

教育部  
補助大學校院辦理永續發展通識課程



期末成果報告書

學校單位	美和科技大學		
課程名稱	生態環境-綠色能源之永續發展論		
開課學期	100 學年第一學期	學分數	2
開課教授姓名	莊德豐	服務單位(系所)	健康事業管理系
開課教授電話	(公) (08)7799821 轉 8331 (宅/手機) 0931724055		
開課教授 email	dfjuang@email.meiho.edu.tw	傳真號碼	(08)778-0673

日期：中華民國 101 年 2 月 20 日

# 目 錄

章節名稱	頁碼
一、課程成果摘要 .....	1
二、課程開設目標及預期成果 .....	2
三、課程實施方法.....	2
四、課程執行情形.....	5
五、課程經費運用情形 .....	22
六、課程執行成果分析與檢討 .....	22
七、結論與建議 .....	25
八、附錄 .....	26

## 一、課程成果摘要

本課程修課人數計60人，包括日間部四技企管系2位、美容系1位、應用外文系4位、休閒運動保健系8位、社工系22位、食品營養系1位及餐旅管理系22位等，其中以二年級為最多，其次為三年級，四年級僅幾位。課程內容涵蓋有國際能源與環境問題、綠色能源發展概述、太陽能之現況與未來發展、風能之現況與未來發展、生質能之現況與未來發展、廢棄物產生之能源與應用、再生能源與新能源未來之發展、微生物燃料電池之原理、微生物燃料電池之技術與發展、綠建築及綠能源應用於社區發展等幾個主題。

經全學期成績評量結果顯示，共9位學生成績不及格(低於60分)，其中有8位為期中或期末考試缺考者，1位是平時幾乎都未出現上課且考試成績也不理想，已經先請各系轉知學生補考通知，但該幾位學生也未出現補考，因此學期成績均未及格。學期成績90分(含)以上者有17位，80分(含)至90分以下者有19位，70分(含)至80分以下者有13位，60分(含)至70分以下者有2位，60分以下者有9位。

研究結果顯示有約79.2%受訪者對教材內容表示滿意，62.5%受訪者對教材內容滿意。多數學生對本課程教材內容都可以接受，僅有少數幾位同學認為微生物燃料電池的內容較複雜難懂，未來可採較易懂的教學方式或圖表來說明應該會有許改進。

## 二、課程開設目標及預期成果

本課程之主要目標為教導學子節約能源之重性，並介紹替代能源之種類、原理及其應用性等。由於本校位於南部，終年日光普照時日較常，太陽能發電及其它再生能源之實際運用可行性較高，若能教導學子節約能源與替代能源之原理及技術，不僅讓學子充分獲得綠色能源之新知，能時也可藉此宣導與傳授節約能源之重要性，由基層教育推動，希望能逐步擴展至社區及家庭，激發學生對保護台灣環境與能源資源的決心。

本課程內涵與通識教育核心能力的關聯性主要在於：(1)有綠色能源、節能減碳或綠建築等科學領域基本認知的能力、(2)有知識與實務相輔相成及課堂學習與實地參訪教育之結合、(3)結合本校護理背景特色，引導學生具更深層之節能減碳教育，使其能應用於醫療產業(註：國外已有相當多醫療院均採綠建築與綠色能源應用之案例)。因此，本課程所符合之通識精神為：

- (1)在認知能力方面—具綠色能源、節能減碳或綠建築之認知；
- (2)在情意培養方面—讓學生瞭解資源有限及能源可貴之真理，因而能珍惜現有能源，並具綠色能源與綠建築運用之概念；
- (3)在永續社會方面—替代能源之教育與學習；
- (4)在培養表達及批判思考能力方面—瞭解能源對人類活動之影響，培養面對及解決能源短缺問題與學習環境保護的知能；
- (5)在廣義職業技能方面—培養學生具綠色能源、節能減碳及綠建築之知識，充分應用於醫療職場與機構之建設與發展方面。

綜合上述，本課程預期成果如下：

- (1)教育學生現今國際能源問題及其對環境危害之影響；
- (2)教育學生現今國際常見之替代及綠色能源種類及原理；
- (3)教育學生節能減碳之方法及重要性；
- (4)教育學生綠建築概念及其在社區及產業之應用性。

## 三、課程實施方法

### 1. 課程名稱、預定授課對象及預估修課學生人數

- (1)課程名稱：生態環境-綠色能源之永續發展論
- (2)預定授課對象：本校日間部四技學生
- (3)選課學生人數：60人

### 2. 課程大綱

本課程主要分為以下幾大章節：

- (1)國際能源與環境問題
- (2)綠色能源發展概述

- (3)太陽能之現況與未來發展
- (4)風能之現況與未來發展
- (5)生質能之現況與未來發展
- (6)廢棄物產生之能源與應用
- (7)再生能源與新能源未來之發展
- (8)微生物燃料電池之原理
- (9)微生物燃料電池之技術與發展
- (10)綠建築及綠能源應用於社區發展

課程大綱如下圖所示，包括課程摘要、課程大綱、教學方式及評分方式等。其中主要教材為自編講義，係依據課程大綱各主題內容，收集相關資料並彙整編排成講義，並提供給所有修課學生。

美和科技大學一百學年度 第一學期 教學計劃表

科目名稱	中文	生態環境(自然與生命科學)	英文	Ecological Environment		
開課	學制 科系 通識課程 班別 二四技通識3-自然領域		必選修 必修 學分數 2 全半學 半 年	授課教師 00002060莊德豐		
課程摘要	本課程擬介紹學子現今能源問題、綠色能源種類及其應用，並將個人目前研究微生物燃料電池之成果應用於本課程內，讓學子能獲得現今能源問題及替代能源發展與應用之相關知識，相望對國家在綠色能源教育與推廣方面能有所助益。					
課程大綱	(1)國際能源與環境問題 (2)綠色能源發展概述 (3)太陽能之現況與未來發展 (4)風能之現況與未來發展 (5)生質能之現況與未來發展 (6)廢棄物產生之能源與應用 (7)再生能源與新能源未來之發展 (8)微生物燃料電池之原理 (9)微生物燃料電池之技術與發展 (10)綠建築及綠能源應用於社區發展					
教學活動	上課、參訪及考試					
評分標準	平時分數- 40% 期中考-30% 期末考-30%					
主要教材	書名	作者	出版者	冊次	年次	版次
	能源概論	陳維新	高立圖書		2011	第五版
參考用書	書名	作者	出版者	冊次	年次	版次
	能源危機	丁仁東	五南圖書公司		2009	
備註	尊重智慧財產，請勿違法影印					

下圖所示為本課程原排定之各週課程進度，包括期中及期末考共計 18 週，依前述之課程大綱來規劃配置，先由國際能源與環境問題來引發學生對能源認知及節約能源的認同感，激發學生對保護台灣環境與能源資源的決心。接著引導學生來認識綠色能源之原理與技術，讓學生瞭解如何運用及結合大自然資源來達到運用替代能源與淨化環境之目標，並配合教育短片宣導與主題討論讓學生能陳述心裡之感覺。接著引用個人研究資料與成果，介紹如何運用微生物來產電及其發展之潛力等。最後，以綠建築概念陳述節約能源及資源回收利用之永續發展。

美和科技大學一百學年度 第一學期 教學進度表							
課程名稱	生態環境(自然與生命科學)	科系	通識課程	每週授課時數	2	任課教師	00002060莊德豐
		班別	二四技通識3-自然領域				
週次	起訖日期	預定進度				教學活動	
		章	節	教學內容			
一	2011/9/13~2011/9/19			國際能源與環境問題		上課	
二	2011/9/20~2011/9/26			綠色能源發展概述		上課	
三	2011/9/27~2011/10/3			太陽能之現況與未來發展		上課	
四	2011/10/4~2011/10/10			風能之現況與未來發展		上課	
五	2011/10/11~2011/10/17			生質能之現況與未來發展		上課	
六	2011/10/18~2011/10/24			教育短片教學與討論		教育短片欣賞	
七	2011/10/25~2011/10/31			實地參訪學習		參訪	
八	2011/11/1~2011/11/7			廢棄物產生之能源與應用		上課	
九	2011/11/8~2011/11/14			期中考		考試	
十	2011/11/15~2011/11/21			再生能源與新能源未來之發展		上課	
十一	2011/11/22~2011/11/28			微生物燃料電池之原理		上課	
十二	2011/11/29~2011/12/5			微生物燃料電池之技術		上課	
十三	2011/12/6~2011/12/12			微生物燃料電池之發展		上課	
十四	2011/12/13~2011/12/19			實地參訪學習		參訪	
十五	2011/12/20~2011/12/26			教育短片教學與討論		教育短片欣賞	
十六	2011/12/27~2012/1/2			綠建築及綠能源應用於社區發展		上課	
十七	2012/1/3~2012/1/9			國外(醫療)機構綠建築與綠色能源之應用		上課	
十八	2012/1/10~2012/1/16			期末考		考試	

#### 四、課程執行情形

有關本課程之教學教材如附件，本教材乃收即國內外相關文獻資料及個人研究成果等，彙整成冊，並影印給每位同學(考慮學期間可能有加退選者，故開學時先印65冊)，並於學期間持續收集更新文獻影印給學生作為補充講義資料等。本課程之主要教材如附錄一所示，部分資料及補充資料因智慧財產權問題並未附上。

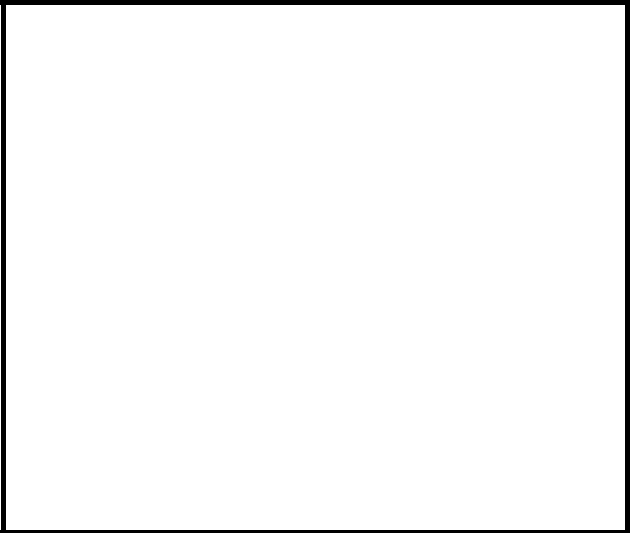
本課程之授課內容及順序均依據原規劃之順序辦理，由於本學期上課時間為週一，學期中有二次剛好碰到中秋節及國慶日兩大節日放假，因此該二週之課程乃分攤於前後兩週之課程內容中。本課程除了依照各章節安排再生能源、綠色能源及綠建築等相關課程之教育影片外，並有二次安排學生參觀太陽能發電及微生物燃料電池之實際設施或實驗設施等。有關太陽能發電設施之現場參觀解說，原本是安排離本校較近且剛開幕之六堆客家文化園區，該園內有大型太陽能發電系統，可惜在園區同意參觀並約定參觀日期時才發現該園區週一是公休。由於本課程為通識課程，學生來自不同系別，修課時間不一，故無法調課，因而無法安排參觀該園區，最後只能安排參觀教學本校之小型太陽能設施，包括景觀路燈及鑲入式之地板燈等等。

各週授課情形之照片分列如下。

# 美和科技大學 100 學年度第一學期



課程：生態環境-綠色能源之永續發展論



日期：2011 年 09 年 19 日





# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境-綠色能源之永續發展論

日期：2011 年 09 年 26 日



# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境-綠色能源之永續發展論

日期：2011 年 10 年 03 日



# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境-綠色能源之永續發展論

日期：2011 年 10 年 17 日



# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境-綠色能源之永續發展論

日期：2011 年 10 月 24 日(實地參訪學習)



# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境-綠色能源之永續發展論

日期：2011 年 10 年 31 日



# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境-綠色能源之永續發展論

日期：2011 年 11 月 07 日(期中考)



# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境-綠色能源之永續發展論

日期：2011 年 11 月 14 日(節約能源與替代能源宣導影片)





# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境-綠色能源之永續發展論

日期：2011 年 11 年 21 日



# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境-綠色能源之永續發展論

日期：2011 年 11 月 28 日



# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境-綠色能源之永續發展論

日期：2011 年 12 年 05 日(再生能源影片欣賞)



# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境-綠色能源之永續發展論

日期：2011 年 12 年 12 日



# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境(自然與生命科學)

日期：2011 年 12 月 19 日



# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境(自然與生命科學)

日期：2011 年 12 月 26 日



# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境(自然與生命科學)

日期：2012 年 01 月 02 日



# 美和科技大學 100 學年度第一學期

課程：生態環境(自然與生命科學)

日期：2012 年 01 月 09 日(期末考)





## 五、課程經費運用情形

本計畫經費包括人事費(兼任行政助理一位，10000元)、印刷費(29250元)、編製教學教材及開設通識課程之費用(8500元)及文具、耗材及參訪雜支(2250元)等。兼任行政助理為協助本課程上課教具之準備、拍照、照片整理、參訪之安排及聯繫、教育影片之借調及資料之收集與整理等等。印刷費均使用於開學時教材之影印裝訂等，共65冊。編製教學教材及開設通識課程之費用使用於後續補充教材之收集及影印裝訂及報告之影印裝訂等，而文具、耗材及參訪雜支主要使用於文具及電腦耗材之使用等。

## 六、課程執行成果分析與檢討(須含選課學生系所、人數之分析、學生學習評量、學生評分標準、及學生課後反應情形等)(不限頁數)

### (一)修課學生人數及學生來源

本課程總共修課人數為60人，由於本課程為日間部通識課程，主要選課對象包括本校四技企管系二位、美容系一位、應用外文系四位、休閒運動保健系八位、社工系二十二位、食品營養系一位及餐旅管理系二十二位等。60位修課之學生名單如下：

