

第七章 生質能

7-1 生質物與生質能

7-2 都市廢棄物

7-3 生質柴油

7-4 生質酒精

7-5 沼氣

7-6 微生物燃料電池

7-7 能源造林

生質能

生質物係指由生物產生的有機物質，而該有機物質可做為燃料或工業產品。目前最常提及的生質物，係指種植及成長之後，用以作為**生質燃料 (biofuel)**的植物。

至於生質能，係指生物所產生的生質物，經熱、化學或生物方式轉換而獲得的有用能源。

另外，依據我國行政院「再生能源發展條例」第三條第二款的定義，生質能為「**國內農林植物、沼氣、一般廢棄物與一般事業廢棄物等直接利用或經處理所產生之能源**」。

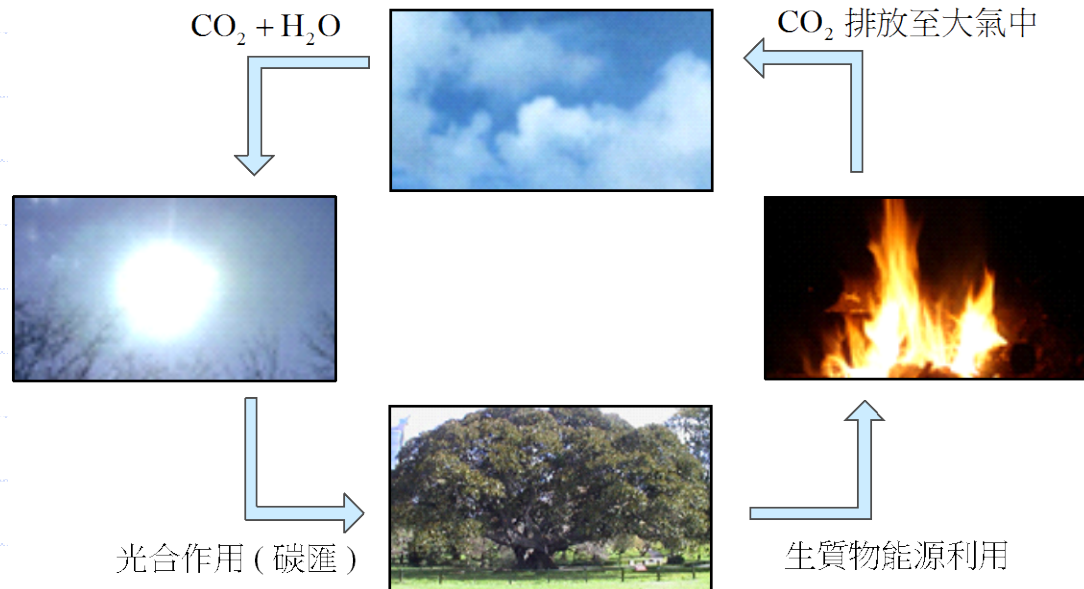
生質能

生質能與風能、太陽能相同，都具有取之不盡、用之不竭的特性，因而生質能為再生能源的一種。

生質能與化石燃料不同的地方在於化石燃料在地下深處經長期的地質化學作用才形成的，一經開發後，無法迅速再生。而生質能係由 CO_2 與 H_2O 經光合作用而成，使用後又變回 CO_2 與 H_2O ，其僅靠簡單的**生化作用**便可重覆再生，**不需長期的地質作用**。

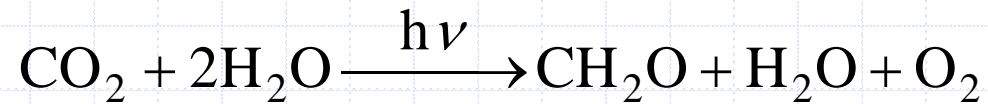
生質能的碳循環

由於生質物具有二氧化碳淨排放為零的特性，因此其又稱為「**碳中和 (carbon neutral)**」燃料。但值得一提的是，其使用過程中若不當規劃及管理，仍可能加劇全球暖化現象，例如砍伐森林 (deforestation) 及都市化 (urbanization) 過程，這些活動又稱為「**碳漏損 (carbon leakage)**」。

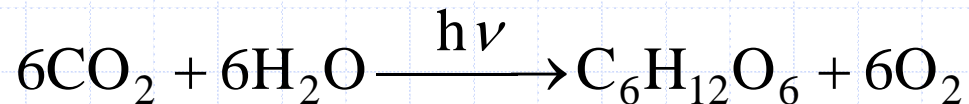


光合作用

光合作用可以用以下簡單的反應式表示：



式中 $h\nu$ 代表著光能的吸收，植物每生成一莫耳的 CH_2O ，約需112 kcal的光能。以葡萄糖（glucose）生成為例，其藉光合作用每合成一莫耳，需要674 kcal的光能，而其反應式表示如下：



生質能

據估計，當陽光入射至植被的地球表面時，所有波長光線中約25%的光能可被利用於光合作用，其中又約60到70%的能量被植物的葉片吸收，而葉片平均每吸收15 eV的光能後，約轉換成含5 eV之碳水化合物，其能量的效率約為35%。綜合上述各項因子，**光能轉換成化學能而儲存在生質物的效率約為6% (=0.25×0.70×0.35)**左右。

依統計，目前生質能為全球**第四大能源**，僅次於石油、煤及天然氣，供應了**全球約10%的初級能源**需求，為目前最廣泛使用的再生能源，約佔世界所有再生能源應用的三分之二。

世界初級能源消耗統計值及未來需求之預估値 (Mtoe)

種 類	1980	2000	2007	2015	2030	2007~2030*
石 油	3,107	3,655	4,093	4,234	5,009	0.9%
煤	1,792	2,295	3,184	3,828	4,887	1.9%
天然氣	1,234	2,085	2,512	2,801	3,561	1.5%
生質物與廢棄物	749	1,031	1,176	1,338	1,604	1.4%
核 能	186	675	709	810	956	1.3%
水 力	148	225	265	317	402	1.8%
其他再生能源	12	55	74	160	370	7.3%
總 量	7,228	10,018	12,013	14,121	17,014	1.6%

- 年平均成長率
- 資料來源：IEA, 2009。

廣義而言，**生質物**包含了：

1. 木材與林業廢棄物（如木屑）。
2. 農作物與農業廢棄物（如黃豆、玉米、稻穀、蔗渣）。
3. 畜牧業廢棄物（如動物屍體、廢水處理所產生的沼氣）。
4. 工業有機廢棄物（如有機污泥、廢塑橡膠、廢紙、黑液）。
5. 垃圾與垃圾掩埋場與下水道污泥處理廠所產生的沼氣。

