾的階段。

沼氣應用在中國大陸的發展現況

- 近年來，中國大陸沼氣事業亦發展地非常迅速，沼氣池總數已達到1000多萬個。
- 在四川、浙江、江蘇、廣東、上海等省市農村，有些地方除用沼氣煮飯、點燈外，還建置了小型沼氣發電站，利用沼氣能源作動力進行脫粒、加工食料、飼料和制茶等，闖出了用“土”辦法解決農村電力問題的新路子。
- 專家們認為，21世紀沼氣在農村之所以能夠成為主要能源之一，是因為它具有不可比擬的特點，特別是在廣大的農村地區，這些特點就更為顯著了。
- 中國地廣人多，生物能資源豐富。研究表明，在21世紀無論在農村還是城鎮，都可以根據本地的實際情況，就地利用糞便、桔杆、雜草、廢渣、廢料等生產的沼氣來發電。

沼氣發電的優點

1. 原料就地取材、節省開支：

- 沼氣能源在大陸農村地區分佈廣泛，潛力很大，凡是有生物的地方都有可能獲得製取沼氣的原料，所以沼氣是一種取之不盡，用之不竭的再生能源。
- 因可以就地取材，故節省開支，沼氣電站建在農村，發酵原料一般不必外求。

2. 設備和技術簡單、建置成本低廉：

- 興辦一個小型沼氣動力站和發電站，設備和技術都比較簡單，管理和維修也很方便，大多數農村都能辦到。
- 據調查對比，小型沼氣電站每千瓦投資只要400元左右，僅為小型水力電站的1/2—1/3，比風力、潮汐和太陽能發電低得多。

3. 建設週期短：小型沼氣電站只要幾個月時間就能投產使用，基本上不受自然條件變化的影響。採用沼氣與柴油混合燃燒，還可以節省17%的柴油。

沼氣之技術背景

(Technical Background of Biogas)

- 沼氣的形成：廢棄的植物殘體或腐敗生物，經長期堆放後，內部會因與空氣隔絕而產生缺氧狀態。此時內部物體經被微生物分解後，而形成沼氣。
- 沼氣可由天然形成及人為分解方式產生。
- 目前大量供給的沼氣依來源大略有下列五項。
 1. 農業廢棄物(Agricultural waste)
 2. 動物排泄物(Livestock excreta)
 3. 城鎮垃圾(Urban garbage)
 4. 都市污水(Urban sewage)
 5. 工業廢水(Industrial effluents)

沼氣特性

(Characteristics of Biogas)

- 沼氣中主要含有甲烷(CH_4)、二氧化碳(CO_2)、硫化氫(H_2S)等化學成分。
- 以甲烷成分最多，高居50%以上。
- 甲烷有下列兩項優點：
 1. 熱值高：沼氣的熱值依甲烷含量而定，一般約為 5000 kcal/m^3 以上，比煤氣瓦斯的標準熱值 4500 kcal/m^3 還高。
 2. 具燃料特性：可作為引擎燃燒的燃料，引擎燃燒過程可使之更滑潤、減少排氣中有毒物質、低速運轉時可增加扭力。

沼氣的燃燒特性 (Fuel Characteristics of Biogas)

沼氣具燃料特性：作為引擎材料時，沼氣的燃燒特性可以使之在引擎內燃燒的過程中，更具下列優質特性：

- (1) 更滑潤
- (2) 減少排氣中有毒物質
- (3) 低速運轉時可增加扭力

掩埋場內氣體成份

摘錄自行政院環境保護署89年度委辦計畫
--封閉垃圾場復育綠美化執行成效評估(張添晉教授製)