開課序號：200026					
教師姓名：莊德豐					
科目名稱：生態環境--綠色能源之永續發展論					
班級	學號	姓名	班級	學號	姓名
四技企三甲	D49803121	李季樺	四技餐二乙	D49919216	許玉興
四技企三甲	D49803132	沙柔希	四技餐二乙	D49919223	林卉庭
四技美四甲	D49706156	王心齡	四技餐二乙	D49919225	楊佳燕
四技應三甲	D49808106	謝姿蓉	四技餐二丙	D49915106	林奕超
四技應三甲	D49808117	林千惠	四技餐二丙	D49919304	陳嘉雯
四技應三甲	D49808120	陳巧梅	四技餐二丙	D49919310	蔡曉雯
四技應四甲	D49708154	陳映蓁	四技餐二丙	D49919313	邱郁玲
四技休二乙	D49911202	洪筠雅	四技餐二丙	D49919321	林佳賢
四技休二乙	D49911205	吳柏霖	四技餐二丙	D49919322	黃星閣
四技休二乙	D49911224	郭怡禎	四技餐二丙	D49919325	李婉瑩
四技休二乙	D49911225	陳振晏	四技餐二丙	D49919329	林岑樺
四技休二乙	D49911239	蕭羽珊	四技餐二丙	D49919332	羅慧鈴
四技休三乙	D49811218	林子軒	四技餐二丙	D49919334	孔孟得
四技休三乙	D49811233	黃元聖	四技餐二丙	D49919335	林柏諺
四技休四甲	D49711137	莊建福	四技餐二丙	D49919339	陳玫瑰
四技社工二甲	D49901102	呂政?	四技餐二丙	D49919342	邱怡芬
四技社工二甲	D49902105	張智泓	四技餐二丙	D49923111	洪文華
四技社工二甲	D49913101	徐孝慈	四技餐二丁	D49919425	陳杰鴻
四技社工二甲	D49913109	張君豪	四技餐三乙	D49814122	林俊宏
四技社工二甲	D49913111	林佑謙	四技餐三乙	D49819236	李家豪

四技社工二甲	D49913116	宋佳怡			
四技社工二甲	D49913117	高凱芮			
四技社工二甲	D49913118	曾俊智			
四技社工二甲	D49913119	謝明澍			
四技社工二甲	D49913124	袁豐豫			
四技社工二甲	D49913136	胡棉淇			
四技社工二乙	D49913201	利靜宜			
四技社工二乙	D49913205	劉之琳			
四技社工二乙	D49913206	高婉茹			
四技社工二乙	D49913208	洪佩嘉			
四技社工二乙	D49913213	趙紫喬			
四技社工二乙	D49913226	羅芷瑩			
四技社工二乙	D49913229	楊堯欣			
四技社工二乙	D49913231	李雅蘋			
四技社工三甲	D49813144	曾信慈			
四技社工三甲	D49813155	陳宜伶			
四技社工三甲	D49819248	張志龍			
四技食品四甲	D49715153	周俊旭			
四技餐二甲	D49919119	林菁萍			
四技餐二乙	D49919210	鍾婉嫻			

## (二) 學生學習評量方式及評分基準

學生成績評量除了期中考及期末考各佔 30%外，平時成績則佔 40%。其中平時成績是以出席狀況及上課表現加以評分，原則上先設定基本分數(95分)，若每次均有出席上課，則每次之基本分數為 95 分，若第一次曠課則當次之基本分數扣 5 分(即 90 分)，若第二次曠課則當次之基本分數扣 10 分(即 85 分)；若曠課達三次者，除基本分數降為 90 分外，第一次曠課扣 5 分、第二次扣 10 分、第三次扣 15 分；如果曠課達四次以上，則基本分數更降為 70~75 分，每次曠課扣分方式則同前述；若學生當次有與老師討論者，由老師依討論內容及討論情形而決定當次基本分數是否加 5 分；最後平時分數則為每次基本分數總和除以總次數(即週數)，即為學期之平時分數。本課程學生上課之出席情況乃配合本校建立之全校網路點名系統，於每一節課透過 e 化教室網路系統直接逐一點名，並傳送至學務處。評分方式於授課第一週及第二週均已先告知學生。

## (三) 評量成績

本課程之期中考及期末考試卷如附件二，期中考採 close book 方式，期末考則採 open book 方式，期中考及期末考之考卷詳附錄二。

總共 60 位修課學生中，有 8 位學生並未參加期中考或期末考，且有幾位曠課多次，故本課程最終成績並未通過。整體而言，學期成績 90 分(含)以上者有 17 位，80 分

(含)至 90 分以下者有 19 位，70 分(含)至 80 分以下者有 13 位，60 分(含)至 70 分以下者有 2 位，60 分以下者有 9 位。本學期學生成績狀況匯整如下：

學年學期：100(1) 班別：二四技通識3-自然領域 課程名稱：生態環境(自然與生命科學) 課程類別：通識課程 選修別：必修 學時：2.0 學分：2.0 授課教師：莊德豐(00002060)						第 1 頁
★此張為「期中繳交」後的成績評分表						
序號	班級	學生	期中成績 (30%)	平時成績 (40%)	期末成績 (30%)	學期成績
1	四技企三甲	D49803121(李季祥)	90	*58	88	77
2	四技企三甲	D49803132(沙柔希)	90	*53	90	75
3	四技美四甲	D49706156(王心齡)	81	*53	*48	60
4	四技應三甲	D49808106(謝姿蓉)	*0	*53	*0	*21
5	四技應三甲	D49808117(林千惠)	94	95	90	93
6	四技應三甲	D49808120(陳巧梅)	74	85	81	80
7	四技應四甲	D49708154(陳映薰)	93	95	88	92
8	四技休二乙	D49911202(洪筠雅)	73	93	74	81
9	四技休二乙	D49911205(吳柏霖)	93	*53	68	70
10	四技休二乙	D49911224(郭怡禎)	87	93	88	90
11	四技休二乙	D49911225(陳振晏)	90	85	73	83
12	四技休二乙	D49911239(蕭羽珊)	*0	*53	*0	*21
13	四技休三乙	D49811218(林子軒)	96	94	80	90
14	四技休三乙	D49811233(黃元聖)	96	*58	74	74
15	四技休四甲	D49711137(莊建福)	*53	*58	61	*57
16	四技社工二甲	D49901102(呂政?)	73	94	86	85
17	四技社工二甲	D49902105(張智泓)	84	95	76	86
18	四技社工二甲	D49913101(徐孝慈)	66	*53	*0	*41
19	四技社工二甲	D49913109(張君豪)	78	94	73	83
20	四技社工二甲	D49913111(林佑謙)	89	85	88	87
21	四技社工二甲	D49913116(宋佳怡)	*0	*53	*0	*21
22	四技社工二甲	D49913117(高凱茵)	72	95	75	82
23	四技社工二甲	D49913118(曾俊智)	86	*58	78	72
24	四技社工二甲	D49913119(謝明澍)	81	*53	84	71
25	四技社工二甲	D49913124(袁豐豫)	94	*53	*0	*49
26	四技社工二甲	D49913136(胡棉淇)	*0	*53	*0	*21
27	四技社工二乙	D49913201(利靜宜)	97	95	100	97
28	四技社工二乙	D49913205(劉之琳)	90	95	91	92
29	四技社工二乙	D49913206(高婉茹)	84	95	73	85
30	四技社工二乙	D49913208(洪佩嘉)	88	95	94	93
31	四技社工二乙	D49913213(趙紫喬)	65	95	69	78
32	四技社工二乙	D49913226(羅芷瑩)	97	95	87	93
33	四技社工二乙	D49913229(楊堯欣)	100	95	90	95
34	四技社工二乙	D49913231(李雅蘋)	81	85	79	82
35	四技社工三甲	D49813144(曾信慈)	93	*58	77	74
36	四技社工三甲	D49813155(陳宜伶)	93	*58	77	74
37	四技社工三甲	D49819248(張志龍)	85	85	61	78
38	四技食品四甲	D49715153(周俊旭)	*0	*58	*46	*37
39	四技餐二甲	D49919119(林菁萍)	81	95	90	89
40	四技餐二乙	D49919210(鍾婉熾)	91	95	94	94
41	四技餐二乙	D49919216(許玉興)	96	93	87	92
42	四技餐二乙	D49919223(林卉庭)	77	*58	*58	64
43	四技餐二乙	D49919225(楊佳燕)	85	95	90	90
44	四技餐二丙	D49915106(林奕超)	69	94	67	78
45	四技餐二丙	D49919304(陳嘉雯)	83	93	94	90

列印時間：2012/1/10 下午 02:14:50

教師 \_\_\_\_\_ 簽章

學年學期：100(1) 班別：二四技通識3-自然領域 課程名稱：生態環境(自然與生命科學) 課程類別：通識課程 選修別：必修 學時：2.0 學分：2.0 授課教師：莊德豐(00002060)						第 2 頁
★此張為「期中繳交」後的成績評分表						
序號	班級	學生	期中成績 (30%)	平時成績 (40%)	期末成績 (30%)	學期成績
46	四技餐二丙	D49919310(蔡曉雯)	72	95	94	88
47	四技餐二丙	D49919313(邱郁玲)	86	94	84	89
48	四技餐二丙	D49919321(林佳賢)	88	95	88	91
49	四技餐二丙	D49919322(黃星闕)	87	95	67	84
50	四技餐二丙	D49919325(李婉瑩)	71	95	66	79
51	四技餐二丙	D49919329(林岑祥)	80	93	82	86
52	四技餐二丙	D49919332(羅慧鈴)	83	95	96	92
53	四技餐二丙	D49919334(孔孟得)	87	95	91	91
54	四技餐二丙	D49919335(林柏諺)	86	93	94	91
55	四技餐二丙	D49919339(陳玫瑰)	73	95	*57	77
56	四技餐二丙	D49919342(邱怡芬)	86	95	83	89
57	四技餐二丙	D49923111(洪文華)	68	95	94	87
58	四技餐二丁	D49919425(陳杰鴻)	67	95	72	80
59	四技餐三乙	D49814122(林俊宏)	*0	93	*57	*54
60	四技餐三乙	D49819236(李家豪)	84	94	75	85
列印時間：2012/1/10 下午 02:14:50			教師		簽章	

#### (四) 學生課後反應情形

本課程於期末考前一週以發放問卷方式請學生針對本學期課程進行調查，共有 48 位學生填寫問卷，問卷內容係以 5 分法調查學生對整體教材內容之滿意度，結果有約 16.7%受訪者對教材內容非常滿意，62.5%受訪者對教材內容滿意，13.4%受訪者對教材內容覺得普通，仍有 7.4%受訪者對教材內容覺得不滿意及非常不滿意，可見目前收集之教材尚有改進之空間。受訪者中，多數學生對本課程教材內容都可以接受，僅有少數幾位同學認為微生物燃料電池的內容較複雜難懂，主要是本課程後續補充資料較多偏理論，致使一些沒有微生物背景或微生物基礎知識較欠缺之學生在聆聽原理說明時較為吃力之故，未來或許可採較易懂的方式或圖表來說明微生物燃料電池之微生物電子傳遞鍊及產電原理等應該會有改進。

#### 七、結論與建議

由於本課程目的在讓學生瞭解目前生態及環保相關問題，讓學生瞭解能源與環境污染之相關性，教導學子節約能源與替代能源之原理及技術，不僅讓學子充分獲得綠色能源之新知，能時也可藉此宣導與傳授節約能源之重要性，由基層教育推動，希望能逐步擴展至社區及家庭，激發學生對保護台灣環境與能源資源的決心。由於本次授課為在本校通識課程辦理能源教育的第一次，具有相當之意義及重要性，雖然教材內容尚有改善之空間，至少也能提供本校非能源及環保科系之學生有此機會接觸此種科技新知，深信也能建立其有關節約能源之基本概念，瞭解綠色與替代能源之原理與應用性，及未來推廣於社區及家庭之可能性等。

## 八、附錄

(1) 課程部分內容(由於內容甚多，僅提供部分教材內容)

# 第一章 國際能源與環境問題

## 國際能源發展

資料來源：陳維新，能源概論，第五版，高立圖書公司，2011年。

### 一、歷史能源事件

自第二次世界大戰(World War II)以來，全球消耗石油以取得能源及不斷攀升，例如於1950年石油佔總能源消耗之三分之一，如今則佔一半，因此石油的重要性可見一般。事實上，近三十年來歷史上重要的能源事件幾乎皆導因於石油的供需問題，而其效應即造成油價大幅波動。其中值得一提的是，「石油輸出國家組織(Organization of Petroleum Exporting Countries, OPEC)」成立於1960年，該組織對國際原油價格具重要的影響力。石油輸出國家組織於1960年9月14日在伊拉克首都巴格達成立，成立時有沙地阿拉伯、委內瑞拉、科威特、伊拉克及伊朗等五國，其成立宗旨是維護產油國利益，並維持原油價格及產量水準。其後，陸續加入的會員國包括阿爾及利亞、安哥拉、厄瓜多爾、利比亞、奈及利亞、卡達及阿拉伯聯合大公國等七國，目前由十二個國家組成。圖1-3A. 所示為1970到2005年油價的變化情形及所發生的重要國際事件。