印度鄉間生質能—牛糞



生質能優勢

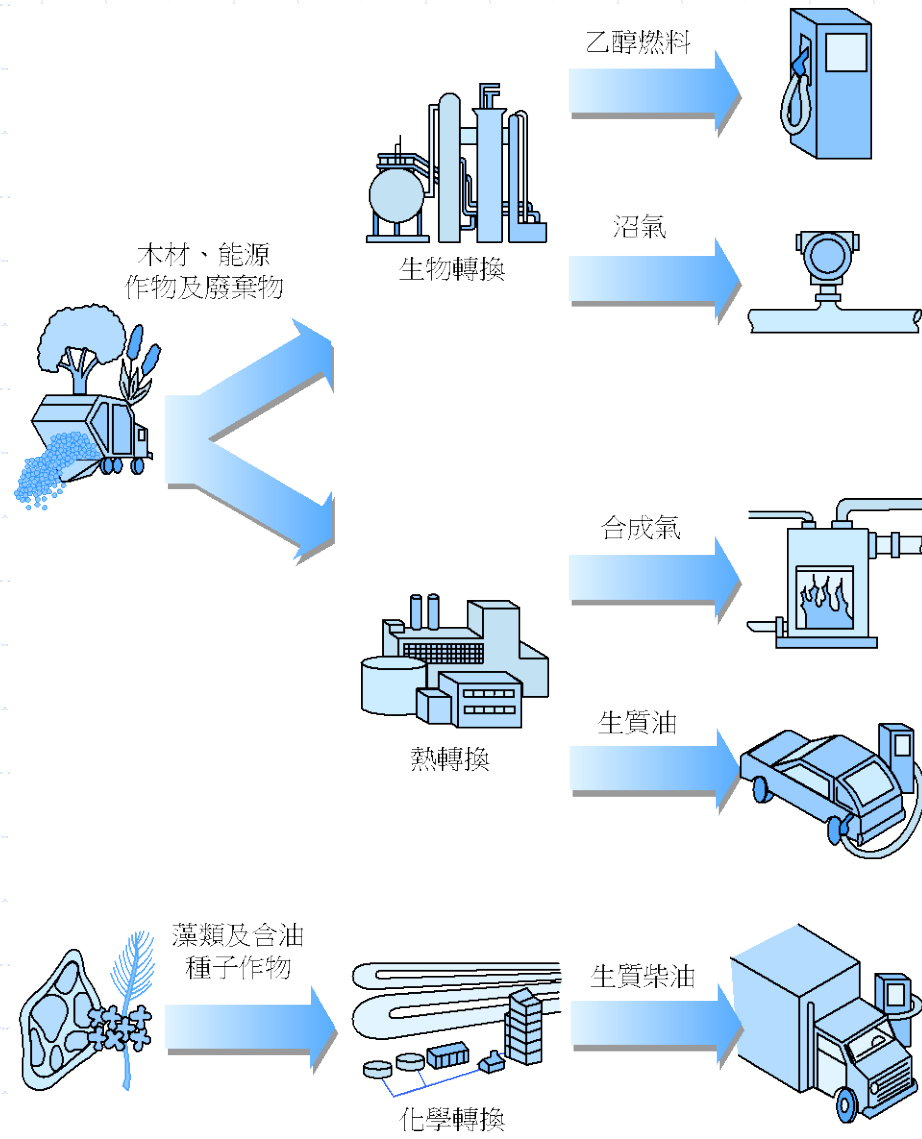
1. 技術成熟，具有商業化運轉能力。
2. 經濟效益較高，使用廢棄物的生質能，更兼具處理廢棄物與回收能源的雙重效益。
3. 生質能可利用傳統能源供應架構，例如生質柴油可與市售柴油混合使用，氣化系統可與汽電共生或複循環發電系統結合。

生質物轉換

一般而言，生質物轉換為能源的方式可概分為物理轉換、熱轉換、化學轉換以及生物轉換。

1. **物理轉換**：是種較簡單的能源轉換程序，如脫水、乾燥、分類、壓縮、並加入添加劑以製作成垃圾衍生燃料等。
2. **熱轉換**：為最常用的能源轉換方式，如直接燃燒以生產蒸汽或熱能，又如廢棄物的之焚化，或以氣化及裂解方式產生合成燃氣或合成燃油。
3. **化學轉換**：如經交脂化等化學轉換程序產生生質柴油。
4. **生物轉換**：如利用生物菌種發酵等方法產生沼氣、生質酒精及氫氣等燃料。

生質物轉換為能源的方式



都市廢棄物(Municipal Solid Waste, MSW)

台灣早期工業尚未發達之時，垃圾的處理以掩埋為主。但隨著人口的增加，由於台灣地狹人稠，掩埋場日趨飽和，加上民眾環保意識的抬頭，其所衍生的惡臭問題造成各地民眾皆要求既有的掩埋場早日封閉，並反對設立新的掩埋場。

事實上，垃圾掩埋除有惡臭問題外，也涉及到滲出水(leachate)的管理。所謂滲出水係指液體滲經固體廢棄物並萃取出溶解性及懸浮性物質，而大部份掩埋場的滲出水是由外界進入的液體（如表面排水及地下水等）及廢棄物分解產生的水份所組成。因此，以焚化方式處理都市廢棄物乃成為近年來較佳的選擇。

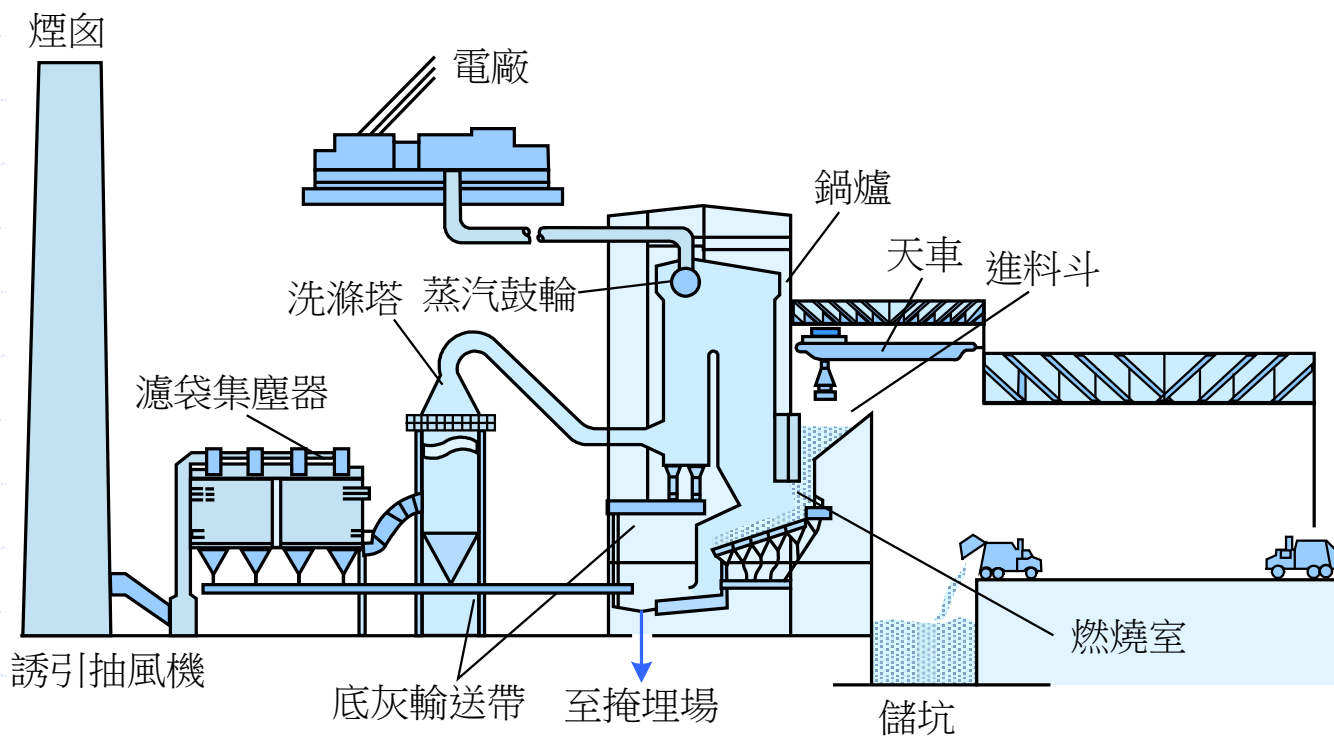
焚化 (Incineration)

焚化係創造一高溫及充足氧氣的環境，利用劇烈的氧化反應將廢棄物燃燒破壞。焚化去除廢棄物的同時，也能夠滿足

1. **減量化**: 一般而言，產生灰渣的體積僅有原來垃圾體積的5%~10%。
2. **安定化**: 當垃圾經焚化後，高溫燃燒將能殺死各種微生物並分解惡臭氣體。
3. **安全化**: 醫療廢棄物及其他有害的事業廢棄物經焚化後由於分子重組而轉變成氣體及灰渣，因而達到無害化。
4. **資源化**: 焚化廠的設立常具有前處理單元，能將資源性廢棄物先行回收。垃圾燃燒所產生的熱能將可作為能源回收利用。

焚化發電廠

由於垃圾的燃燒屬於放熱反應，其所產生的熱能將可作為能源回收利用，例如製程蒸汽、空間加熱及汽電共生發電等。因此焚化發電廠一般又稱為**廢棄物轉化能源廠**。



高雄市中區資源回收廠



由於廢棄物能源利用兼具能源與環保雙重貢獻，且使用廢棄物能源可減少因使用煤炭、石油所產生的二氧化碳排放量，因此世界各國皆將其納入再生能源範疇中。

雖然焚化具有上述各項的優點，但都市廢棄物經過焚化後，原有物質所含的元素將重排而形成各類的氣體及固體灰渣，其對環境仍有相當程度的衝擊。

當廢棄物與空氣中的氧氣完全反應，碳元素將與氧形成二氧化碳，氫元素則形成水，因此廢氣中以**二氧化碳**及**水分子**為主要的產物。但廢棄物中除了碳及氫元素外，尚有硫、氯及氮元素等，這些原子經反應後則可能形成**硫氧化物**、**氯化氫**及**氮氧化物**等空氣污染物。