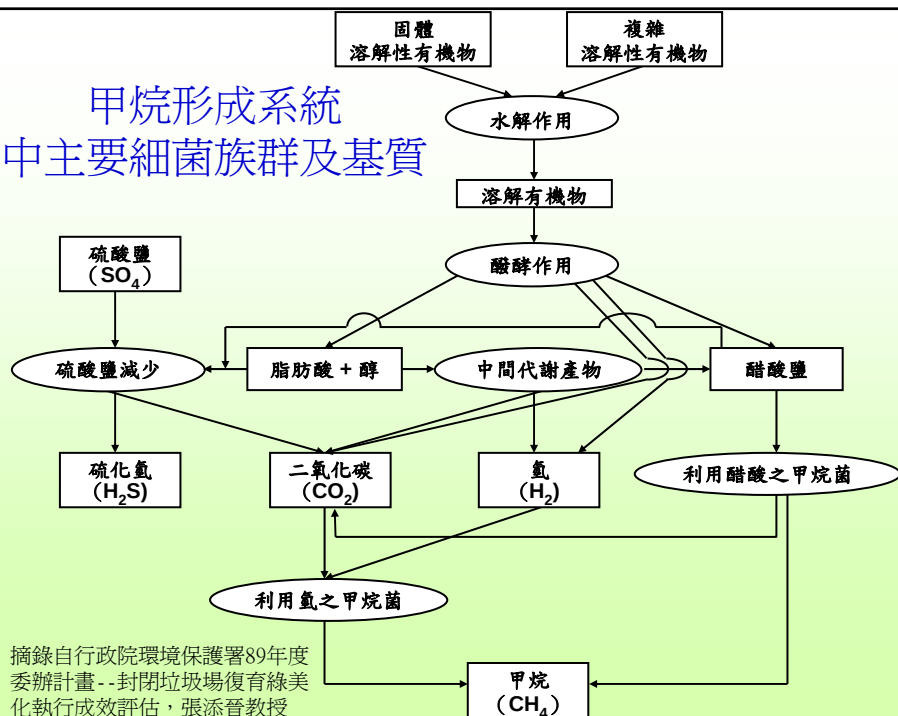
氣體	化學式	濃度 (vol%)	氣體	化學式	濃度 (vol%)
甲烷	CH ₄	0-85	硫化氫	H ₂ S	0-70
二氧化碳	CO ₂	0-85	乙醛	CH ₃ CHO	150 ppm
一氧化碳	CO	2.8	丙酮	C ₂ H ₆ CO	100 ppm
氨	NH ₃	0-0.35	苯	C ₆ H ₆	0.08
氫	H ₂	0-3.6	氬	Ar	0.01
氧	O ₂	0-31.6	庚烷	C ₇ H ₁₆	0.45
氮	N ₂	0-82.5	甲苯	C ₆ H ₅ CH ₃	0.09

掩埋垃圾產氣組成與時間之變化

摘錄自行政院環境保護署八十九年度委辦計畫
--封閉垃圾場復育綠美化執行成效評估(張添晉教授製)

掩埋時間 (月)	組成百分比 (%)		
	氮氣(N ₂)	二氧化碳(CO ₂)	甲烷(CH ₄)
0~3	5.2	88	5
3~6	3.8	76	21
6~12	0.4	65	29
12~18	1.1	52	40
18~24	0.4	53	47
24~30	0.2	52	48
30~36	1.3	46	51
36~42	0.9	50	47
42~48	0.4	51	48

甲烷形成系統 中主要細菌族群及基質



沼氣運用策略 (Strategies for Biogas utilization)

- 利用廢棄物所產生沼氣除可作為替代能源使用外，同時也處理了大量垃圾的問題，對環保亦有助益。
- 各國因應情況及需求不同，對沼氣利用也有所差異：
 1. 以能源利用為主：積極推廣沼氣的生產技術及其利用方式。
 2. 以環保為主：除了有效利用沼氣外，並積極發展
 - (1)各種更有效率且符合環保標準的廢棄物處理系統，
 - (2)提高經濟效益，
 - (3)推廣商業化應用。