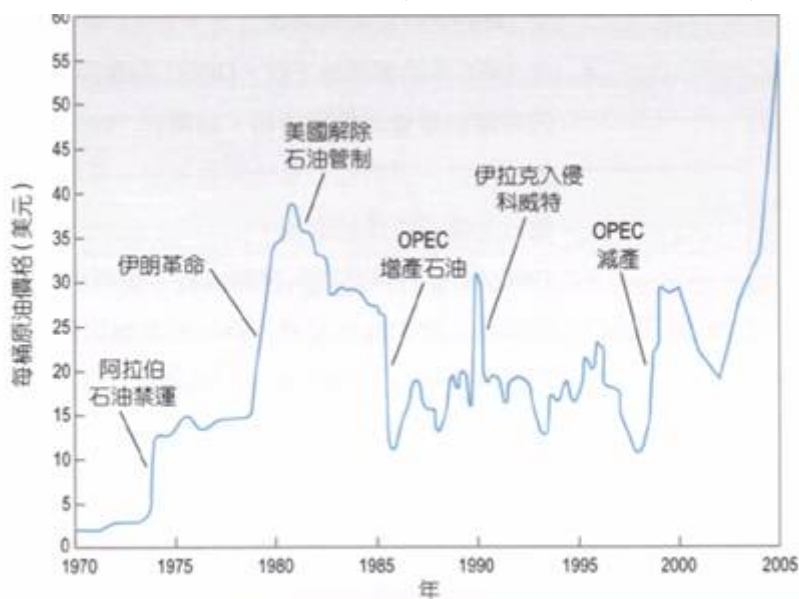


圖 1-3.A 世界油價及國際重要事件。(資料來源：Hinrichs and Kleinbach, 2006)

整體而言，此35年間曾發生之事件順序如下：

1. 1973年10月爆發以阿戰爭(Arab-Israeli war)，OPEC之阿拉伯會員國乃強制禁運石油到西歐國家及美國，並削減石油生產量，因而造成國際原油價格暴漲三倍，由原來的每桶8美元變成25美元(以1985年美元為單位)。本次事件即稱為第一次「能源危機(energy crisis)」。
2. 伊朗革命(Iranian revolution)發生於1978到1979年間，因而中斷其每日約6百萬桶原油的產量。雖然其他國家提高產量以吸收減少供應之原油量，但仍然造成原油市場每日2百萬桶的缺額，結果油價由每桶22美元暴增至44美元，本次事件則稱為「第二

次能源危機」。

3. 為因應世界高油價現象，美國總統雷根乃於 1981 年解除油價管制(oil price decontrol)，因而美國國內石油產量及鑽油大增，進而造成世界對 OPEC 石油的依賴量由 1980 年的每日 2 千 8 百萬桶油降低到 1 千 7 百萬桶。在此期間，世界石油的消耗總量減少 14%。
4. 自 1981 年油價開始下跌，OPEC 為奪回其對原油市場的分配權，因而增加產量並降低價格，結果於 1986 年油價幾乎降成 1981 年的三分之一。例如沙烏地阿拉伯於一年內即增加三倍產量而達到每日生產 6 百萬桶原油。
5. 1990 年 8 月伊拉克入侵科威特，使得世界油價驟升並達到 8 年內新高。而當其他國家，例如沙烏地阿拉伯取代科威特產量時，油價逐又降低。1991 年 1 月科威特又造成另一波油價的驟降。
6. 之後，全球及區域經濟環境對於油價的波動也有一強烈影響。例如於 1998 年，亞洲金融風暴、全球石油庫存的增加及兩年的暖冬，促使國際原油價格降至 20 年內的最低點。然而，在其後的一年內由於國際市場的強烈需求及 OPEC 的減產，造成油價上升 3 倍。1990 年代末期，由於美國經濟衰退(recession)，加上 2001 年發生 911 事件加劇人們對於經濟衰退恐懼，造成油價下降近一半。之後，因為產油的減少、隨後美國對伊拉克的軍事行動及委內瑞拉的政治動盪，致使油價上升。2004 及 2005 年持續對石油的強烈需求、石油庫存的吃緊及石油蘊藏的不確定性，因而對於 2005 年中葉將油價推至途中的歷史新高。

目前為止，全世界對石油需求的增加使得未來能源危機可能日益明顯且油價難以預測。近年及於未來數年，大部分石油需求的成長將可能來自於開發中國家，尤其是中國大陸及印度，同時，石油供應的成長則來自於沙烏地阿拉伯、科威特及阿拉伯聯合大公國。事實上，除了新興國家對石油強烈需求等，近年來政治因素(如伊朗發展核電)、氣候變化(如 2005 年卡崔娜颶風)、國際恐怖活動、人為油價炒作及全球經濟狀況等皆會導致世界石油價格十分敏感且強烈波動。2008 年 1 月 3 日油價達每桶 100 美元，此一指標性數字曾代表高油價的時代正式來臨，而於 2008 年 7 月甚至曾高達 145.5 美元。但隨後由於美國次級房貸事件造成金融風暴，使得全球經濟遭受極大衝擊，進而致使油價急速下降。圖 1-3.B 所示即為 2005 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 4 日止國際原油價格變化圖。

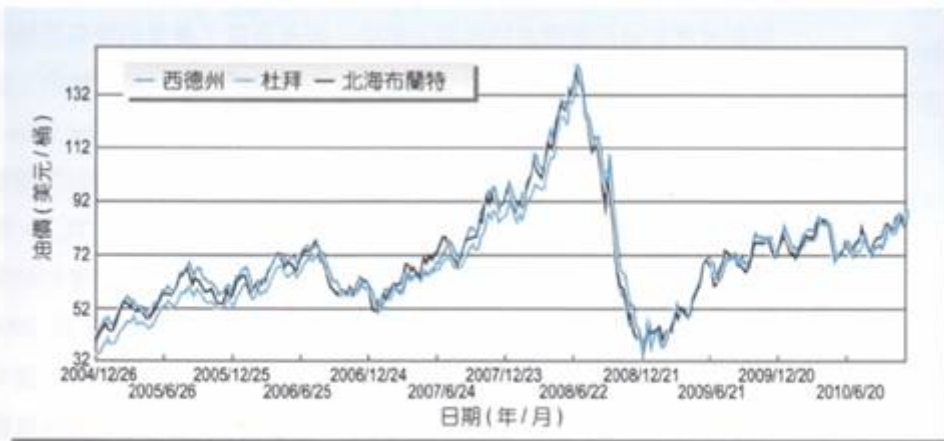


圖 1-3.B 近期國際原油價格變化圖 (2005 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 4 日)。(資料來源：能源局，2011)

## 二、能源與環境

能源的運動事實上猶如刀之兩刃，雖然其對社會的進步與科技的演進有莫大的貢獻，但過去以來能源的開發卻也對環境造成極大的傷害、破壞及污染等。整體而言，能源使用對環境造成重大的影響有空氣污染(含硫氧化物、氮氧化物及粒狀污染物等)、酸雨(acid rain)、溫室氣體(greenhouse gases)排放所造成全球暖化(global warming)現象、臭

氧層破壞(ozone depletion)及核廢料(nuclear waste)處置等。

一般而言，能源使用越頻繁的地方，環境品質也越糟，以台灣為例，「空氣汙染指標(pollutant standard index, PSI)」以高雄縣、市及屏東地區最高，這些區域正是台灣重工業如石化及鋼鐵業集中地，能源使用最多的地區。而宜蘭、花蓮及台東等能源使用較少的地方，環境汙染程度自然比較輕。又以煤炭為例，過去利用粉煤(pulverized coal, PC)燃燒之火力電廠，雖然產生許多電能以供人們使用，但燃燒過程卻也排放了甚多的硫氧化物(SOX)、氮氧化物(NOX)及煤灰等對環境具負面影響的物質到大氣中，因而造成了嚴重的空氣汙染問題，例如酸雨。另外，燃燒化石燃料以取得熱能同時，所排放的二氧化碳則造成了另一嚴重的環境問題，即溫室效應(greenhouse effect)現象。圖 1-4.A 所示為 1979 年到 2010 年在大氣中所測得的四種聯合國界定之人為造成的溫室氣體二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)及氟氯碳化物(CFCS)的濃度。在 2010 年測量的結果顯示，大氣中 CO<sub>2</sub> 的濃度已提升到 389ppm 左右，1979 年 2009 年之間二氧化碳濃度的增加幅度約為每年 1.66ppm。另外，圖中 CO<sub>2</sub> 振盪曲線(振盪幅度約 6ppm)源自於晚春及初夏大量植被植物對二氧化碳吸收所致。除了 CO<sub>2</sub> 外，N<sub>2</sub>O 的濃度亦呈直線上升趨勢。全球暖化已取代過去酸雨及臭氧層破壞等問題，成為現今最受矚目的國際議題。

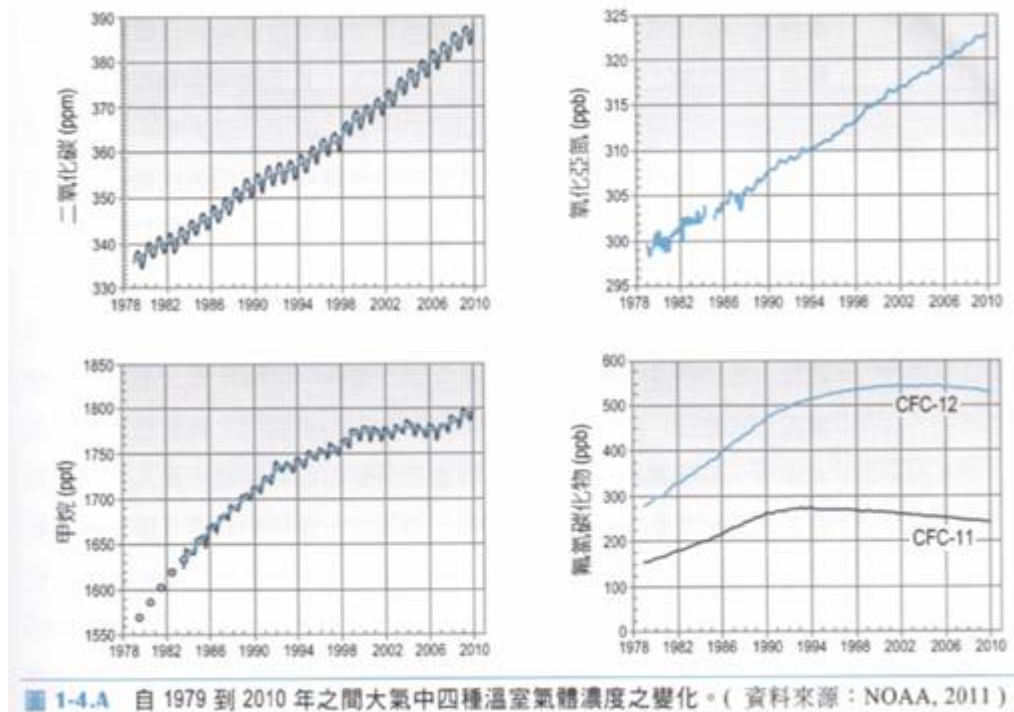


圖 1-4.A 自 1979 到 2010 年之間大氣中四種溫室氣體濃度之變化。(資料來源：NOAA, 2011)

雖然國際社會於 1997 年 12 月於日本京都簽訂「京都議定書(Kyoto protocol)」，明確規範工業國家溫室氣體的減量目標，但直到 2005 年 2 月 16 日方正式生效，共有 128 個公約締約國批准。遺憾的是，雖然京都議定書已正式生效，但美國(能源消耗最大國)基於自身利益緣故，迄今仍未簽署該條約。因此，國際間溫室氣體排放減量的目標仍有待持續努力。

關於核能發現，雖然該技術可免除溫室氣體排放的問題，但其所衍生之放射生物質對環境所造成的衝擊，如今卻成為後代子孫重大的夢魘，其中最著名的例子為美國「三哩島事件(Three Mile Island accident)」及前蘇聯「車諾比爾事件(Chernobyl accident)」。三哩島事件發生於 1979 年 3 月 28 日，美國賓州哈里斯堡附近三哩島核電廠第二號機，由於一連串的機械與人為失誤，使得反應爐爐水降低，冷卻系統失敗，進而使反應爐心燃料熔毀將近一半。主要的機械故障為釋壓閥卡死在開的位置上，而使反應爐冷卻水大量流失，加上運轉員誤判冷卻水流失事故的信號。雖然緊急爐心冷卻系統自動開啟，運轉員卻降低爐心冷卻的水流達數小時之久，直至發現真實情況作爐心補水時，反應爐已

損壞至不可修補的地步。雖然三哩島事件並未造成任何的死亡案例，且反應爐安全系統有所運作，但仍造成數千人的緊急疏散，當時核子專家也不能確定該事件是否造成了輻射物質大量外洩。至於車諾比爾電廠，事件發生於1986年4月26日凌晨一點多，起因於第四號機發生染料棒破裂而導致爐心熔毀，熔融之染料碎片與沸騰之水因快速之化學反應而產生蒸氣爆炸，熱碎片及火焰由反應爐廠房頂部竄出，造成廠房附近多處失火；反應爐內之輻射物質外洩至大氣中，隨風飄散。當時，蘇聯當局共緊急疏散超過十萬人，而輻射雲曾擴散至北歐而造成食物污染，連遠在千里外的北國芬蘭亦受輻射波及。事故發生後，離核電站30公里以內的地區歸為隔離區，直至今日仍嚴格限制進入，被人為稱為「死亡區(death zone)」，據估計，完全消除這場浩劫的影響最少需要800年。此事故發生後數個月內造成三十餘人死亡，可謂核能發電史上最嚴重而慘痛之事故。

以上皆說明非再生能源開發與環境保護本質上是相互抵觸的，但現今社會卻又不可回歸至從前社會而不運用能源。因而如何持續能源開發、維持社會進步、同時能對地球環境及資料進行永續發展(sustainable development)已成為現今人類急待克服的難題。因此，目前社會正大力提倡「3E」支平衡發展，3E即經濟(economy)、能源(energy)與環境(environment)；三者之平衡發展如圖1-4.B所示。