至於都市廢棄物中所含有的重金屬成份如鉛、鎘、汞、鋅及砷等，雖然焚化過程這些重金屬會揮發成氣態，但當廢氣冷卻後，這些重金屬將凝結在飛灰上。而較不易揮發的金屬成份如銅、鋁、錫、鉻及鎳等則傾向於留在底灰中。當然，若燃燒條件控制不良時，除了生成前述的空氣污染物及重金屬外，也有可能形成其他有害的稀有物質如多環芳香烴化合物 (poly-cyclic Aromatic hydrocarbons, PAHs)、夫喃 (furan)、甚至戴奧辛 (Dioxin)。因此焚化爐之操作管理也是污染防治上極重要一環。

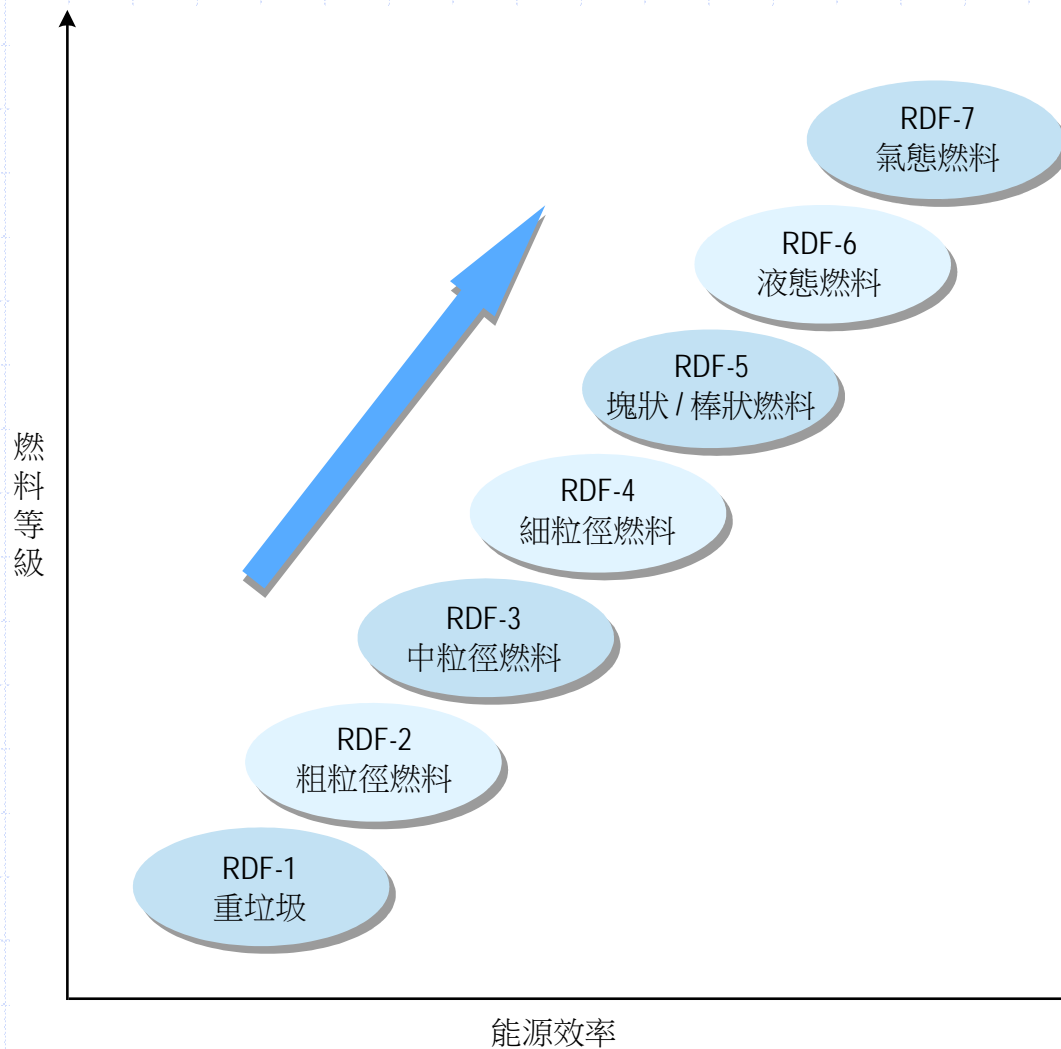
廢棄物衍生燃料 (RDF)

美國ASTM (American Society for Testing and Materials)

將廢棄物衍生燃料製品分類成7種：

1. **RDF-1**：以廢棄燃料型態使用之廢棄物。
2. **RDF-2**：前處理成一定粗粒徑之廢棄物。
3. **RDF-3**：將都市垃圾除去金屬、玻璃及其他無機物後製成之燃料，95% 重量通過2英吋角篩之廢棄物。
4. **RDF-4**：粉碎加工，製成95% 重量能通過10號篩之廢棄物。
5. **RDF-5**：壓縮成塊狀、棒狀等成型之可燃物。
6. **RDF-6**：加工成液態燃料之可燃物。
7. **RDF-7**：加工成氣體燃料之可燃物。

廢棄物衍生燃料之等級及能源效率



RDF-5之外觀



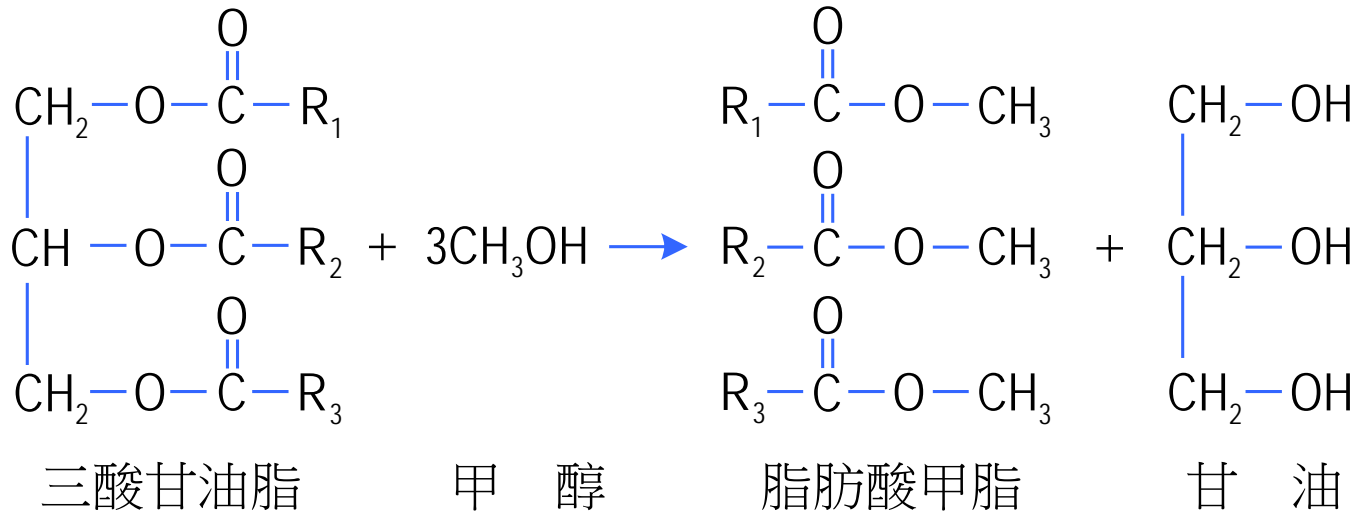
整體而言，廢棄物前處理做得越少，成本將越低，但是燃料效率也越低。反之，燃料等級隨數字越大而越高，因此RDF-7等級最高，而其能源效率也隨數字愈大而代表能源效率愈高。一般而言，RDF-1的能源效益小於15%，而RDF-7氣體燃料的效率則大於35%為最高。

生質柴油 (biodiesel)

第一次能源危機發生後，70年代中期研究人員開始嘗試以其他物品作為石油替代品以用於內燃機。最初研究乃以純植物油作為石油基柴油之替代品，但所得結果不盡理想。之後，研究人員以動物及植物衍生的油脂進行「轉脂化 (transesterification)」反應以降低油脂的黏度，且油的特性並未有明顯的改變。由於新產生的燃料為生物所衍生而出，且可作為柴油引擎之燃料，因此命名為生質柴油 (biodiesel)。