動物排泄物



and



蔬果廢棄物



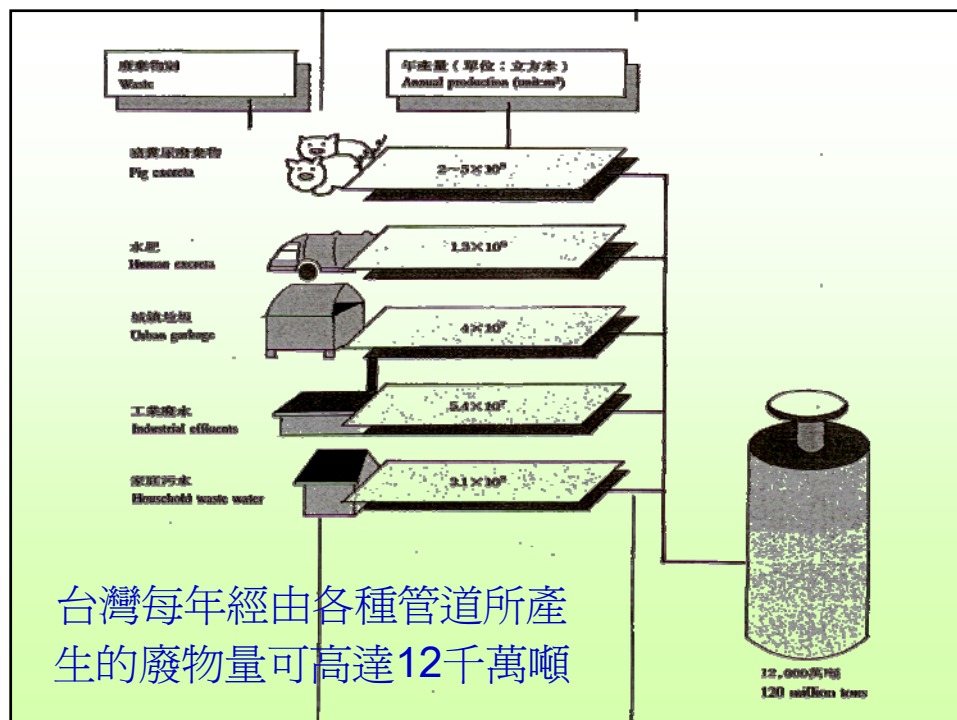
維護環保



沼氣廠處理

市場潛力 (Market Potential)

- 依經濟部能源委員會「能源發展技術－生質能源發展方向」的統計報告，國內每年產生的廢棄物達12000萬噸以上。
- 環保意識逐漸當道，大宗廢棄物處理已受到相當程度注重，若在處理廢棄物亦可同時生造價值能源，將會是國家可行方針。



適用範圍 (Application Scopes)

具高熱、燃燒特性良好的沼氣，其用途極為廣泛：

1. **直接燃燒**：作為家庭爐具、照明及工廠鍋爐燃料。
2. **電力生產**：經由引擎，帶動發電機發電。
3. **純化利用**：經純化後直接輸入各管線，成為與瓦斯相似之高熱燃料。
4. **化學原料**：作為甲醇、化學肥料等。



沼氣發電的經濟效益

-台灣國內之情形

(資料來源經濟部能源研究基金會)

沼氣利用 Application	評估規模 Scale	成本 Cost	回收年限 Year of return
沼氣作為發電使用 Power generation	飼養豬隻 1000頭 1,000 head of pigs	0.9元/度 NT\$0.9/kWhr	4.12年
沼氣純化利用 Application	飼養豬隻 4000頭 4,000 head of pigs	2.24元/立方米 NT\$2.24/m ³	2.2年

美國沼氣的經濟效益案例

資料來源經濟部能源研究基金會

評估個案	農 場	飼 育 場	酪 農 場
廢棄生質	7萬隻雞之糞便	1萬頭牛之尿糞	340頭牛之尿糞
消化槽體積	570 立方米	1200 立方米	370 立方米
系統費用	148,000 美元	1,250,000 美元	125,000 美元
沼氣發電	帶動 80kW發電機	帶動 485kW內燃機	帶動 47kW發電機
回收年限	3 年	2.2 年	4.8 年

美國沼氣的經濟效益案例

資料來源經濟部能源研究基金會

評估個案 Cases	農場 Darrel Smith Ranch	飼育場 Kaplan Industries Feedlot	酪農場 Marindal Dairy
廢棄生質 Discarded biomass	7萬隻雞之糞便 Liquid & solid excreta from 70,000 head of chicken	1萬頭牛之尿糞 Liquid & solid excreta from 10,000 head of cows	340頭牛之尿糞 Liquid & solid excreta from 340 head of cows
消化槽體積 Digester	570 立方米 570 m ³	1200 立方米 1200 m ³	370 立方米 370 m ³
系統費用 System expense	148,000 美元 US\$ 148,000	1,250,000 美元 US\$ 1,250,000	125,000 美元 US\$ 125,000
沼氣發電 Utilization on Power Generation	帶動 80 kW發電機 Generate 80 kW generators	帶動 485 kW內燃機 Fuel 485 kW Combustion engines	帶動 47 kW發電機 Generate 47 kW generators
回收年限 Year of Return	3年 3 years	2.2年 2.2 years	4.8年 4.8 years



沼氣消化系統
Digester

海水沼氣發電構想圖



技術研究發展

(Research and Development)