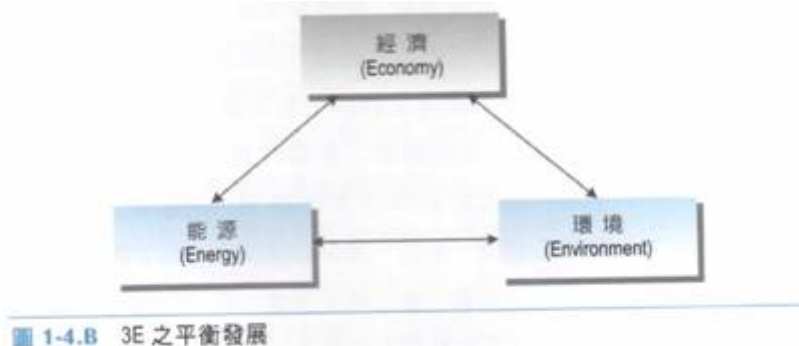


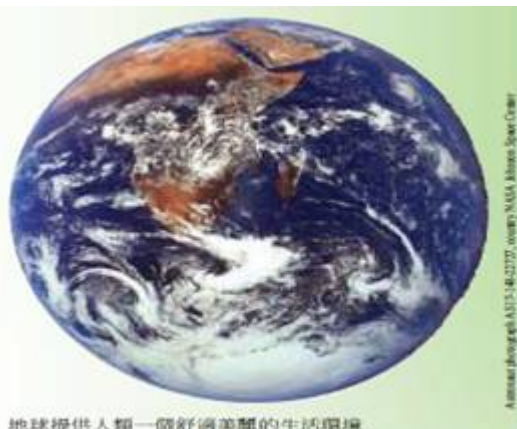
圖 1-4.B 3E 之平衡發展

### 都是溫室效應惹的禍

資料來源：鍾崇堯及向曼菁，科學發展，第388期，p.66-71，2005年4月。

春天的花兒秋天開？

你很難想像只有在春天才盛開的櫻花，居然才入秋就開花了！這是什麼樣的怪異現象！別懷疑，民國91年10月份的聯合報就刊載了這則消息。才入秋，台灣中北部的山櫻已經紛紛綻放，甚至有的早在8月就盛開。這種花序的錯亂，學者普遍認為是由於溫室效應，造成全球暖化所導致的結果。



地球提供人類一個舒適美麗的生活環境。

#### 一、話說「溫室效應」

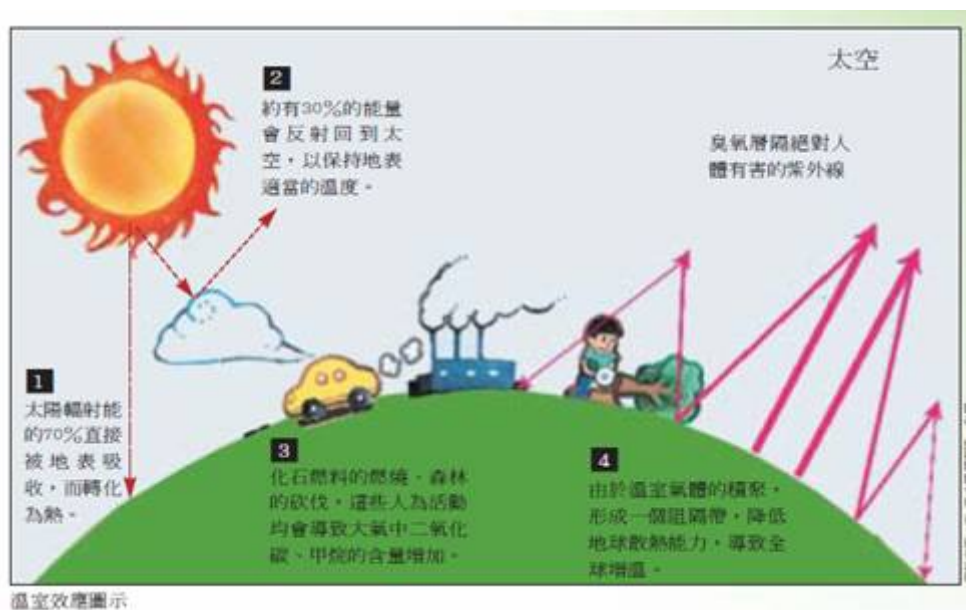
你一定聽過溫室效應，但你對它的了解有多少呢？你知道它會對你的生活帶來多大



的影響呢？讓我們先談談溫室效應的由來。

地球的能量主要來自太陽，而太陽的能量是用短波輻射的方式穿越大氣層。如果扣掉反射回太空的輻射能，在輻射平衡的情況下，地球的溫度應該很低。但是，這些輻射線有一部分會被大氣中對流層的氣體吸收，使得能量再進入地球表面，所以造成地表的平均溫度比輻射平衡時高。這種自然界反射和吸收太陽輻射的作用，我們就稱它為大氣的溫室效應（atmospheric greenhouse effect）。

其實，大氣的溫室效應對於生活在地球上的我們是有利的，假如沒有溫室效應的話，地表的平均溫度會很低，地球便成為一個寂冷的世界。就是因為有溫室效應的作用，使得地表的平均溫度得以增加，許多生物得以存活，人類才有一個舒適美麗的生活環境。



## 二、現今的「溫室效應」

現在的冬天幾乎都是所謂的暖冬，溫度都不會太低，夏天的溫度更是一年比一年高，迫使我們大量使用冷氣機，因此用電量屢創新高。這麼炎熱的天氣，真是讓人受不了，你知道造成這種現象的罪魁禍首是誰嗎？待我慢慢說給你聽！

生物呼吸吐出二氧化碳，而二氧化碳卻是植物行光合作用的主要原料之一，因此在自然界中會達到平衡。如果破壞了這種平衡狀態，二氧化碳過多便會造成地表溫度上升，就是我們現在感受到的炎熱氣候。

在18世紀中葉開始的工業革命，改變人類舊有的農業生活，也因此帶動了經濟的發展，提升了人類的生活水準。不過在這開發的背後，人類所要付出的代價是慘痛的。因為我們過度開發地球上的天然可用資源，大量燃燒化石燃料，再加上要取得更多耕地而大規模砍伐森林，也正因為人類的這些活動使得大氣中的二氧化碳含量不斷增加，加強溫室效應，導致全球溫度上升。

在工業革命前，大氣中的二氧化碳含量大約是280 ppm。距離工業革命的100年後，二氧化碳的含量已經增加到350 ppm，增加量超過30%。如果不加以控制而任由二氧化碳繼續增加，預計在2030年時，二氧化碳的含量會超過550 ppm，濃度會變成工業革命開始時的兩倍多。當二氧化碳的濃度增加一倍，地球表面的溫度就會上升3~5度。溫室效應的影響是長久，而且全球性的，即使從現在開始停止排放所有的人造溫室氣體，從工業革命以後所累積的溫室氣體仍會繼續影響地表的溫度。



汽、機車等的排放廢氣，使得溫室效應更為嚴重。

### 三、溫室氣體

我們最常聽到的溫室氣體有四種，也就是二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、氧化亞氮（N<sub>2</sub>O）、甲烷（CH<sub>4</sub>）和氟氯碳化物（CFCs）。它們都具有一個特性，就是在大氣中的生命期相當長。因此當這些氣體進入大氣以後，只能藉由自然的過程使它們逐漸消失，這也是為何溫室效應會持續不斷的原因之一。以下針對各種溫室氣體做個介紹。

**二氧化碳** 人類因為大量使用煤、石油及天然氣等化石燃料，造成全球二氧化碳的濃度上升。雖然每莫耳二氧化碳的溫室效應並不是最大的，但是二氧化碳含量遠大於其他的溫室氣體，所以它對溫室效應的影響是最大的。有數據指出二氧化碳對全球溫升的貢獻占全部溫室效應氣體的 55%。

**氧化亞氮** 微生物、化學肥料分解和化石燃料的燃燒，都會排放出氧化亞氮。

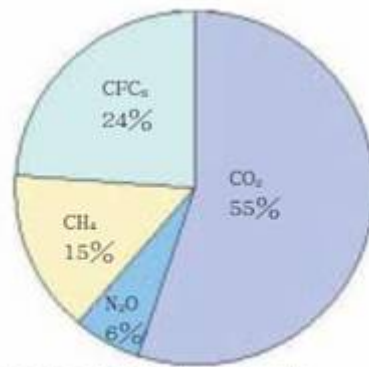
**甲烷** 發酵和腐化的過程或者物質的不完全燃燒，都會產生甲烷。它的主要排放來源有牲畜、水稻田、掩埋和汽、機車等。

**氟氯碳化物** 氟氯碳化物是引起地球暖化的第二重要氣體。當我們大量使用冷媒、噴霧和發泡產品時，其中就含有氟氯碳化物，當中又以 CFC-11、CFC-12、CFC-13 的使用量最多。

決定溫室氣體對地球暖化影響的因素有二種：第一種是對輻射的吸收能力；第二種是它們存在大氣層中的時間年限。所以，科學家發展出一套溫室氣體的溫室因數（green house factor），用來區別不同溫室氣體的溫室效應能力。溫室因數的量測方式是 1 莫耳的氣體，在一定期限內，所能吸收的總能量值，並且把二氧化碳的溫室因數值訂為 1.0，再分別決定其他溫室氣體的相對數值。

我們最常聽到的溫室氣體有四種，也就是二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、氧化亞氮（N<sub>2</sub>O）、甲烷（CH<sub>4</sub>）和氟氯碳化物（CFCs）。它們都具有一個特性，就是在大氣中的生命期相當長。只能藉由自然的過程使它們逐漸消失，這也是為何溫室效應會持續不斷的原因之一。

氣體種類	二氧化碳	甲烷	氧化亞氮
工業革命前的濃度 (ppm)	280	0.70	0.28
1994年時的濃度 (ppm)	358	1.7	0.31
濃度變化的速率 (ppm/年)	1.5	0.010	0.0008
在大氣中的壽命 (單位：年)	50~200	12	120



四種溫室氣體對地球暖化的貢獻

#### 四、溫室效應的影響

地球是一個大而且複雜的系統，往往是牽一髮而動全身，人類造成的溫室效應不僅對自身造成極大的負面影響，也連帶影響了海洋和生態系的運作。這些影響如以下介紹。

氣體種類	每莫耳的相對溫室效應效能 (溫室因數)	大氣中的濃度 (ppm)	相對效能和濃度的乘積
二氧化碳	1	350	350
甲烷	30	1.7	51
氧化亞氮	160	0.31	49.6
CFC-11	21000	0.00026	5.46
CFC-12	25000	0.00024	6

地球表面溫度的上升 這是我們聽到溫室效應的第一個直覺反應。沒錯！從前面的介紹中，你應該多少有所了解，溫室效應對地球溫度有著直接的影響。如果不管制溫室氣體的排放量，預估到 2050 年時，地球的平均溫度大約會上升攝氏 2 度，到時候會牽連到下面所敘述的各種變化。

全球暖化造成氣候轉變 因為地球暖化，會造成北半球冬季縮短，而且更濕更冷，但是夏季變長，而且更乾更熱。現在夏天的溫度已經過高，讓人如此難耐，想像溫度還會持續升高，你能忍受嗎？而且因為氣溫的上升，增加水汽的蒸發速率，影響降雨的型態，結果使得有些地區轉為乾旱，造成沙漠化的擴大。但是相反地，有些地區雨量大增，植物的分布也會大大地受到影響。



海平面的上升 隨著全球溫度的升高，冰川和格陵蘭以及南極洲上的冰山融化，會使海洋水量增加，預估在 2100 年海平面大約會升高 15~95 公分左右，海水也會淹沒低窪地區。全球三分之一居住在海岸邊緣居民的生存，也會面臨威脅。

影響農作物的生產 溫度的上升改變了農作物的分布和生長的狀況。此外，高緯度地區的植物種類也會產生急遽的變化，例如溫度上升攝氏3度，寒帶森林會減少37%。

造成動物大遷移 不同的生態系，因為氣溫分布及地域的改變，會使得大量物種隨溫度的變化而產生遷移的動作，不適應者則面臨滅絕的危機。

危害人體的健康 氣候變遷及動物遷移造成一些傳染性疾病大規模的蔓延，危害人類的健康。

## 五、保護美麗的地球

看到以上的說明，你是否有所警覺，如果再不實施溫室氣體的減量策略，以後會牽連到我們子子孫孫的生活。因此，在國際方面，已經有許多公約的訂定，希望藉著世界各國的力量，保護我們賴以生存的這個地球。

聯合國環境規劃署（UNEP）和世界氣象組織（WMO）在1988年成立「針對氣候變化的跨政府專家委員會」（Intergovernmental Panel On Climate Change, IPCC），就全球氣候變化的趨勢，進行政府間的監測和科學研究。

依IPCC的研究成果，聯合國在1992年5月9日通過「氣候變化綱要公約」（The Framework Convention On Climate Change, FCCC）。同年6月在巴西里約熱內盧的「地球高峰會議」上，有155個國家簽署這一項公約，並在1994年3月21日開始生效，成為正式的國際法。

公約的目標在「把大氣中溫室氣體的濃度，限定在防止氣候系統受到危險的人為干擾水準」，具體訂定管制溫室氣體排放的數量與時程，並建立國際間財物支援與技術轉移的權利與義務。公約宣示在2000年把二氧化碳及其他溫室氣體排放量抑制在1990年的水準，到2005年，再削減為1990年排放量的20%。