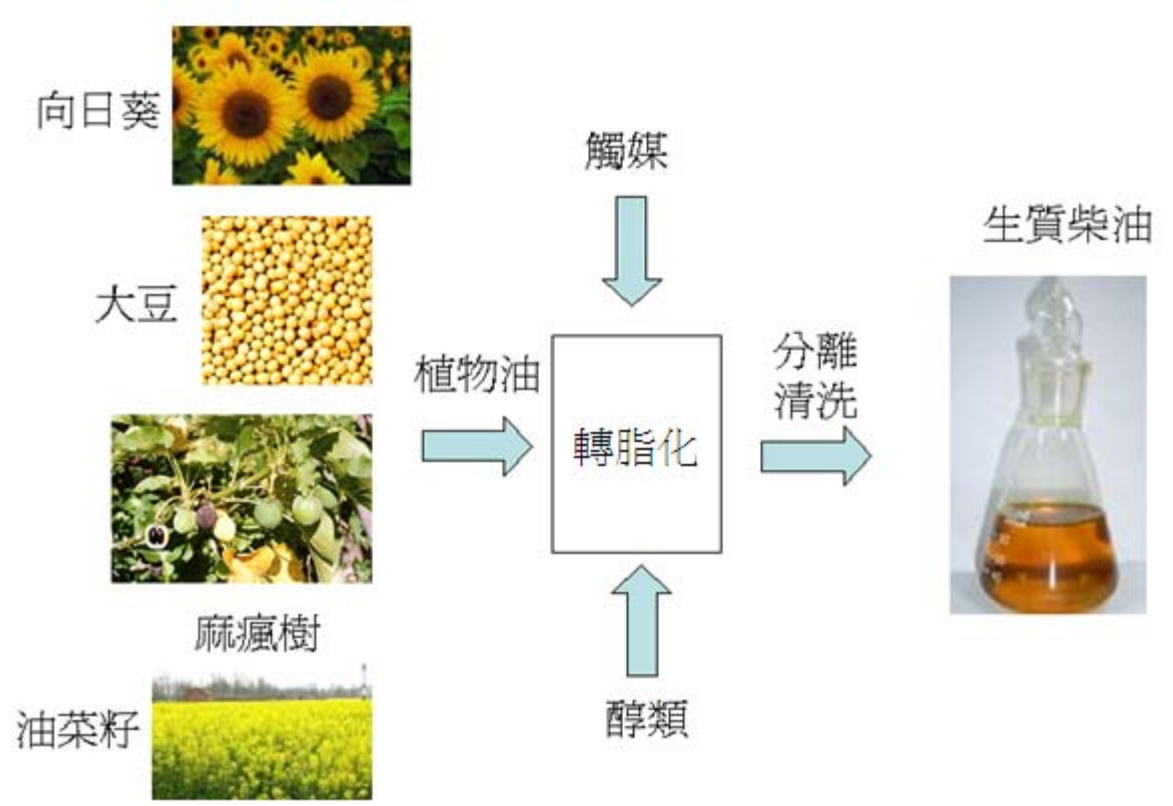
轉脂化反應 (transesterification)

轉脂化反應係將**三酸甘油脂**與較多的**醇類**在**觸媒**（如 KOH、NaOH、NaOCH₃ 等）作用下反應，以產生**甘油**及**脂肪酸脂**。



生質柴油生成簡圖

工業上生質柴油的生產，其係使用各種油脂或廢食用油為原料，配合甲醇經**轉脂化**反應後，產物將為脂肪酸甲脂及甘油。**脂肪酸甲脂**經分離及處理後，即為生質柴油。



各種常見油脂植物種子油收量表

種子油植物	kg 油/公頃	科	名生命期
玉米 (corn)	145	禾本科	1年生
棉 (cotton)	273	錦葵科	1年生
大豆 (soybean)	375	豆科	1年生
亞麻仁 (linseed)	402	亞麻科	1年生
薺菜 (camelina)	490	十字花科	1年生
芝麻 (sesame)	585	胡麻科	1年生
紅花籽 (safflower)	655	菊科	1年生
稻米 (rice)	696	禾本科	1年生
桐樹 (tung tree)	790	大戟科	多年生
向日葵 (sunflowers)	800	菊科	1年生
花生 (peanuts)	890	豆科	1年生
油菜籽 (rapeseed)	1000	十字花科	1年生
蓖麻仁 (caster beans)	1188	大戟科	1年生
麻瘋樹 (jatropha)	1590	大戟科	多年生
巴西堅果 (brazil nuts)	2010	玉蕊科	多年生
酪梨 (avocado)	2217	樟科	多年生
烏柏 (chinese tallow)	3950	大戟科	多年生
油椰子 (oil palm)	5000	棕櫚科	多年生

生質柴油的優點

1. 可作為一般化石柴油的替代燃料，B20代表20%的生質柴油和80%的化石柴油所組成的混合燃料。
2. 相較於傳統的化石柴油，**二氧化碳的排放上可減少65%-90%**。另外，生質柴油本身**可生物分解**，因此使用後對環境並不會造成嚴重的負荷，燃燒後約可減少50%粒狀物污染物的排放。
3. 生質柴油的**十六烷值**明顯高出許多，因此燃料的效能較好。
4. 生質柴油的黏度大於化石柴油，因此**潤滑性較佳**，且其氧含量較高，因此可促進燃燒效果。
5. 生質柴油的閃火點約為 159°C ，而化石柴油的閃火點則為 58°C ，因此生質柴油在**運輸、儲存及管理上較為安全**。

生質柴油的優點

6. 生質柴油的原料可以是動物脂肪、植物油、廢食用油，完全符合再生能源的環保概念，也可減少對進口能源的依賴。
7. 休耕或受污染的土地即可用來種植生質柴油的原料，因而增加土地的利用率，並增加農民的收入。
8. 生質柴油燃燒後所產生得二氧化碳可返回生態圈，供植物吸收成長，植物又可製造生質柴油的原料，因而形成密封型的碳循環（carbon cycle），確保生態平衡。

生質柴油的缺點

1. 生質柴油的雲點約介於-3至11°C，甚高於化石柴油的-9.41至-17.71°C。因此使用生質柴油時，若氣溫過低時將造成汽車油路的阻塞，可在生質柴油內加入添加劑以降低雲點。
2. 生質柴油的熱值較低，生質柴油的熱值較化石柴油低約10-15%，因此使用生質柴油，機動車的最大馬力輸出將會降低。
3. 使用生質柴油，可明顯降低碳氫化合物（HC）、一氧化碳（CO）及粒狀污染物的排放，但是氮氧化物（NO_x）則提升5到13%左右。

生質柴油的使用現況

美國主要以**黃豆油**作為生質柴油的原料，而歐洲則以**油菜籽**作為原料，至於亞洲，日本主要以**廢食用油**作為原料，馬來西亞則以**棕櫚油**為原料，印度目前正大力推動種植**麻瘋樹**。

在臺灣，2005年能源會議設定之生質柴油發展目標，為2010年10萬公秉、2020年15萬公秉，並循序漸進於一般柴油中添加2%至5%。目前規劃中，政府將在2008年8月1日起全面供應B1生質柴油（即化石柴油中加入1%的生質柴油），並不再販售原有的超級柴油。

巴西全國生質柴油計畫

至於巴西政府，於2006年2月正式啟動了「**全國生質柴油計畫**」，該計畫規劃從2008年開始，在巴西銷售的柴油中必須添加2%的生質柴油，添加比例至2013年將增加到5%。目前巴西全國已有1,500個提供生質柴油的加油站，其原料主要以蓖麻、油棕、大豆、葵花子及一些巴西特有的油料植物為主，估算約有21萬農戶參與這個生物柴油種植計畫。

生質酒精

由於將生質物轉換成酒精可做為汽油的替代品，因而該技術近年來深受矚目。酒精裡最重要的二種成份是甲醇及乙醇，甲醇及乙醇二者皆為無色的液體，前者的沸點是 65°C ，而後者的沸點為 78°C 。