✧沼氣利用發展的研究方向：可分成三個部份，

- (1) 廢棄物處理
- (2) 沼氣產生技術
- (3) 沼氣利用方式

✧各國因國情差異而有不同的重點研究方向和展望

- (1) **開發中國家**：如中國、拉丁美洲、印度等，沼氣利用為家庭燃料發電為主，發展方向在於沼氣生產技術和推廣沼氣生產系統之興建。
- (2) **已開發國家**：如歐美加等國，已有相當穩健的沼氣生產和運用技術，接下問題是「如何提高廢棄物處理」及「對環保成效如何」則成為目前最新發展重點。

開發中國家沼氣生產系統興建數量

資料來源經濟部能源研究基金會

國家別 Country	系統別 System	數量(個) No. of digester established
中國大陸 Mainland China	農村家用沼氣池 Household biogas pools in rural areas	7,880,000
拉丁美洲 Latin America	沼氣生產系統 Biogas production system	3953
印度 India	牛糞廢棄消化沼氣槽 Anaerobic digester for cow excreta	50,000
南韓 South Korea	人畜廢棄物沼氣利用系統 Biogas utilization system for human and animal excreta	25,000

各國研究重點-I

國別 Country	研究機構 Research institution	研究重點 Research focus
加拿大 Canada	國家研究委員會 National research Commission	第二代厭氣消化系統技術 2nd-generation anaerobic digestion technology
	Alberta大學	
	中美洲工業及技術研究院 Institute of Industry and Technology in Central America	利用咖啡渣液產生沼氣 Biogas production technology using coffee dregs
印度 India	印度農業研究所 Institute of Agriculture Development in India	牛糞厭氣消化技術 Anaerobic digestion technology for pig excreta
	甘地鄉村工業研究所 Rural Industrial Commission in India	
	沼氣氣體研究站 Station for Biogas Research	

各國研究重點-II

國別 Country	研究機構 Research institution	研究重點 Research focus
菲律賓 Philippines	國家科技院、馬亞農場 National institute of Technology、 Maya Ranch	豬糞尿厭氣消化技術 Anaerobic digestion technology for pig excreta
台灣 Taiwan	台灣省畜產試驗所 Taiwan Livestock Research Institute	豬糞尿厭氣消化技術 Anaerobic digestion technology for pig excreta
	工研院能資所	
	工研院化工所 Chemical Union Lab	開發厭氣消化之材料 (紅泥塑膠帶) The development of materials for anaerobic digester
	工研院能資所 ERL,ITRI	沼氣純化技術 Biogas purification technology

各國廢棄物處理機制

研究機構 Research institution	研究重點 Research focus
加拿大國家研究委員會 National Research Commission, Canada	第二代工業廢棄物處理法 Second recycling technique for industrial waste processing
美國 U.S.A	垃圾掩埋場能源回收計劃 Energy recycling program for landfills
台灣工研院能資所 ERL,ITRI	家畜廢物高溫發酵處理技術 High-temperature fermentation technique for processing livestock waste
	果菜廢棄物前處理技術 Pre-processing technique for fruit and vegetable waste

兩岸沼氣使用情形比較-中國大陸

國別 Country	研究機構 Research institution	研究重點 Research focus
中國大陸 Mainland China	四川農業機械研究所 Institute of Agricultural Engineering, Sichuan	研究沼氣當作引擎燃燒之特性開發 Study the combustion characteristics as engine fuel
	上海內燃機研究所 Institute of Combustion Engines, Shanghai	發展沼氣引擎 Develop biogas engines
	成都沼氣研究所 Institute of Biogas, Chengdu	研究廢熱回收系統 Study heat recycling system
	北京公共事務研究所 Institute of public Affairs, Beijing	發展改良型沼氣燃燒器及沼氣燈 Develop upgraded biogas incinerator and biogas lamp
	天津大學 University of Tianjin	發展改良型沼氣燃燒器及低溫紅外線穀物乾燥機 Develop upgraded biogas incinerator and low-temperature infrared grain dryer
	太陽能及沼氣研究所 Institute of solar Biogas Energy	開發孵蛋器 Develop chicken incubators