1996年7月，FCCC的締約國在瑞士日內瓦舉行第二屆會議，決議在1997年12月，在日本京都舉行會議，訂定具有法律效力的「溫室氣體減量議定書」，並以2005年、2010年和2020年為減量目標年。美國和其他37個工業國家在日本京都達成協議，同意在2012年，把溫室氣體排放減少到比1990年的標準低5%。

除了需要各國政府的共識和訂定條約約束溫室氣體的排放量之外，最重要的是每個人都要具備環保的概念，重視地球是屬於大家共有的大環境。以下是幾個預防溫室效應繼續蔓延的策略。

儘量搭乘大眾交通工具 由於汽機車的排放氣體中含有大量的氮氧化物與二氧化碳，如果能搭乘大眾運輸工具，會有助於減少廢氣的排放量，以抑制二氧化碳和氮氧化物等溫室氣體的產生。

不要使用含氟氯碳化物的物品 就CFC-12來說，它在大氣中的生命期長達102年，因此只有避免使用含有氟氯碳化物的物品，才可以達到預防溫室效應繼續蔓延的目的。

鼓勵大眾使用天然氣 以改善區域空氣品質。

增加能源使用效率除了本身要節約用電及其他可用能源外，最重要的是政府能夠加強電力負載管理，減少尖峰用電需求，並加強推動全國性的節約能源計畫。

鼓勵使用太陽能 太陽能是一種無污染而且豐沛的能源，如果大眾儘量使用太陽能，可以有助於減少化石燃料的使用量，對於降低溫室效應有直接的效果。

運用並發展其他的替代能源 可以利用水力、風力、生質能、海洋能及地熱等再生能源，來逐漸取代化石燃料的使用。利用這種可以重複循環的再生能源，對於減少二氧化碳排放量會有很大的效果。

溫室效應和你我都有切身的關係，不只是政府擬定方案而已，更需要的是民眾自己親身實踐才行。不要讓現在我們生活所形成的污染，影響到日後的子孫，甚至使地球面臨無可挽救的危機。



設置於總統府力行樓樓頂的太陽光電發電系統



生質能的使用——台北市山豬窟掩埋場沼氣發電系統（5,448瓩）

## 第二章 綠色能源發展概述

### 「綠色」能源

目前全球主要仰賴石化能源，但是根據世界能源會(WEC)的估計，世界的石油將於40-50年內用盡，天然氣60-70年、煤礦200-300年內也將開採耗盡，核能所需的鈾礦則將於60-70年內用盡。因此在後石油時代，全球經濟發展勢必面臨高油價之威脅，96年10月起國際原油價格已突破每桶80美元，許多專家更預測未來油價有可能飆漲到每桶120美元。

石化燃料產生的二氧化碳使地球暖化問題日趨嚴重，為了抑制全球溫室氣體排放量而制定的京都議定書已於2005年2月正式生效，截至2005年底，全球已有包括歐盟、

日本等 157 個國家和區域經濟體正式批准此一國際環保公約；預計 2008 至 2012 年期間，締約國家之二氧化碳等溫室氣體排放量平均而言要比 1990 年水準削減 5.2%，因此未來傳統高污染的石化燃料應用方式將受到限制。2006 年初，美國政府宣示要在 2025 年前發展先進替代能源，以取代 75% 自中東進口的石油，將致力於燃料電池、生質燃料等再生能源技術研發。

## 一、新能源產業發展趨勢

所謂的新能源產業主要包括屬於潔淨綠色能源的「再生能源」、「氫能」及「燃料電池」。「再生能源」是指符合環境永續發展，可以生生不息、循環再利用之能源，包括太陽能、風能、生質能（生質酒精、生質柴油、生質熱能、生質能發電）、地熱、水力、海洋潮汐、波浪能等，是幾乎零污染之綠色能源。此外，氫能亦為一種乾淨能源，且具有可儲存特性，先進國家基於能源安全與環境永續發展而積極投入研發，將其視為解決傳統石化燃料困境之長期方案，而未來世界氫能之應用，主要將透過燃料電池來實現。由於氫燃料取得容易，而且具有可儲存的特性，所以太陽能、風力、生質能等再生能源都可以轉化為氫能而加以儲存，再供應給燃料電池系統使用。先進國家正嘗試開發結合氫能與再生能源以供給環保社區使用之能源系統。

### ◆再生能源

根據專家的估計，2004 年再生能源總產出電力約 550×10<sup>12</sup> 瓦特小時，占全球電力供應比率約 3%，估計每年可減少約 3.3 億噸的二氧化碳。而國際能源組織 IEA 預測全球再生能源電力供應比率將逐年增加，預計 2030 年可達 20%。2004 年全球於再生能源之資本支出以風力發電及太陽光電所占投資比重 32%、23% 最大，其投資額分別較上一年增加 16.4%、32.6%。近年歐、美、日等國在生質能、太陽光電、風力發電等領域之研發推廣經費比重多呈上升現象，而在海洋、地熱發電等方面之研發比重則有下降現象。因此，近期內各項再生能源市場中，將以風力發電、太陽光電、及生質燃料之市場成長性最被看好，預期未來 10 年內均將維持二位數之年增率。其中太陽光電市場 2005 年雖然有矽材吃緊的陰霾籠罩，但在德國及亞洲國家廠商加碼投資下，成長力道仍非常強勁，全球太陽電池產量較前一年增加四成以上達 1,727 百萬瓦特。在風力發電市場方面，估計 2005 年世界新增裝機容量 59,084 百萬瓦特，較前一年增加 24%，新裝機之設備市值 140 億美元以上，主要市場包括：美、德、西、印度、葡、中國大陸等。

### ◆氫燃料電池

氫燃料電池，是利用氫和氧進行化學反應來產生電力，應用範圍涵蓋分散式發電系統、UPS、運輸工具、機器人、工具機械、可攜式電子設備等，為未來 10 年內市場成長最為快速之明星產業，但目前產品多為研究或實證、展示用途，尚未大量商品化；不過，歐美日國家均積極發展燃料電池車輛，並開始建置加氫站等氫能供應體系，國際各大汽車廠估計於 2015 年時，燃料電池汽車將可順利商業化量產，屆時將進一步加速燃料電池產業起飛。先進國家多預期 2030 年後，氫能經濟將正式普及，促使人類逐漸擺脫對石油的倚賴。

### ◆生質燃料

2005 年全球生質燃料市場規模約 157 億美元，較前一年增加 15% 以上；預計 2015 年市場將擴大為 525 億美元，2005 至 2015 年之年增率 12.8%。運輸工具用生質燃料目前產量九成以上為生質酒精(乙醇)，主要產國為巴西，2004 年其全球市占率高達 48.4%，巴西 44% 的運輸燃料為乙醇；其次為美國，在美國銷售的汽油已有三成以上是

與乙醇混合的。根據預測至 2020 年，全球乙醇產量可達 1,200 億公升，約占當時車輛汽油使用量 6%。

另外，生質柴油占生質燃料產量不及一成，最大產地為德國，年產能約 20 億公升，但由於許多歐盟國家提供燃料稅減免措施，使其近年市場大幅成長，其他主要產地還有法、義、英國等；根據預測至 2020 年，全球生質柴油產量可達 230 億公升。未來在面臨車用汽油持續高漲，以及各國政府的運輸用替代燃料政策鼓勵下，可預見全球生質燃料產業將會突飛猛進。

## 二、綠色能源種類及應用

### 1. 太陽能

地球上的生物自其起源以至演化到今天的地步，可以說全是太陽能推動的，人類今天所消費的能源與其他天然資源，也都是數百萬年來，藉著太陽能的供應，經由大自然的程序，儲積下來的寶藏。1973 年能源危機以後，太陽能的重要性才逐漸受到重視，太陽能是取之不盡，使用過程也不致造成環境污染。太陽所傳到地球的總能量(到達上大氣層之總量)每年達  $1.55 \times 10^{15}$  百萬度(megawatt-hour)，其中約 35% 被反射回太空去，18% 被大氣層所吸收，47% 到達地面。單就到達地面的那一部分來講，就等於目前全世界商業上年用能量的 13000 倍。

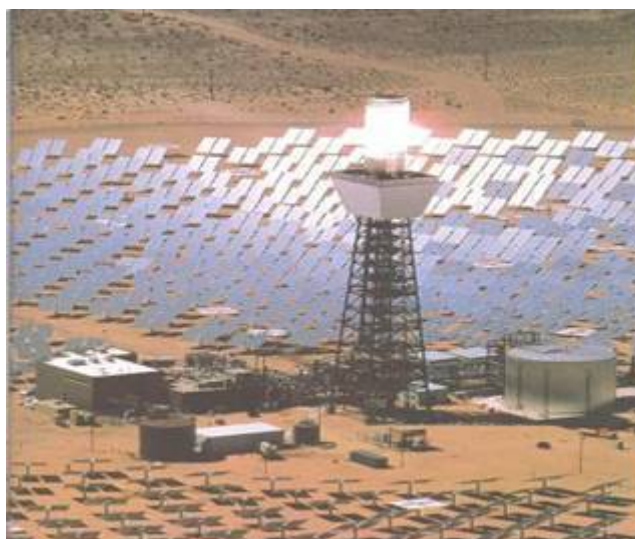


圖 1 太陽能發電廠

太陽能的缺點：

- (1) 能量密度低，它是稀薄的能源，需要廣闊面積才能收集到足夠的能量。
- (2) 太陽能是間歇性的能源，隨日夜、季節、氣候而變化。因此太陽能必須加以儲存，以供夜晚或多雲日子使用，所以需要其他輔助設備配合使用。

太陽能的利用有四種不同類型：

- (1) 光電法(photovoltaic 或 photoelectric method)，是把太陽光直接變成電能的方法。目前發展程度預測可達理想效率是 25%，但實際可達效率一般都認為會在 18~20% 之間。如太陽能電池就是將日光能直接變成電能的裝置，也是運用陽光直接電氣化途徑。

如圖 5-1.E 所示，過去的研究中發現，當太陽光(其頻率需大於某一臨界值)照射某些

金屬或負極板時，電子將會釋出並移向正極，電子所擁有的動能反比於光的波長，此即所謂的光電效應(photoelectric effect)。太陽電池將光能變換為電能之轉換率高低決定於太陽電池之性能，目前最高的轉換效率可達 30%，但一般介於 10% 到 15% 之間。

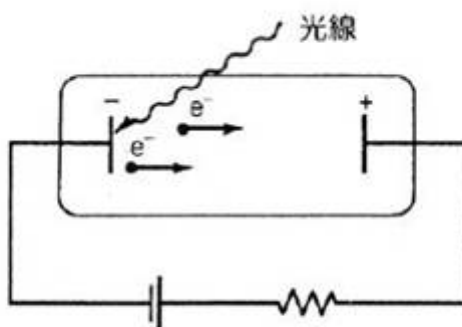
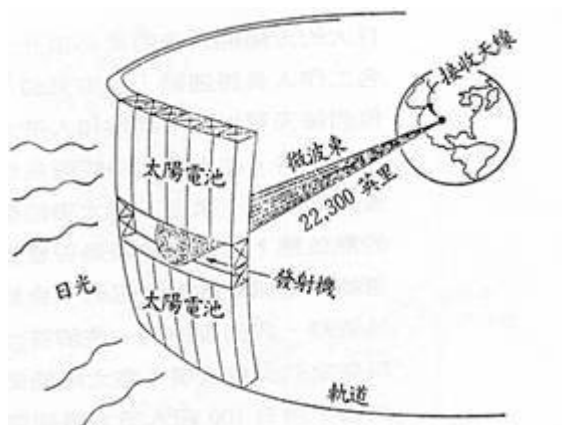


圖 5-1.E 光電效應說明圖。(資料來源：Hinrichs and Kleinbach, 2002)

- (2)光化法(photochemical method)，利用陽光觸發化學作用以生產糧食、有用物質或燃料的方法，植物之光合作用就是其中之一。
- (3)借用太陽能所造成的自然現象的利用，如海洋能與風能是最明顯的例子。
- (4)太陽熱能之應用，把太陽能收集為熱能做各種不同之應用，如建築物之保溫、工業上之加工、農業上之曬乾、推動發動機產生電能。



【人造太陽能衛星示意圖】

(資料來源：陳國成編『二十一世紀的關鍵科技』)

日本大阪大學最近甚至還發展出在外太空利用衛星接收太陽能，一個人造衛星大約可以發電 100 萬千瓦，相當於核能電廠一台發電機的電量。這樣既不用看老天爺臉色，絕對沒有雲層阻擋的問題，更不會佔據土地資源，日本科學家看好，這將是未來最理想的發電方式。

太陽能發電的方法：

- (1)利用光電池，直接將日光轉換為電流。



- (2)利用集熱板將水加熱，產生蒸汽以推動汽輪機及發電機。
- (3)利用日光將水分氫與氧兩種氣體，再用氫作為發電的燃料。

## 2. 風能

人類利用風能的歷史很早，在公元前即已發明利用風力轉動風車的裝置。工業革命後，因石油、煤等大量開採及電力的普及而逐漸沒落。近一、二十年來，能源危機逐漸嚴重，所以風力能又再度受到重視。因為科技進步，現代風力機的性能、構造及發電效益上均有長足的進步。全世界風力機總裝置容量約二百萬仟瓦，每年發電量達32億度。台灣為一海島，石化能源貧乏，但位處東北信風帶上，頗具風能潛力，在能源缺乏及污染問題困擾之際，有效利用此一自然能源是重要的課題。



圖 2 小型風力發電裝置

因為風力並非持續不斷，而且有不穩定與間歇性的缺點，所以要有效利用風能，可以採用三種方式：

- (1)間斷式使用：如抽水灌溉，水產養殖，居民、牲畜用水。使用動力不必持續穩定，偶有間斷亦無妨。
- (2)儲存式使用：如利用電池、飛輪、抽蓄等儲能方式，將動力貯存，以供無風時使用。
- (3)併聯式使用：可以將風力發電機與水力、火力發電系統併聯配合，使電力供應穩定持續。