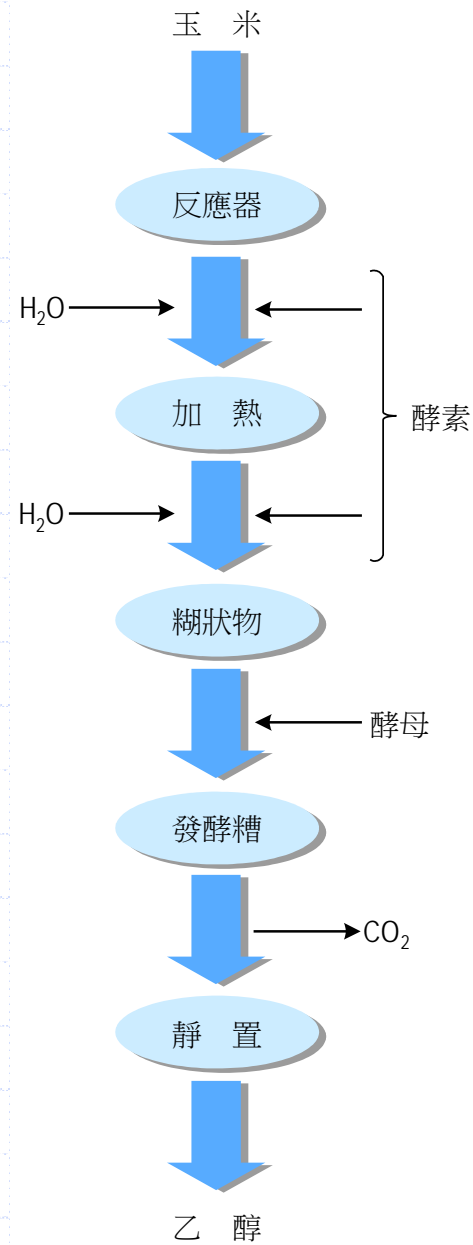
甲醇可從任何含碳物質中產生而得，而除了生質物外，也可利用煤及天然氣作為甲醇產生的原料。對內燃機而言，甲醇是優良的燃料，因而目前是賽車的燃料。從天然氣轉換成甲醇是最便宜的方式，和汽油的製造成本比較並沒有貴太多。而如果自煤或木材中轉換，成本則約兩倍。使用**甲醇作燃料的好處是可以減少管末空氣污染物的排放，特別是氮氧化物**，但在溫室氣體排放的減量方面則沒有太大的貢獻（和汽油比較）。若甲醇滲入汽油中使用，汽車並不需要太大的修正。

乙醇的產生

乙醇的產生則可由甘蔗、玉米及木材轉換而得。目前國際上乙醇的產生以巴西及美國為最大宗，巴西生產乙醇的原料以甘蔗為主，美國則以玉米及澱粉為主。

早在1970年代發生石油危機時，「酒精汽油 (gasohol)」用於汽車的使用量即逐漸增加並取代部分石油。使用乙醇的好處是其能改善汽車的運轉情形並減少污染物的排放，如果自木材中轉換乙醇，由於樹木成長時會自空氣中吸收CO₂，因而乙醇的使用能減少溫室氣體排放。但若自農作物如玉米中產生乙醇，由於作物的耕種、施肥及收割等程序皆會使用大量的能量，因而無助於能源的節省及溫室氣體的減量。而前述以農作物生產酒精汽油的成本甚至可能高於從石油中產生汽油的成本。

玉米轉換成乙醇的 流程圖



巴西乙醇計劃

在1973年第一次能源危機發生，致石油價格急遽增加後，巴西在1975年啟動乙醇計畫。該計畫要求所有賣出的汽油必須滲入22% 由甘蔗所產生的乙醇，此即俗稱的「**E22**」。然而，由於後來石油價格的下降，使得該計畫難以維持，例如1997年所賣出的新車，不到1% 使用乙醇。

但是，由於該計畫能減少二氧化碳的排放，燃燒較乾淨、增加甘蔗工業的工作機會及減少石油的進口，且其價格僅有汽油的一半，因而目前乙醇計畫正逐漸復甦中。現今較新的嘗試作法是增產使用「**E85（即85%乙醇+15%汽油）**」的新汽車量，並逐年增加乙醇的出口。目前巴西佔有約全球50% 乙醇出口市場。

新興原料

製造生質酒精的原料可區分為4類，分別是：

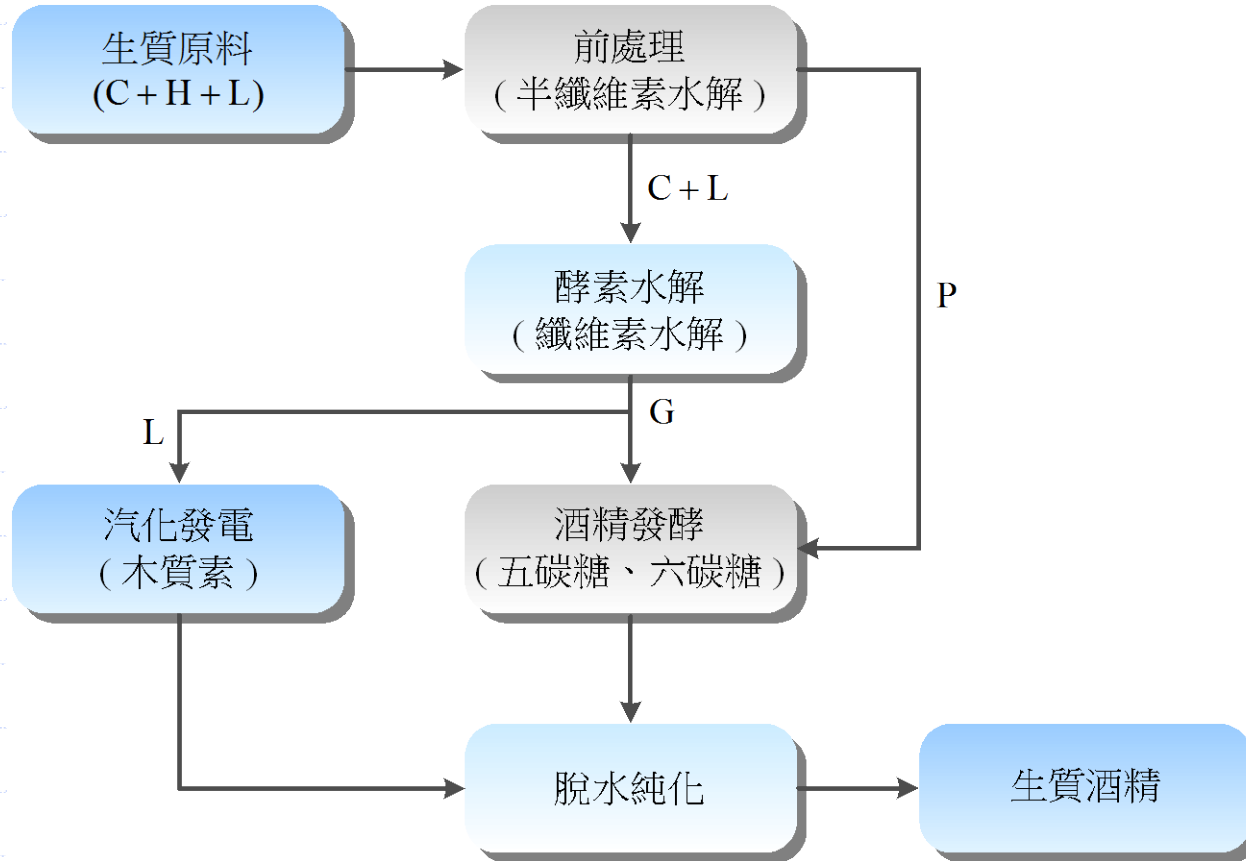
- (1) 糖質原料（如甘蔗、甜高粱、甜菜）；
- (2) 澱粉質原料（玉米、木薯、小麥、甘藷）；
- (3) 纖維質原料；及
- (4) 藻類原料。

過去以來，糖質原料及澱粉質原料已廣泛應用於生質酒精的生產，然而，上述原料具有引發全球糧食危機的疑慮外，隨著燃料酒精需求量的增加，利用全球蘊藏量非常豐富的纖維原料及藻類，已被認為是下一代生產酒精的主要方法。

新興原料

纖維素原料可為農業殘餘物、林業廢棄物、地方性固態廢棄物、紙漿、速生牧草等。纖維原料中的纖維素及半纖維素，必須經過適當的處理轉化為糖質後，微生物才能行發酵作用產生酒精。由於糖質有葡萄糖、木糖、半乳糖、甘露糖及阿拉伯糖等多種糖類之分，因此未來將需仰賴基因工程的應用，透過基因序列的修改及DNA的剪接，若能培育出纖維轉化酒精所需菌株，生質酒精的開發及生產將可大幅邁進。