兩岸沼氣使用情形比較-台灣現況

國別 Country	研究機構 Research institution	研究重點 Research focus
台灣 Taiwan	台灣省畜產試驗所 Taiwan Livestock Research Institute	以沼氣袋供廚房燃料及作為短乘車輛燃料 Use Biogas Bags to provide fuel for kitchen and short range vehicles
	工研院能資所 ERL, ITRI	發電利用之研究 Study the feasibility of biogas used in power generation

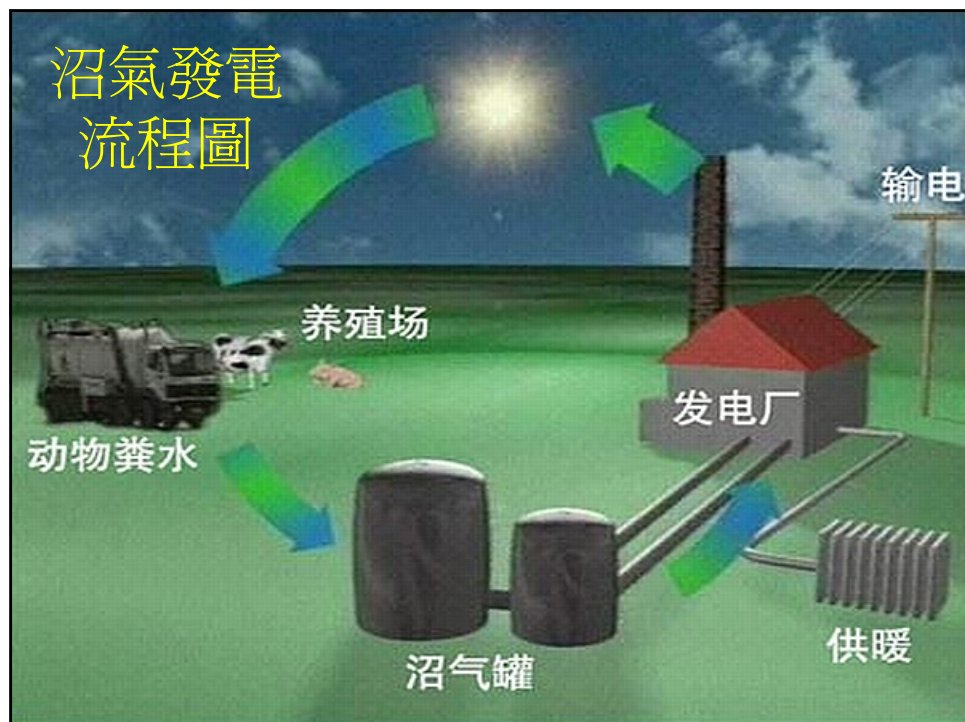
研究成果(Research results)

- 國內每日的果菜廢棄物傾倒量，相當於58萬人的污染量，已形成亟待解決之要題。
- 工研院能資所規劃的果菜廢棄物處理技術，不僅能有效改善目前果菜市場的環境、衛生，亦可推廣應用於垃圾滲漏水、水肥等處理。

1. 有機廢水高溫厭氣發酵技術：

目前國內養豬數700多萬頭，其排放廢水約等於3500萬人口污染量，外加大量工業廢水，已形成嚴重之環境污染。

- ✓ 有關於廢水處理技術，國內已有大量使用常溫及中溫（30%~40%）厭氣發酵處理。
- ✓ 而工研最近研發的高溫（50%~60%）厭氣發酵處理，其優點有能加速有機物分解速度，約為常溫之8倍，中溫的4倍、整體反應過程時間減半、能有效消滅病菌，有益環境衛生。





沼氣消化系統

廢氣儲存系統(??)