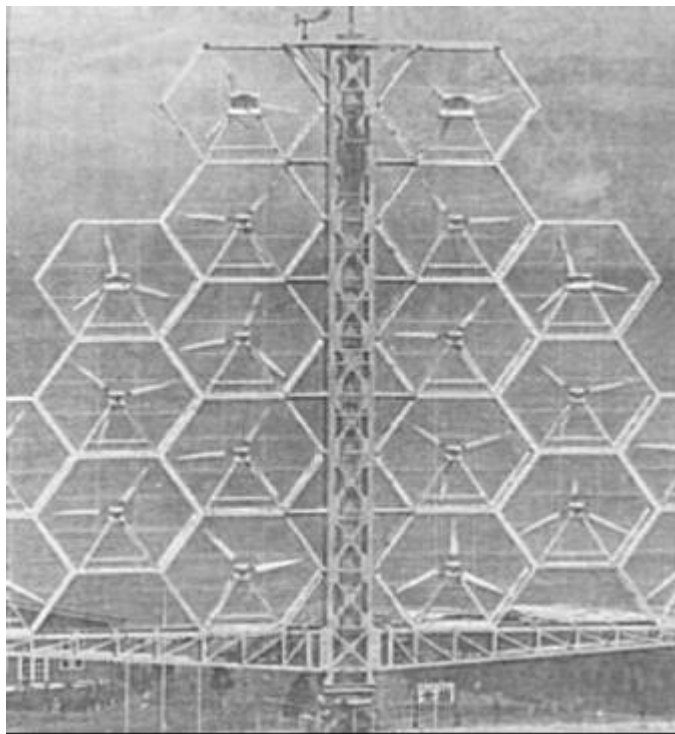


圖 3 【由二十具小風車組成一座 20m 高的大型風力發電機，座落在日本札幌西邊海灘，可產生約一萬兩千瓦電力】(美聯社)

風能是一種可以再生、無污染又可就地取材的自然能源。在扮演補助性能源及乾淨能源的角色上，已逐漸受到國際間的認同與肯定。目前國內風能研發工作已有了奠基準備。面對台灣地區一百萬千瓦(相當於一座核能機組容量)以上的風能潛力，如何有效地加以開發利用實為當今最重要的課題。

### 3. 地熱能

世界能源會議 (WEC) 組織於 1980 年估計全世界地熱能發電之潛力 (其儘計算地殼以下 3 公里深岩層之地熱能) 如下：

◎世界地熱資源量： $4.1 \times 10^{25}$  焦耳

◎2%資源量可供發電利用： $8.2 \times 10^{23}$  焦耳

◎可產熱能： $1.8 \times 10^{22}$  焦耳

◎可產電能： $3.6 \times 10^{21}$  焦耳

約為目前全球電力產量之 120 倍，由此可見地熱頗為可觀。

### 4. 海洋能

地球上海洋面積約三億六千多萬平方公里，約是陸地面積之二倍半，佔地球總面積 71%。海洋中蘊藏許多豐富資源，近年來由於石化能源日益枯竭及世界性經濟蕭條，促使利用海洋能源之開發研究益受重視。海洋能源包括下列數種：

(1) 潮汐能 (2) 波浪能 (3) 海洋溫差能 (4) 鹽梯度能 (5) 生質能 (6) 洋流能  
海洋能源種類繁多，通常是利用海洋的溫度差、潮汐〔潮流〕，及波浪來發電以供應用，人類若能多加開發利用，必能提供更多有用能源。

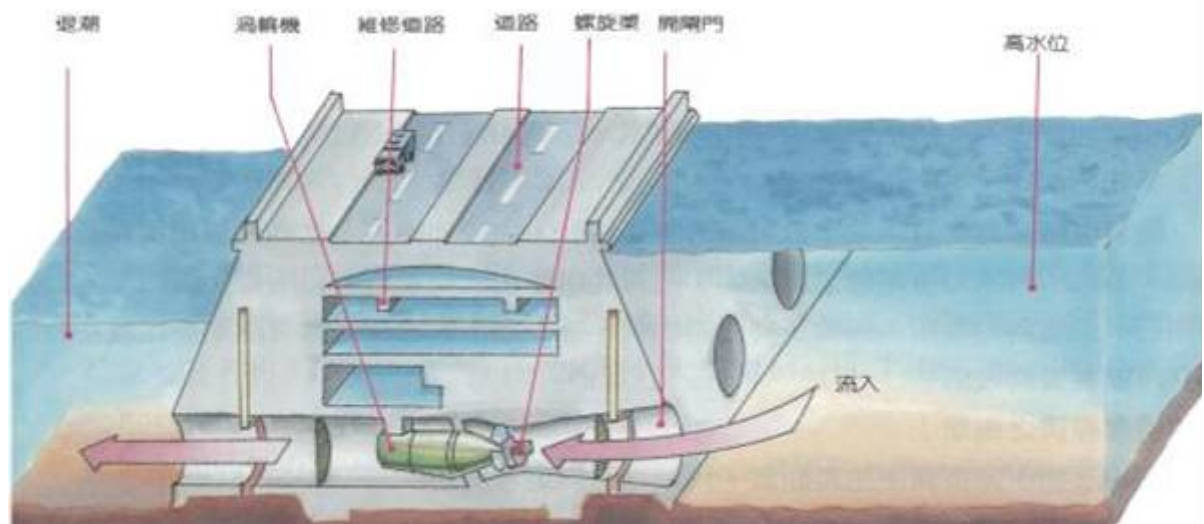


圖 4 潮汐發電構造

如圖 4 所示為潮汐發電構造圖，在海灣建堤防和水路，在漲潮時引水入儲水池，退潮時將儲水放出，每日可發電四次，但當潮汐滿潮與退潮高度相差小時，就很難發電。法國不列塔尼半島東邊的藍斯河，潮的高低差 13.5 公尺，於 1967 年建立世界最早的潮汐發電廠，每日的發電量有 400 至 500 百萬瓦·小時。

## 5. 生質能

生質(biomass)亦稱有機物，其能直接或間接地充當燃料使用。生質之主要成分為碳氫化合物，係來自植物之光合作用。每年地球上植物之光合作用約吸收  $3 \times 10^{21}$  焦耳之太陽能，這個數值約為現今全球每年總消費能量之 10 倍。太陽光雖然每天有大部分於射向地球表面之後，在太空裡消失了，但有大約百分之零點一，卻被地上豐富的植物所吸收。所以現今所謂之石化燃料，事實上即數百萬年前植物行光合作用之產物。生質來源有：

- (1) 牲畜糞便
- (2) 農作物殘渣
- (3) 薪柴
- (4) 製糖作物
- (5) 城市垃圾
- (6) 城市污水
- (7) 水生植物
- (8) 能源作物

巴西於 1970 年改革農業制度，大量種植甘蔗與樹薯，將之當作交通燃料，在 1978 年巴西已可生產 30 億公升乙醇。而在馬來西亞的橡膠樹，可產生乳狀的碳氫化合物，而糖樹可產生純粹的固體碳化氫。生物燃料無法完全解決世界的燃料問題，但它是一種便宜而可再生的燃料，且是一種最佳的石油替代品，希望在未來能真正的做到經營能量森林和燃料農產，以期解決世界之能源問題。

## 6. 水力

水力係目前唯一已被人類大量開發利用之再生能源，水力發電技術簡單而且完備，許多國家於水力發電之基礎工業，諸如水輪機、閘、水閘、發電機和相關電力設備等之製造，均已非常完善。水力開發對環境之衝擊較小，除了提供廉價電力外，且有下列之優點：管制洪水氾濫；提供灌溉用水；利於河流航運；提供尖峰時段電力調度。

## 7. 核融合

核能又分核融合及核分裂二種；利用核分裂來發電，其電廠事故與核廢料的處理則令人費盡心思，但卻又不能保證安全，故核融合被視為未來主要的能源。其主要優點如下：

- (1)原料取得容易
- (2)少量原料高產能
- (3)其廢料幅射性低
- (4)潔淨的發電過程
- (5)發生故障，立刻停機，不會爆炸

由於這些安全，環保且原料豐富的特性，幾乎成為人類未來能源之希忘所在。

## 台灣綠色能源發展現況

我國政府在民國 87 年 5 月召開全國能源會議，宣布在公元 2020 年時新能源規劃要達到 1 ~ 3% 比例的目標，經濟部能源局對我國再生能源的開發與利用，作了深入的探討分析，並完成「新及淨潔能源開發規劃」，擬訂了我國各項再生能源的發展目標，至 2020 年再生能源發電總裝置容量，占全國發電系統之 10% 為目標。行政院 91 年 8 月所通過之「再生能源發展條例（草案）」，訂定再生能源發電容量獎勵總量為 650 萬瓩，進一步宣示加強推動再生能源發電之政策。並對再生能源定義為太陽能、生質能、地熱、海洋能、風力、水力或其他經中央主管機關認定可永續利用之能源。另為因應「京都議定書」生效後之二氧化碳減量要求，94 年 6 月 21 日「全國能源會議」建議政府再生能源發電推廣目標為，預計 2010 年再生能源發電裝置容量達到 513 萬瓩，2020 年達到 700 ~ 800 萬瓩，2025 年達到 800 ~ 900 萬瓩，即至 2025 年再生能源發電量應占 5 ~ 7%，並以裝置容量占比達 10 ~ 12% 為目標。

### (一) 風力

近年來歐美各國積極投入風力發電發展情形下，風力發電技術日新月異，且其發電成本已經可以和傳統燃油、燃氣發電成本相抗衡，更低於天然氣發電成本，因此，在各種能源價格趨漲時代，世界各國爭相發展風力發電，至 2005 年底全球風力累積裝置容量已達 5898 萬瓩。

台灣為一海島地形，每年約有半年以上的東北季風期，沿海、近海及離島許多地區之年平均風速超過每秒 4 公尺，風能潛力相當優越，根據工業研究院能資所調查顯示，台灣全年平均風速大於每秒 4 公尺的區域，總面積約佔 2,000 平方公里，例如臺灣中北部山區、西部沿海及離島等均屬風能資源豐富地區，極適合開發風力發電，估計可開發之總裝置容量至少可達 300 萬瓩以上。如此優越的風能潛力，再加上台灣地區自產能源貧乏，98% 的能源消費均須仰賴進口，開發國內自產風力能源更顯其重要性。

民國 93 年間政府宣示，至公元 2010 年我國再生能源發電總裝置容量的配比，將由目前的 5.45% 提升至 10% 的政策目標。依此目標估計，我國必需再增設再生能源發電容量達 330 萬瓩，其中百分之八十來自風力發電，亦即未來六年期間，我國必需增設之風力發電容量將高達 216 萬瓩。

### (二) 太陽能

台灣地區雖地處亞熱帶，惟因氣候因素，日照時間不如同緯度之其他地區，且台灣本島地狹人稠，寸土寸金，夏秋期間颱風頻仍，而目前太陽能電池等設備投資費用尚甚為昂貴，限制了台灣地區太陽能發電之發展。

近年來隨著能源與環保日趨嚴重，在美、日、歐先進國家推動下，太陽光電產業蓬勃發展，全球市場快速成長，近幾年平均年成長率約在 30% 以上，太陽電池被認為最具發展潛力的再生能源。太陽光發電技術雖已成熟，且大量商業化，惟目前市場已被美、日、德等大廠囊括，國內現階段太陽光電系統的主要相關產品如太陽電池模板和電力調節器仍以進口為主，導致成本偏高，裝置成本約為新台幣 25~30 萬元/kW。考量我國半導體與電子工業發達，未來可運用其競爭優勢與產業群聚完整，切入具發展潛力項目，開發先進製程技術和產品，建立上中下游完整太陽電池工業。為擴大太陽光電市場的應用，政府將推動陽光電城、特定公共建築物專案、離島與偏遠地區設置緊急防災系統等計劃，預計至 2010 年全國總裝置容量可達 2.1 萬瓩。

台電公司目前已完工運轉中之太陽光電發電系統有樹林綜合研究所、台北市區營業處、大林電廠、南投區處和金門區處等共約 70 瓩，興建中有南部展示館 50 瓩與高訓中心 10 瓩，規劃中有屏東區處 10 瓩。

### (三) 地熱

台灣位處環太平洋火山帶，多處山區顯示具有地熱蘊藏，根據台灣地熱資源初步評估結果，全台灣地區有近百處顯示具溫泉地熱徵兆，但較具開發地熱潛能者有 26 處，理論蘊藏量約有 100 萬瓩，其中大屯山區約具 50 萬瓩，惟因係屬火山性地熱泉，其酸性成分太高，成為發電利用之瓶頸，而清水及土場地區則蒸氣含量太少，較不具發電價值。因此，如能克服地熱酸性成分高與蒸氣含量少兩項科技發展上之瓶頸，則地熱發電在台灣地區將會有較好的發展前景。

台中清水及宜蘭土場兩座地熱發電廠，以前曾設裝置容量分別為 3,000 及 300 瓩之發電機組，其中清水電廠由於地熱井蒸汽及熱水產量顯著降低，出力由初期之 1,600 瓩降至 300 瓩左右，成效不理想，已於 82 年 11 月 15 日起停止發電。