纖維生質原料轉化成酒精的步驟

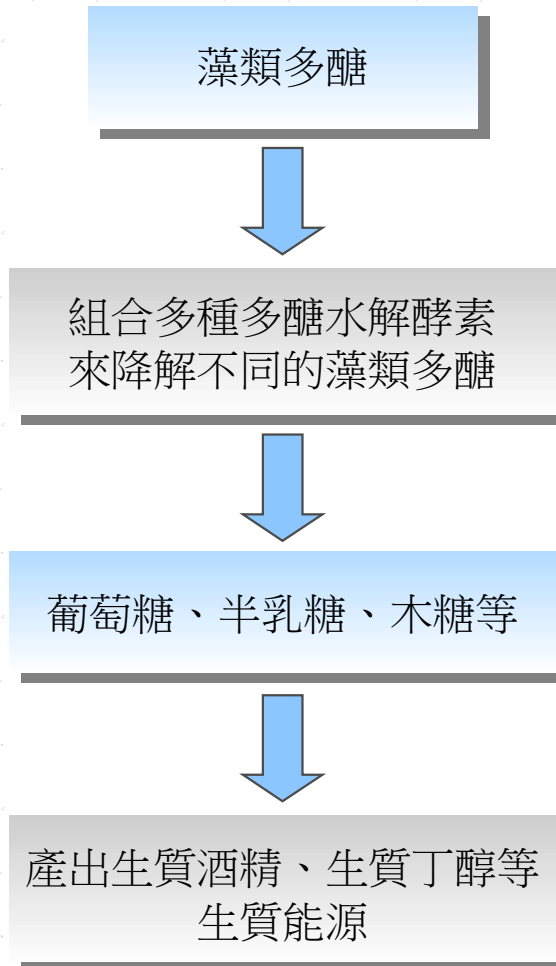


C：纖維素；H：半纖維素；L：木質素；P：五碳糖；G：葡萄糖

新興原料

就**海藻 (algae)**而言，其可生長在海水及廢水裡，僅需要一些陽光和二氧化碳就能生存。換言之，藻類的培育同時具有**太陽能利用及二氧化碳固定化**之效用。此外，藻類成長快速，在適當條件下，藻類的質量幾小時內就能增為兩倍，目前適合本土發展之大型海藻有**馬尾藻、石蓴及龍鬚菜**等。以藻類作為生質酒精之生產原料時，由於不同藻類內，組成多醣之單糖成分多不相同，因此必須組合多種多醣水解酵素來降解不同的藻類多醣。除了**生質酒精**外，海藻也可用於製造**生質丁醇**。

以海藻生產生質酒精及生質丁醇之流程圖



微生物燃料電池

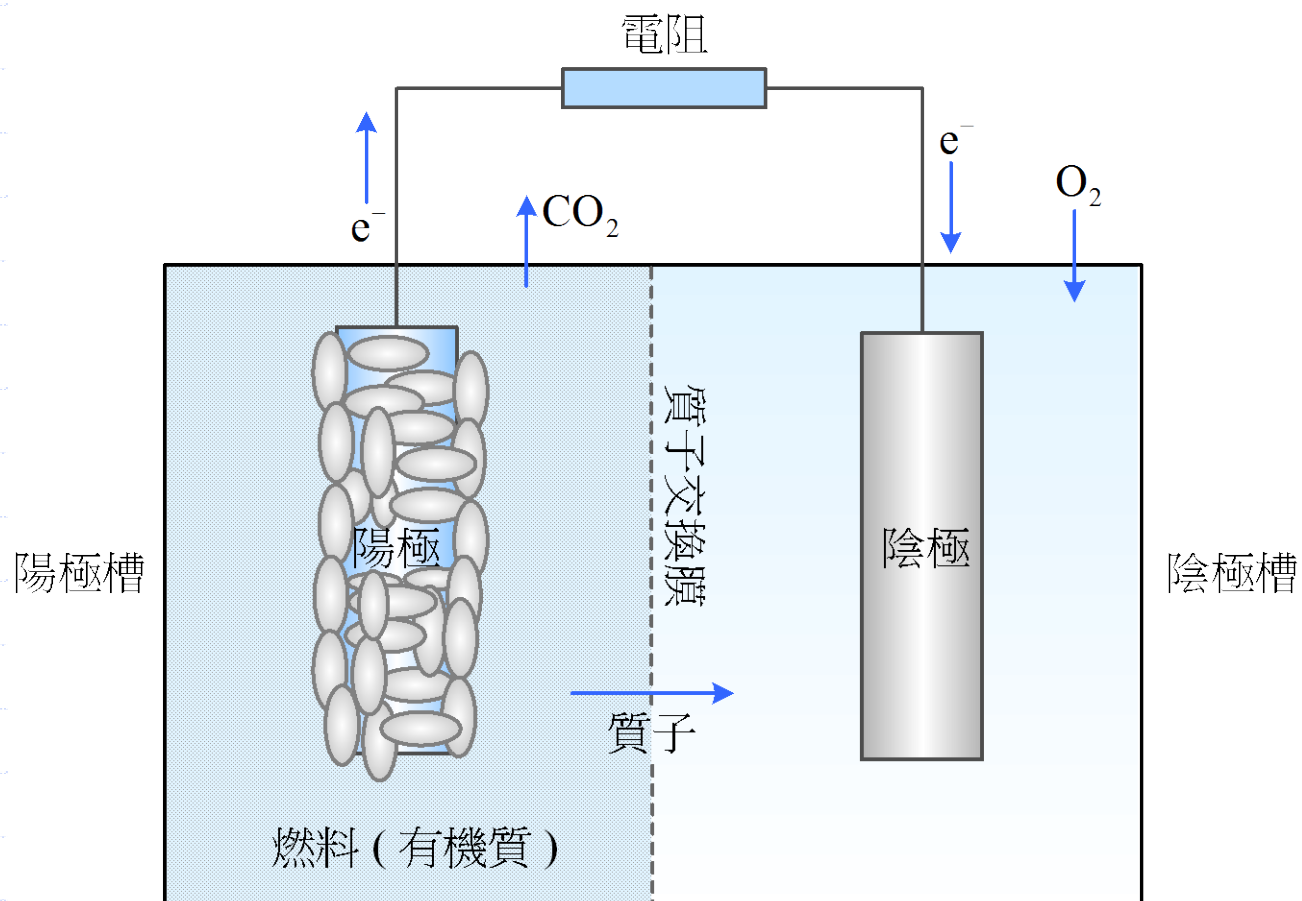
微生物燃料電池 (microbial fuel cell, MFC) 是一種生物電化學 (bio-electrochemical) 裝置，其乃以**微生物** (microorganism or microbe) 為**催化劑**，在陽極於厭氧 (anaerobic) 條件下，利用微生物進行**新陳代謝** (metabolism) 反應，分解有機燃料並將**化學能直接轉化成電能的裝置**；其中，有機燃料可為葡萄糖、醋酸、乳酸及家庭污水等。

微生物燃料電池的構造

MFC的構造主要有陽極槽 (anodic chamber)、陰極槽 (cathodic chamber) 及質子交換膜，陽極槽及陰極槽上各有電極 (electrode)，其間以電線連接；另外，質子交換膜則將陽極槽及陰極槽分離。

除了上述重要元件外，陽極槽必須另具有有機質及催化劑 (微生物)，陰極槽另具有緩衝溶液。微生物燃料電池除了具有薄膜外，近年來則另有研究發展出無膜式 (membrane-less) MFC。

微生物燃料電池的構造



微生物燃料電池的應用

- 1. 發電 (electricity generation) :** MFC特別適合用於只需低電耗傳送信號的小型遙測系統及無線感測器訊號。MFC可作為分散式發電系統以用於局部地區；也可應用於太空船內，除可消耗艙中產生的廢棄物外，也可產生電力；甚至展望未來將微生物燃料電池置入人體內，用人體內的營養分燃料以驅動微生物燃料電池，並提供電力予植入體內的人工醫學裝置（如人工心臟）。
- 2. 廢水處理 (wastewater treatment) :** MFC於廢水處理過程裡所產生的電力，可使傳統的廢水處理過程中用於活性污泥曝氣所消耗的電能減半；此外，MFC可減少50~90%的固體產生量。若使用某些特定的微生物，MFC可於廢水處理過程中同時除去硫化物。在某些案例中，MFC可除去廢水中80%的化學需氧量(COD)，庫倫效率則可高達80%。