廢棄物氣化利用技術

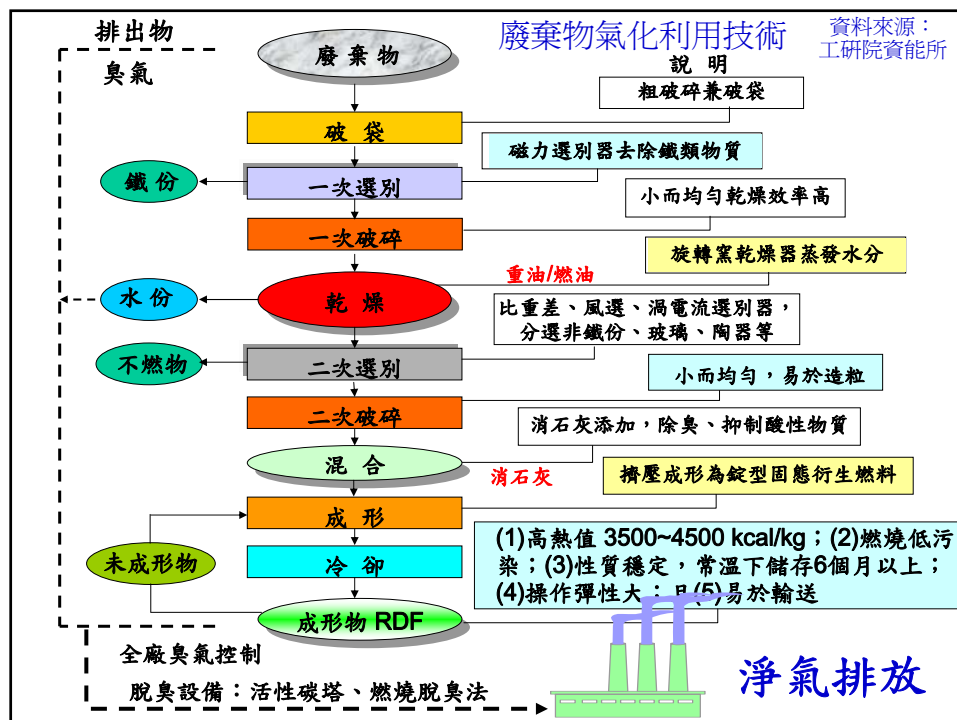
--工研院能資所已發展的核心技術--

一、氣化原理(gasification principle)

- (1) 氣化(gasification)程序係指在高溫下進行非催化性的部分氧化反應。
- (2) 將含如廢棄物或煤炭等轉換成以氣態燃料(如一氧化碳、氫氣、甲烷等)。
- (3) 可直接作為鍋爐與發電機組之燃料；
- (4) 或進行間接混燒(co-firing)，作為燃煤(油、氣)鍋爐的輔助燃料，供應所需之蒸汽及電力。

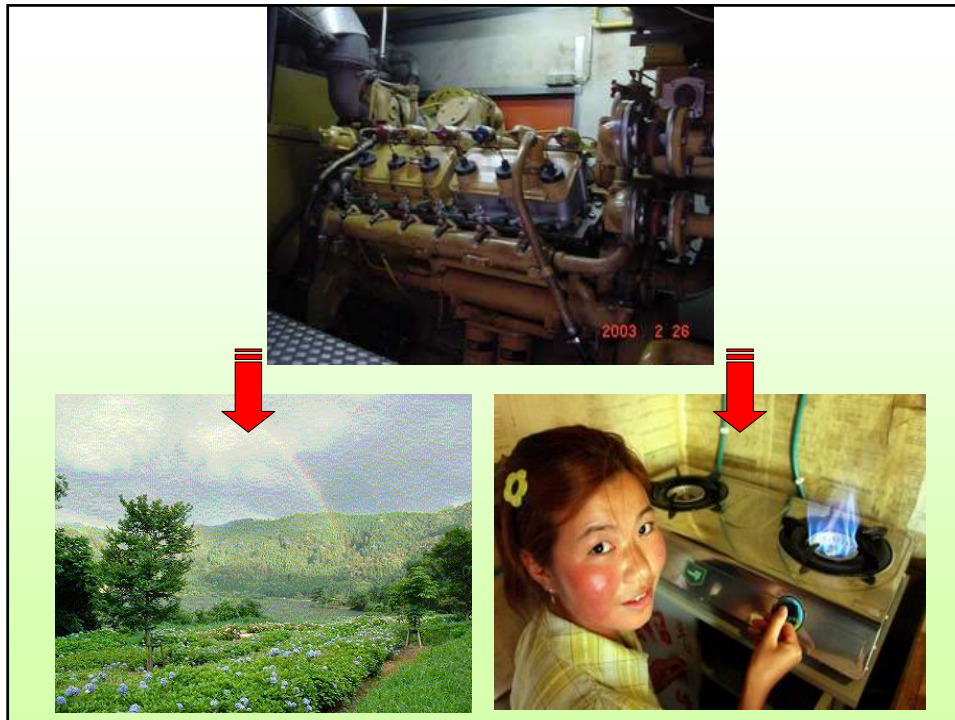
廢棄物氣化優點

- (1) 可有效回收及利用廢棄物所蘊藏之能源。
- (2) 氣化爐爐體構造簡單，操作容易。
- (3) 廢棄物進料彈性大，用途廣。
- (4) 所需空氣量較直接燃燒時少，除塵設備投資低。
- (5) 氮氧化物及二氧化碳產量少，較少污染。
- (6) 反應為部分氧化，剩餘氧氣很少，可避免戴奧辛前驅物氯酚之產生。