### (四) 海水溫差

本省東部海域在離岸不遠處水深即達 1000 公尺，該處海水表面與海底水溫差可達 17.3 ~ 24.3 °C，可利用此一溫差開發海水溫差發電。台電公司於民國 70 年開始進行「台灣東部海域海洋溫差發電潛能研究計畫」。並在 78 年 10 月與國立交通大學合作完成「海洋溫差多目標利用初步可行性研究報告」，根據該項研究發現：以目前的技術水準而言，投資興建海水溫差電廠之技術風險仍高，發電成本亦不具經濟效益。近年來台電為配合政府推動「深層海水資源利用及產業發展」政策，及經濟部「深層海水資源利用及產業發展實施計畫」，將結合深層海水冷能之利用，提出「複合式溫差發電應用研究」，重新開啟海水溫差發電應用研究。

### (五) 波浪

台灣四週環海，沿海波浪隨處可見，唯歐美等國雖積極進行波浪發電之研究，世界上迄今尚無商業性波浪發電之運轉經驗。台電公司曾於民國 76 年 2 月開始進行本省地區波浪發電先驅計畫，進行波浪發電系統之研究，調查評估台灣沿岸波浪發電之潛能、波浪發電的初步可行性研究以及電廠概念設計。隨後並進行評選適於興建波浪發電示範

電廠之廠址，以及相關環境資料之調查與蒐集。於民國 84 年曾辦理「核能四廠進水口防波堤設置波浪發電可行性評估及初步設計」，並於同年 6 月完成研究報告，因工程規劃進度難以配合核能四廠防波堤工程而作罷。

#### (六) 潮汐

潮差發電若以目前低水頭水輪機應用技術而言，只要有一米的潮差及可供圍築潮池的地形均可作潮汐發電，但若加上經濟性因素，則潮差及潮池要求之條件需較高。台灣沿海之潮汐，最大潮差發生在金門、馬祖外島，約可達 5 公尺潮差，其次為新竹南寮以南、彰化王功以北一帶的西部海岸，平均潮差約 3.5 公尺，其他各地一般潮差均在 2 公尺以下，與經濟性理想潮差 6~8 公尺仍有相當差距。由於台灣西部海岸大都為平直沙岸，缺乏可供圍築潮池的優良地形，並不具發展潮差發電之優良條件，但金門及馬祖潮差較大且現有發電方式發電成本較昂貴，應具有發展潮差發電應具較佳之經濟誘因。

#### (七) 黑潮

台灣地區可供開發海流發電應用之海流，以黑潮最具開發潛力，黑潮的厚度約為 200~500 公尺，寬度約 100 公里至 800 公里左右，其流速介於 0.5m/sec 至 1m/sec，理論上利用黑潮發電是可行的，但因深海用的水輪發電機尚屬研究階段，技術可行性有待驗證。而且國內缺乏相關黑潮發電技術研究資料，僅於 88 年 11 月由台灣大學海洋研究所完成台灣東部黑潮發電應用調查規劃研究報告。

#### (八) 生質能

生質能的廣泛定義即指所有有機物，經各式自然或人為化學反應後，再燂取其能量應用，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、及下水道廢水等，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。

目前台灣地區的生質能發電應用包括垃圾焚化發電、沼氣發電、農林廢棄物及一般事業廢棄物應用發電等，國內已設置多處焚化廠，其產生的電力除自用外，部份剩餘電力回售給台電公司，裝置容量總計已達 47.53 萬瓩。沼氣利用在農委會及農林廳的輔助下，為豬糞尿厭氧消化處理研究首開其端，開發各種沼氣利用的途徑，包括烹調、發電及運輸。例如高雄立大農畜公司、台糖公司竹南畜產研究所等均設有豬糞尿處理系統，產生的沼氣直接供燃燒及發電之用。經濟部及環保署於民國 85 年中開始協助再生能源業者開發國內垃圾掩埋場沼氣發電計畫；迄今為止，已有台北之山豬窟、福德坑、台中文山、高雄西青埔等垃圾掩埋場之沼氣發電廠順利併聯發電，合計裝置容量 2.18 萬瓩。另外尚有雲林再生能公司申請設置一座 4M W 之稻殼、稻桿氣化發電廠，及南投高盛公司申請設置一座 25M W 之事業廢棄物衍生性燃料應用發電廠，目前均進行設廠中。

### 教材來源

1. 台中高工綠色能源網，"<http://ge.tcivs.tc.edu.tw/training/index.htm>"
2. 經濟部能委會 "<http://www.moeaec.gov.tw> "
3. 台灣電力公司 "<http://www.taipower.com.tw> "
4. 能源與資源研究所 "<http://www.erl.itri.org.tw/> "

## 第三章 太陽能之現況與未來發展

### 一、認識太陽能

#### 1. 什麼是太陽能?

太陽能是指太陽所負載的能量，它的計量一般以陽光照射到地面的輻射總量，包括太陽的直接輻射和天空散射輻射的總和。太陽能也是核融合的“核能”變成“光能”與“熱能”傳播到地球來，被人類收集來轉換為其他形式的能量來利用。

#### 2. 太陽能的優缺點

##### A. 優點

太陽能是人類可以利用的最豐富的能源，太陽能的優點，是可以在地球的所有地方得到，不需要運輸。一般認為，處於南北緯 50~60 度以內的地區，都有豐富的太陽能可以利用，只要最初花一定的代價，投一筆資金，造好太陽能利用裝置，能量就會源源不斷地自己送上門來，「免費」供應，期間只需要花很少一筆設備維修費。

現代的太陽能系統，在每天日照時間相當短的國家，也可以經濟有效地提供大量電能，它給地面照射 15 分鐘的能量，就足夠全世界使用一年。太陽能的供應源源不斷，是一種非常清潔的能源，不會引起污染，更不會耗盡自然資源或導致全球溫室效應。當然，大量使用太陽能之後，由於太陽能的充分利用，結果會使環境的溫度稍微升高，但這種溫升，不致對環境造成不良影響。

##### B. 缺點

太陽能好用，但也是有其缺點所在。它的穩定性差，受氣候、晝夜的影響很大，到達極不恒定。因此必須有貯存裝置，這不僅增加了技術上的困難，也使造價增加。目前雖然已經製成多種貯存系統，但總是不夠理想，具體應用也有一定困難。

裝置成本過高，吸收太陽能的受光面積須達一定規模方有效果，雖然到達整個地面太陽能非常巨大，但這種能量非常分散，作為能源，它的密度太低了。因此，太陽能的利用裝置必須具有相當大的面積，才能收集到足夠的功率。但是，面積大，造價就會高。只有當採集能量裝置表面的單位造價相當便宜時，才能經濟合算的使用這太陽能利用器，因此相對地成本提高。

#### 3. 太陽能的科技及利用

太陽能的科技，應用甚廣，您只要有發電裝置，那麼電力將免費！早期太陽能晶片價格高，用來發電提供消費性產品使用完全不符經濟效益；比較常見的用途有太空站、衛星的發電，高山、離島、海洋等 SCADA 系統發電，或者手上太陽能手錶(如 Casio 就有推出太陽能手錶)、計算機等。近年來太陽能發電設備價格大幅降低，運用範圍更擴大許多，在一些科技較先進的國家亦有研究太陽能的交通工具的發展，例如美國、日本。這些交通工具包括飛機、汽車、RV 車、遊艇等；個人用電像是手機、手提電腦、太陽能發電機等都有很多相關產品問世；公共工程用電上像是路燈、號誌。隨著架設成本降低、市售電力成本提高，家庭用太陽能提供一般用電似乎慢慢變的可能了。另外，利用太陽能來驅動的熱水器和太陽屋，在外國亦可見到不少。現今人類最關注的能源問題，

太陽能發電廠(附圖 1)亦能夠幫助去解決。

## 二、太陽能的發電

### 1. 認識太陽能場

太陽能製造出有用的電力需要相當大規模的設備，最廣為人們採用的設計是太陽能場(the solar field) 已經施行於一些國家，包括澳洲、日本、西班牙、義大利和美國。目前台灣因為建造太陽能發電廠比較不符合經濟效益，所以並沒有採用太陽能發電，只有有一些小型研究。

一個太陽能場包含許多排的太陽能集電器，他們與一個中央的熱交換機聯結，來產生驅動電動的發電機。這些集電器通常被曲面的反射鏡環繞，並且方向隨著太陽光的角度而改變，使之更有效率。每一個集電器都可旋轉並設計成永遠直接面對太陽。整日裡，集電器的位置由一台小型電腦控制的馬達不停的做調整。

太陽能場的主要缺點是在熱從集電器轉移至中央熱交換機的過程中流失，一個解決方法是一個含有數千個分離的鏡子的循環區域，將太陽的熱能集中到一個中央收集點。第一個中央收集系統是溫度達攝氏 3,000 度 (華氏 5,400 度) 以上的實驗性太陽能熔爐，而在西元 1980 年代，第一個中央收集動力塔開始運作。太陽的射線焦點集聚在動力塔的頂端，並且藉一連串含有液態鈉的黑色管子來收集熱，在基底的熱交換機和鍋爐連結，以產生蒸氣來驅動發電機。

### 2. 太陽能發電系統組成要件

太陽電池組列 (Solar Array)、模板支撐架、直流接線箱(Junction Box)、直/交流電力轉換器(Inverter)、變壓器(Transformer) Inverter 之輸出端接市電間(是否必要依直/交流電力轉換器規格而定)、直/交流配電盤(Power Panel)。

監測與展示【包含全天日照計、溫度計、發電資料監測儀表(各直/交流電表)、資料擷取器、LED 展示板】

### 3. 太陽能發電原理

太陽光發電系統係由太陽晶片 (solar cell) 以半導體製程製作方式而成，發電原理乃將太陽日照光照射於太陽晶片(附圖 2)上，使太陽晶片吸收太陽日照光能透過半導體，使產生負極及正極形成電壓降，再經導線傳送至負載。

太陽光電模板所產生電力為直流電，若該需求用電需提供電力給家電用品或各式電器交流電使用，則需加裝直/交流轉換器，將直流電轉換成交流電，才能使太陽光發電所發電力供電至一般家庭用電或其他用電。

### 4. 太陽能電廠主要集光方法

#### A. 塔型集光

先建造一座高塔，然後在地面排列鏡子，將陽光反射於塔頂，陽光移動時塔下方的鏡子也不斷追隨太陽移動，所以放置在塔頂的熱吸收器被加熱到極高溫，並製造蒸氣發電。

#### B. 曲面分散集光

使用半管型的拋物面鏡集光，由拋物面鏡反射的太陽能向各自的焦點集中，而焦點



設有集熱管以產生蒸氣發電。

## 5. 太陽能發電方式

利用太陽能來發電，可直接將太陽能中之光能或熱能轉換成電能，由於蒐集能源的方式不同，可分為太陽熱能發電及太陽光能發電。

### A. 太陽熱能發電

利用聚熱裝置，將太陽熱能聚集以獲取極高溫的熱源，直接加溫工作流體使成高壓蒸氣以推動渦輪機發電。其系統包括太陽光集熱器(反射鏡)、吸收器、儲熱器及能量轉換器(渦輪機、發電機)等裝置。

利用太陽熱能發電由於太陽光的有無、長短及強弱變化很大，且無法連續地供應，故要轉換成電能或機械能的效率不高，加上聚熱板接收太陽光的面積必需很大，因此，目前尚無法大量使用太陽熱能。目前世界上利用太陽能發電較有成效的以美國加州南部 LUZ 公司於 MOJAVE 沙漠地區的 SEGS 太陽能發電廠。

### B. 太陽光能發電

是利用太陽能電池元件直接將太陽光能轉換成電力的方式。太陽能電池是利用自然界中的矽元素，製成 P 型及 N 型半導體作正負極，這兩種半導體吸收太陽能後即可產生電位差而呈電池功能。目前太陽能電池的使用，僅限於耗電量較少的地方，無法大規模使用的原因是其製造成本高且效率低。

## 三、太陽能的收集與太陽能電池

### 1. 如何收集及轉換太陽能?

#### A. 通過光合作用利用太陽能

地球上所有綠色植物，都是通過光合作用來直接利用太陽能的。於是有人提出利用葉綠素再造太陽能電池的設想，根據計算，利用葉綠素製造的太陽能電池，效果相當理想。

計每十平方米面積這種光電池，效果即使僅得十分之一，也能發出一千伏特電力。科學家研究其他半導體和染料，以找出模擬光合作用的最佳搭配，實現通過光合作用利用太陽直接發電，這對解決人類對電力的需求具有特別意義。

#### B. 利用光生伏打效應使太陽能轉化成電能

利用光生伏打效應，以太陽的輻射能力使太陽能直接轉化成電能的製品，這是目前人造衛星的主要動力來源，也是地面上許多場合不可缺少的特殊電源，如船標電源等。

#### C. 聚集太陽能加以利用

這是利用太陽能最成功的方式。只需依各吸收能量的表面極佳熱表面接觸的液體，便可達到加熱取暖，供熱的目的。這種聚集太陽能而加以利用的太陽能設備，按他的原理，大致又可分为兩類：一是利用熱箱原理製成的；另一類是利用各種類型的反射鏡將太陽光會聚後投射到吸收表面而製成的。所謂熱箱原理也叫溫室效應。他是四個側面和底面木板之類作成的箱子，分內外兩層，中間放絕緣材料，箱子內壁塗黑，箱子上面裝塊平玻璃板。這樣，當太陽光線投射到玻璃板上並進入箱子裡面時，塗黑的內表面將很好的吸收太陽輻射能，從而使箱內可以達到遠比室外高的溫度。利用這種原理，以製成各種用途的太陽能設備和器具。利用各種反射鏡面會聚太陽而製成的太陽能設備，則可獲得比較高的溫度。通常使用的反射鏡有拋物面反射鏡，柱形反射鏡，圓錐形反射鏡。