微生物燃料電池的應用

- 3. 生物產氫 (biohydrogen)**：生物產氫的MFC中，陽極的反應所產生的質子和電子將在陰極結合形成氫氣。由於陽極槽中生質物氧化過程產生部分能量，微生物燃料電池產生氫氣要求的外部理論電位是110 mV，遠低於中性水 (pH = 7) 直接電解所需的1,210 mV。相較於傳統發酵過程每莫耳葡萄糖產生約4莫耳氫氣，MFC具有每莫耳葡萄糖產生8~9莫耳氫氣的潛力。
- 4. 生物感測器 (biosensor)**：當應用於廢水處理時，MFC的庫侖產率通常與廢水中污染物濃度成比例關係，使得MFC可能成為生化需氧量 (BOD) 的感測器。MFC型態之感測器包含有優良的操作穩定性、良好的再現性與正確性。MFC型態之BOD感測器操作可長達5年而無須額外的維護，遠久於其他型態的BOD感測器。

沼氣

沼氣的生成是自然界物質代謝極重要的一環，當有機物質於厭氧環境中，在一定的溫度、濕度及酸鹼度條件下，通過微生物的厭氣發酵作用，即會產生「沼氣 (biogas)」，其又稱為「消化氣 (digester gas)」或「沼澤氣 (swamp or marsh gas)」，沼氣也會出現在垃圾掩埋場中，故其也稱為「垃圾掩埋氣 (landfill gas)」。

沼氣主要成分是甲烷 (methane, CH_4) 和二氧化碳 (CO_2)，另外還含有少量一氧化碳、硫化氫 (H_2S)、氫氣、氧氣和氮氣等氣體。

沼氣

廚餘 (garbage)、畜禽排泄物 (manure)、有機廢水 (organic wastewater)、污泥 (sludge)、農產廢棄物 (agricultural waste) 或都市廢棄物 (MSW) 可以做為原料，進行沼氣生成反應，而經厭氣發酵法處理，以產生沼氣作為能源之處理方式即稱為「**甲烷化** (methanation)」。

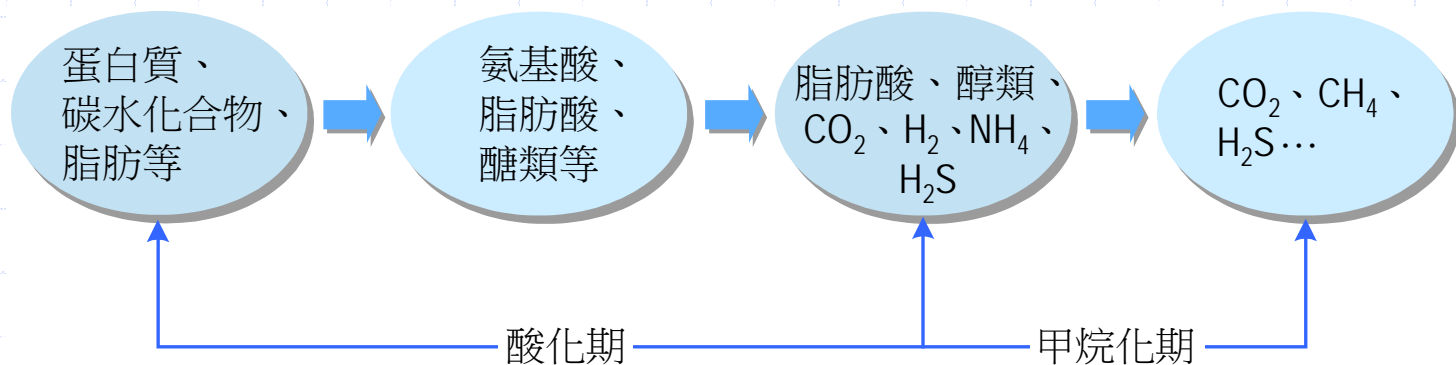
沼氣可被用作燃料，因此在開發中國家（如中國、印度、尼泊爾、越南及哥斯大黎加等）其常被作為價廉的燃料以用於炊事。在廢棄物管理系統中，沼氣也可結合汽渦輪機以發電，因此其是再生能源開發中重要一環。沼氣若經濃縮及壓縮，亦可應用於交通運輸，作為機動車的燃料。

自厭氧發酵槽產生沼氣之主要氣體成分及 體積百分比例（平均值）

氣體成分	體積百分（%，平均值）
CH ₄	55-75
CO ₂	25-45
CO	0-0.3
N ₂	1-5
H ₂	0-3
H ₂ S	0.1-0.5
Oxygen, O ₂	極稀

厭氧發酵法

或稱為「**厭氧消化** (anaerobic digestion)」，係微生物在缺乏氧氣的狀態下，將構造複雜之有機物分解轉變為簡單之成分，最後產生甲烷和二氧化碳等氣體。此種厭氧發酵過程可分成二個主要階段：第一階段為酸生成階段之**酸化期** (acidification phase)；第二階段則為產生甲烷之**甲烷發酵期** (methane fermentation phase)。



厭氧發酵法

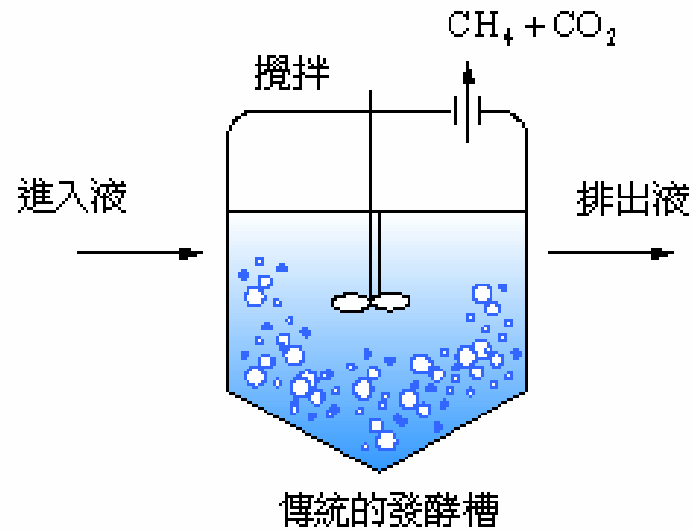
第一階段**酸化期**主要由兼性細菌和酸化細菌將蛋白質、碳水化合物、脂肪等轉化成以**揮發性脂肪酸**為主的中間產物。揮發性脂肪酸乃一短鏈之有機酸，在所有生成中間產物中以**乙酸**為主，其次為**丙酸**；在此過程中，兼性細菌只將複雜的有機物轉化成揮發性脂肪酸，對於生化需氧量及化學需氧量之去除幾乎為零，但合成了一些新的菌群。

第二階段**甲烷發酵期**，甲烷菌利用上述中間產物形成最終產物（甲烷及二氧化碳）。乙酸之甲烷化只需單一種類之甲烷菌，而丙酸必須有一部分先反應成乙酸及甲烷，再由乙酸反應產生甲烷。每一步驟均需由不同種類之甲烷菌促成，而幾乎有 85% 之甲烷是經由乙酸和丙酸之代謝反應而生產。真正有機物之穩定化是在第二階段進行，而其生物污泥之含量也少。

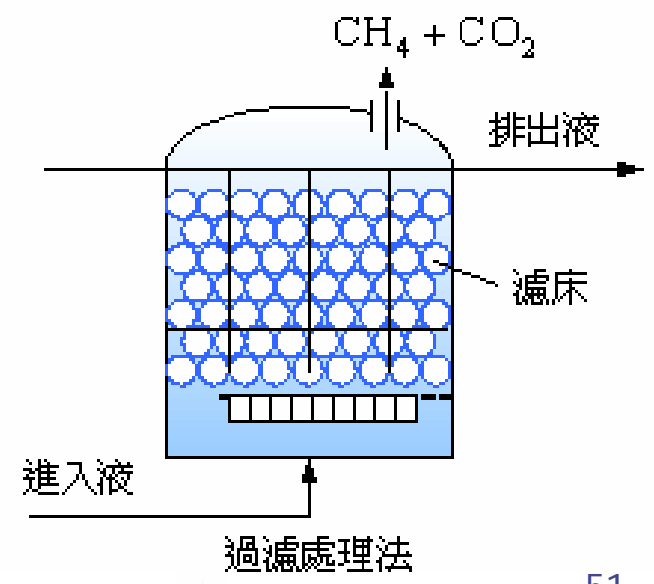
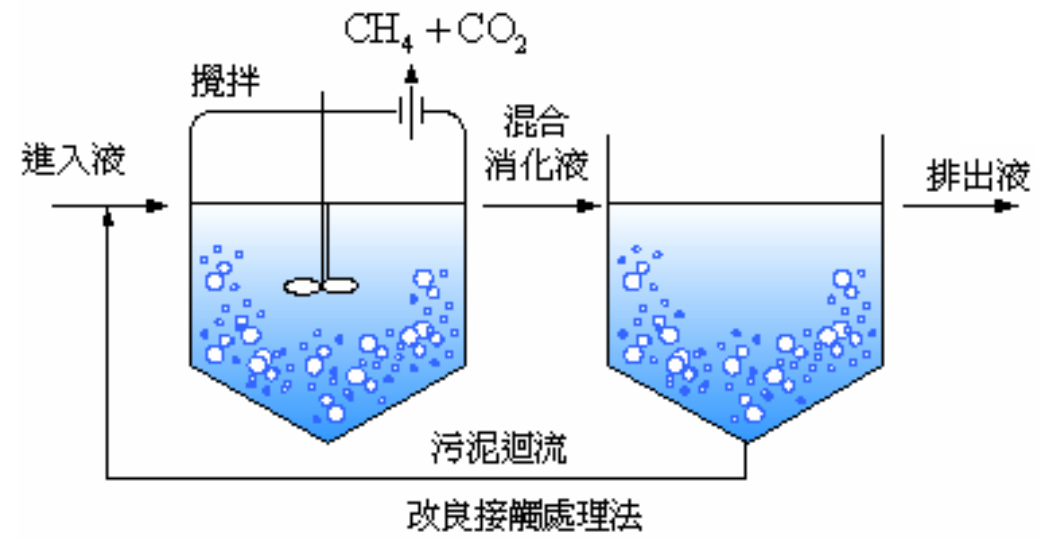
厭氧發酵槽