沼氣製作流程





固態廢棄物衍生燃料技術

--工研院能資所已發展的核心技術二

- **RDF : Residual Derivative Fuels 廢棄物衍生燃料 (?)**
- 因應國內垃圾性質並建立本土化RDF-5技術，在經濟部能源會支持及指導下，於2001年建立處理量200 kg/hr之RDF-5之先導型實驗工廠。
- 已先後應用此廠完成多項廢棄物製成RDF-5之測試，包括都市廢棄物及廢紙排渣、生物污泥、稻桿、廢PE膜、廢泡棉與金針菇養殖廢材等一般事業廢棄物，其中並涵蓋操作條件、耗電量、耗油量及操作成本之分析。
- 此外，實驗工廠並可做為RDF製造廠之人員教育訓練場所。

RDF-5先導型實驗工廠 --固態廢棄物衍生燃料處理工廠



RDF即是垃圾衍生性燃料的意思！

RDF：Residual
Derivative Fuels 廢
棄物衍生燃料(?)

廢棄物處理容
量：200 kg/hr

- 為推廣RDF-5技術，能資所與花蓮縣政府合作，於2003在花蓮縣豐濱鄉設置一座處理量 1,000 kg/hr 廢棄物之「廢棄物衍生燃料示範廠」，足可處理豐濱鄉所產生之廢棄物。
- 此技術亦已移轉予特許資源股份有限公司及永豐餘造紙股份有限公司，並逐步將技術成果擴散於業界中。
- 為使RDF-5可進行有效的後續應用，亦進行RDF-5與燃煤於大型鍋爐中實廠混燒之研究，以降低二次污染物之排放，以提昇RDF-5製造技術於資源回收、能源回收及環保效益之優勢。
- 目前已與業者合作，在流體化床氣電鍋爐，以廢紙排渣所製成之RDF-5與燃煤進行混燒測試，在所設定的混燒條件下，可符合環保法規之排放標準。
- 混燒測試也將持續在其他型式之鍋爐進行，以提昇混燒比例，擴展RDF之使用範疇。

●興建中的示範廠：

為推廣RDF-5技術，能資所與花蓮縣政府合作，於2003在花蓮縣豐濱鄉設置一座處理量 1,000 kg/hr 廢棄物之「廢棄物衍生燃料示範廠」，足可處理豐濱鄉所產生之廢棄物。



各種廢料製成的RDF



都市垃圾製成之RDF-5



廢泡棉製成之RDF-5



稻桿製成之RDF-5



生物污泥製成之RDF-5



廢紙排渣製成之RDF-5

資料來源：工研院資能所

未來展望 (Future prospects)

- 國內沼氣生產技術及利用方式已有良好基礎。未來可藉著相關法令政策的配合，重點開拓更大的產能和技術提升，必能更有效利用。
- 更純熟的沼氣純化技術將有助於提高沼氣的利用價值和經濟效益，更多元的廢棄物處理方法將可結合商業化，形成一需求供給的社會，無形中達到環保意識。
- 各種再生能源的交錯應用、配合將使地球更美麗、健康，達到再生科技發展之最終目標「**回歸自然**」夢想。

參考文獻和網站

- “沼氣能的誘人前景”，摘自「21世紀能源趣覽」，
<http://www.bjgp.gov.cn/gkjq/nykx/k10906-01.htm>.
- **歐盟的生質燃料政策介紹**，許榮富，國科會國際合作簡訊網，文章來源：駐歐盟兼駐比利時代表處科技組；發佈時間：95.04.06；
http://stn.nsc.gov.tw/view_detail.asp?doc_uid=0950331005&kind_no=A01
- http://europa.eu.int/comm/agriculture/biomass/biofuel/com2006_34_en.pdf
- http://europa.eu.int/comm/agriculture/biomass/biofuel/index_en.htm
- http://www.r-p-a.org.uk/article_default_view.fcm?articleid=1673&subsite=1