厭氧發酵槽或消化槽的設計有三種型式，其為

1. 傳統處理法
2. 厭氧接觸處理法
3. 厭氧過濾處理法



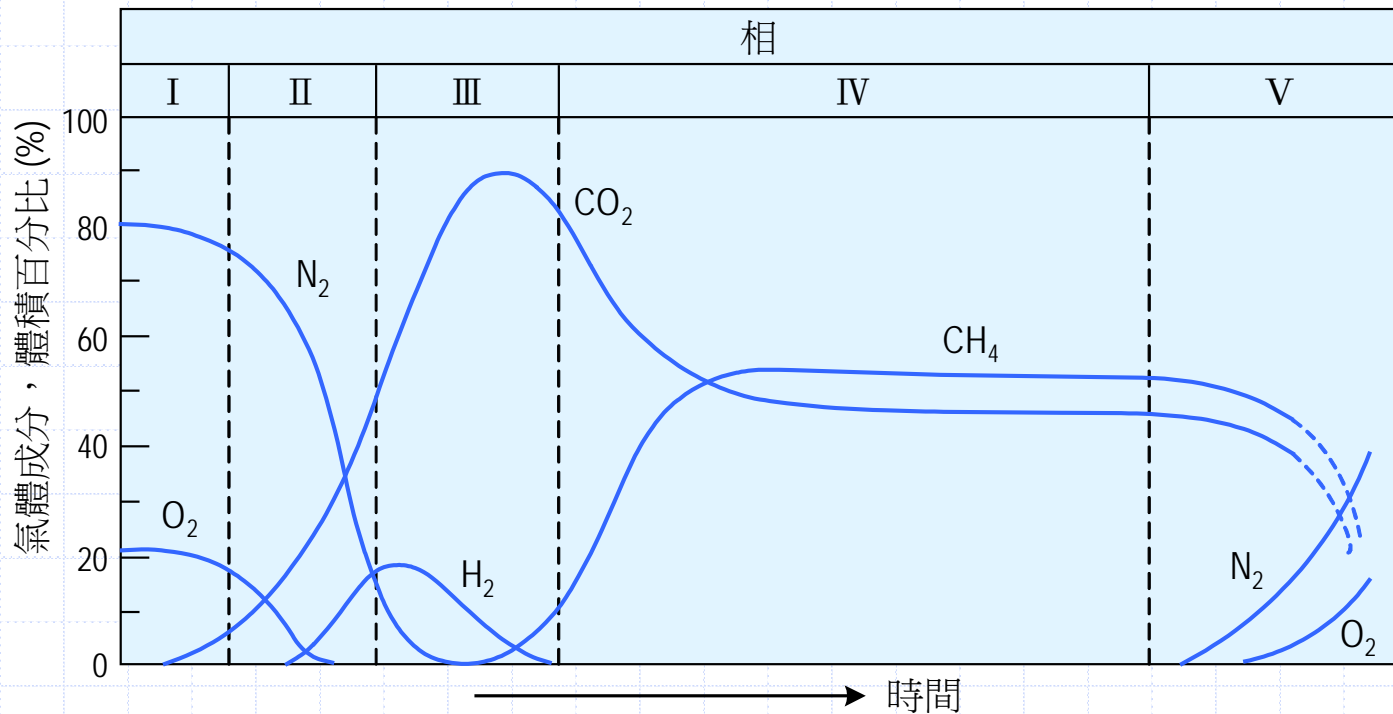
厭氧發酵槽



垃圾掩埋

垃圾掩埋是都市廢棄物處理中極重要一環，而垃圾掩埋場除了會產生臭味、爆炸及揮發性有機化合物的排放問題外，也會製造出**沼氣**，而沼氣的主要氣體是**甲烷**。以台灣而言，甲烷最重要的排放源即為垃圾掩埋場。甲烷是溫室氣體之一，而其造成的溫室效應約為二氧化碳的24.5倍。目前台灣地區衛生掩埋及堆置等垃圾處理場約有300處左右，這些地方若不加規劃，任其產生出的甲烷、惡臭飄散在空氣中，對於環境無疑是一大傷害。相反地，倘若能自垃圾掩埋場回收沼氣之甲烷，並將其資源化應用於發電，此舉不但能減少溫室氣體的排放，更能夠缺乏自產能源之台灣創造出具經濟價值的綠色能源，因此沼氣發電堪稱為一舉數得的再生能源。

沼氣的產生過程



I：最初調整期、II 過渡期、III 酸化期、
IV 甲烷醱酵期、V 成熟期

沼氣發電

一般來說，沼氣的產量在掩埋場關閉後的5年達到最高峰，而發電時間約可持續15至40年之久，但台灣因為含水量加上空氣溼度較高等因素，所以沼氣的生成也較國外掩埋場早。

台灣沼氣發電廠有台北市山豬窟及福德坑垃圾掩埋場、高雄市之西青埔及台中市文山等四座掩埋場，皆已設置沼氣發電廠。垃圾所產生的沼氣經過氣化處理後，再進行發電。

四座掩埋場所處理的沼氣量及產生的電力

沼氣發電廠	開始商轉日	~2012年2月 累計處理 沼氣量	~2012年2月 累計綠色 能源發電量	相當於減少 CH ₄ 排放量	相當於減少 CO ₂ 排放量
高雄西青埔	2000年5月	18,978 萬立方公尺	30,364萬度	67,712公噸	178萬公噸
台中文山	2001年7月	5,433 萬立方公尺	8,693萬度	19,386公噸	51萬公噸
台北山豬窟	1999年11月	13,427 萬立方公尺	21,483萬度	47,907公噸	126萬公噸
台北福德坑	2002年4月	6,505 萬立方公尺	10,408萬度	23,210公噸	61萬公噸

註1：每度電相當於減少0.223 Kg CH₄排放。

註2：每度電相當於減少5.783 Kg CO₂排放。

註3：每度電相當於植樹面積4.8平方公尺的CO₂吸收量。

註4：資料期間自開始商轉日至2008年5月。

註5：台中文山資料期間自開始商轉日至2010年12月停止運轉。

資料來源：高雄西青埔沼氣發電廠。

能源造林

以能源觀點視之，生質物成長所提供的能量比非再生燃料 (nonrenewable fuels) 具有更多的優點。例如生質物能夠減少我們對化石燃料的依賴，從而減少燃料進口所造成支出。藉由增加各式各樣農作物的產生將能提高農業經濟，進而減少政府對農業的補貼。此外，生質物的種植也能減少土壤損失、產生較佳的水質、提供野生生物較佳的棲息地、增加新能源的工作機會及提高環境科技等。

生質能造林係指致力於在農場上將太陽光轉換成能源。當評估能源造林時，重要的考慮因子有產率、單位質量的能源含量、種植的難易度及作物的維護需求（如氣候、水源及土壤條件等），而上述的產率係指農場單位面積生質物的產出噸數。

能源牧場

希望藉由廣大的耕作土地，以黃豆及玉米分別作為生質柴油及乙醇的產生基礎，進而取代部份需求龐大的家庭用燃料油及柴油引擎用油。