這些反射鏡通常是在玻璃表面鍍上反射層，或是金屬表面拋光或反射層。

## 2. 何謂太陽能電池？

太陽能電池係一種利用太陽光直接發電的光電半導體薄片，它祇要一照到光，瞬間就可輸出電壓及電流。而此種太陽能光電池 (Solar cell) 簡稱為太陽能電池，或太陽電池，又可稱為太陽能晶片，在物理學上稱為光生伏打 (Photovoltaic)，簡稱 PV (photo=light 光線，voltaic=electricity 電力)。

矽 (silicon) 為目前通用的太陽能電池之原料代表，而在市場上又區分為：單結晶矽、多結晶矽、非結晶矽。而目前市場應用上大多為單晶矽及非晶矽兩大類，原因是因為單晶效率最高，而非晶價格最便宜，且無需封裝，生產也最快。

多晶的切割及下游再加工較不易，而前述兩種都較易於再切割及加工。

太陽能電池的發電能源來自於光的波長，太陽光是一種全域波長，而白熾燈的波長與日光燈的波長不同，太陽能電池以陽光或白熾燈之波長為較適用，而太陽能電子計算機上的太陽能電池是屬於 "室內型的非晶" 如果長期拿到戶外曝曬，且串並聯為較大電壓及電流時，將導致其內部連結組織燒斷而損壞，這是過去有人因錯用材料 (以為太陽能電池只有一種)，卻誤以為所有的太陽能電池都不實用的原因。

## 3. 太陽能電池如何產生電力？

太陽能電池可以直接將太陽能轉變成電力，典型的太陽能電池是一種直徑約 5 公分的矽晶片。經過特殊的處理後，形成一面有多餘電子在內部自由游動 (N 型層)，和另一層因缺乏電子而形成電洞 (P 型層) 的雙型層晶片，當陽光照射矽晶片時，引起電子與電洞的相互流動，穿越 N 型層與 P 型層間的界面，因而產生電流。

在正午的太陽下，太陽能電池可產生 0.6 瓦的電力，若將太陽能電池串接在同一平板上，可得較大的電力輸出，太空實驗室上的太陽能收集板連結了一萬五千個太陽能電池，可輸出九千瓦的電力。目前太陽能電池的使用，僅限於耗電量較少的地方，主要的原因是其製造成本太高且效率低，一峰瓦的矽晶太陽電池成本約 10 元美金，若要與燃煤或燃油的發電方式競爭，其成本必須降到美金 5 角。

## 4. 如何利用太陽能供應家庭所需的熱能和電能？

目前應用太陽能最成功的例子，是利用太陽能供應暖氣與熱水。典型的裝置是將平板集熱器裝在屋頂上，這種集熱器是一個表面透明的大箱子，在箱子內部塗有一層黑色的吸熱漆。當陽光進入箱內，便被吸熱漆所吸收，進而加熱箱內的空氣，熱空氣可送到室內循環，以供應暖氣。箱內亦可裝上黑色的金屬管，水在管內緩慢流動，便可得到熱水，這種太陽能加熱系統可加配儲熱槽，將熱量儲存已備沒有太陽的時候可以使用。

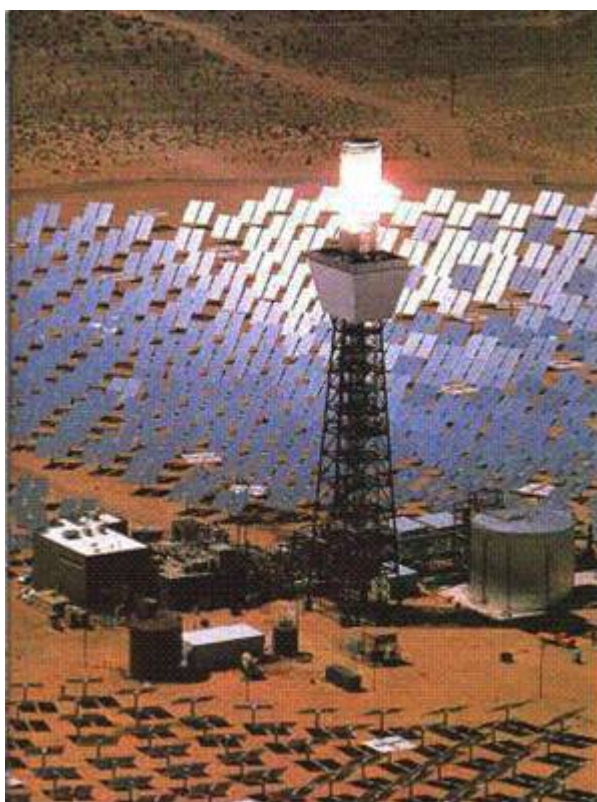
家庭用平板式集熱器就「價格」與「使用效率」來說都已具實用價值。家庭用太陽能集熱器可以供應 50% 以上家庭所需熱量。在陽光充裕的地區，只要在屋頂裝上一百六十平方公尺的平板式集熱器，便足可供應一個家庭所需的熱量。

## 四、結論

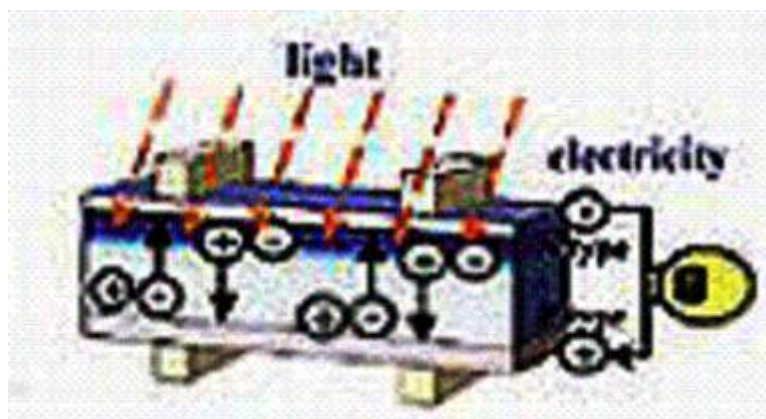
未來利用太陽能發電受到的限制有下列三點需注意，即轉成電能或機械能的效率不高、陰雨天氣及夜晚無法連續地供應及聚熱板接受陽光的面積必須很大。由於有這些限

制目前尚無法大量使用太陽能。利用人造衛星吸收太陽能發電的構想，或許可以解決這些難題。此構想是把衛星放到六萬公里的太空中，上面裝兩具巨大的太陽能電池板，太陽能電池將太陽能轉變成電力，再以微波送回地球的接收站，在此情況下可獲得約地球表面 15 倍的太陽能。這種發電方式是否可以實現，端視未來的太空科技發展而定，相信未來太陽能將在能源的運用上扮演主要角色。而當未來科技越來越進步，能夠克服難題，有效的尋找出如何有效率的運用太陽能的方法之時，此將成為人類一大福音，為能源的節省與人類的生活上帶來更多的便利。

## 六、附圖

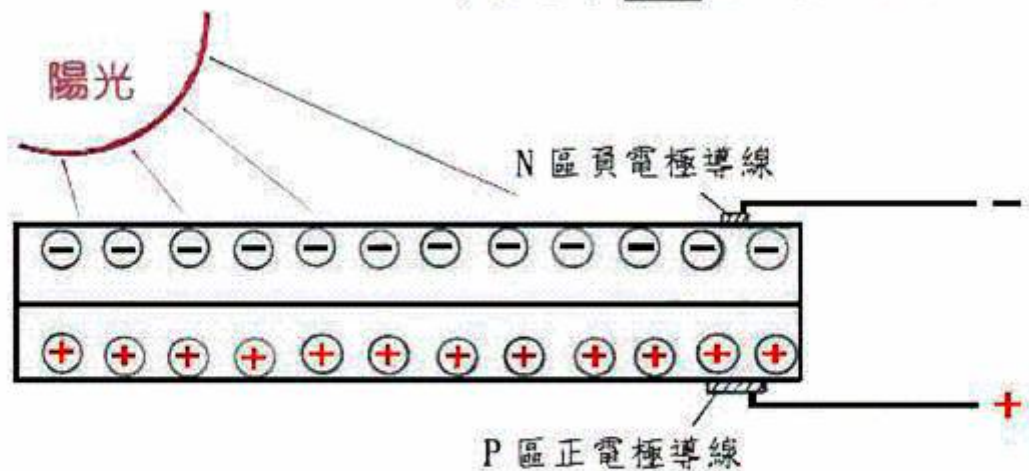
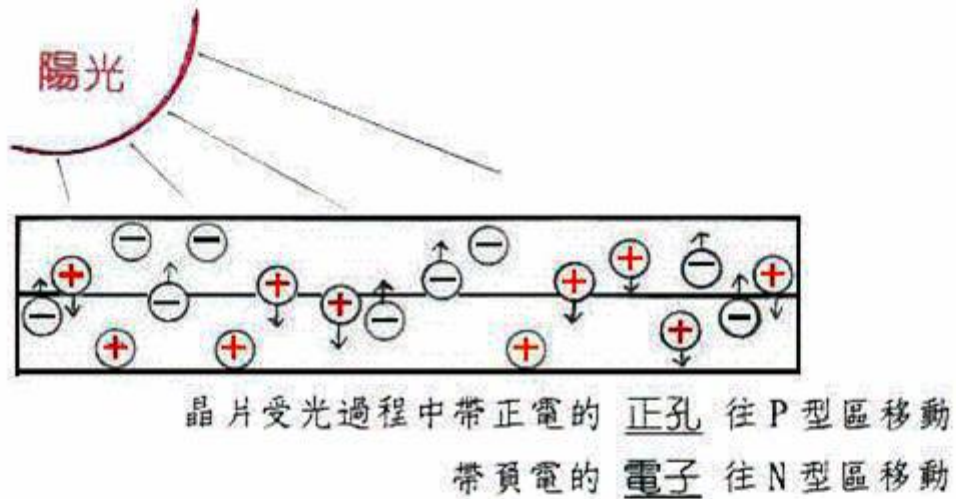
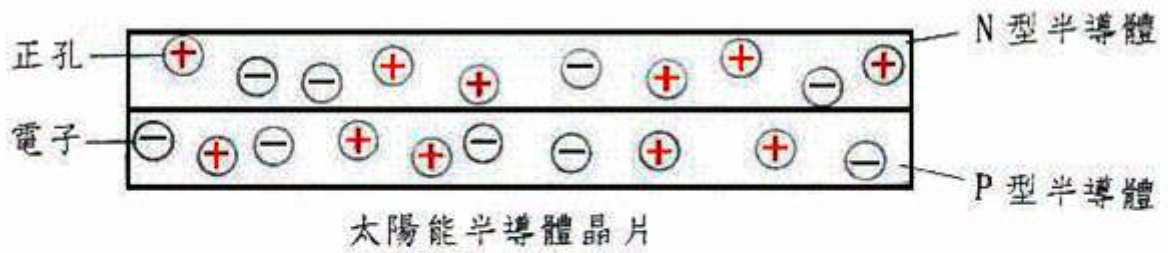


附圖一 太陽能發電場



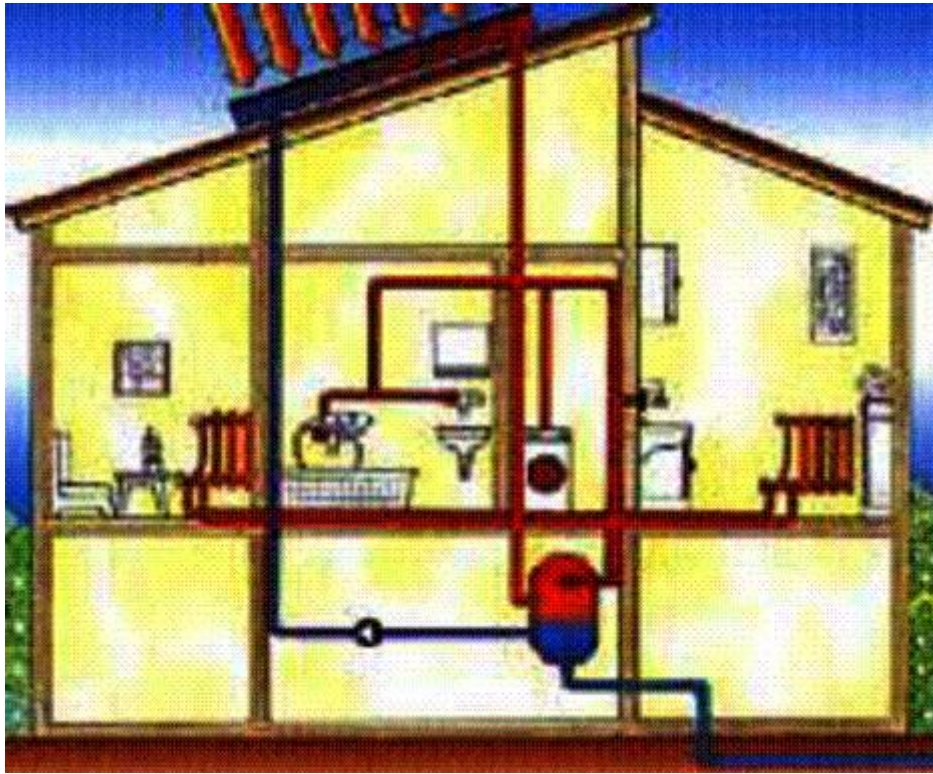
附圖二 太陽能晶片 (solar cell)

# 太陽能電池發電原理



晶片受光後負電子從N區負電極流出負電  
正電孔從P區正電極流出正電

附圖三 太陽能電池發電原理示意圖



附圖四 利用太陽能供應家庭暖氣與熱水



附圖五 太陽能平板式集熱器

## 七、太陽能的優點及缺點

### 優點

1. 太陽能是人類可以利用的最豐富的能源。

據估計，在過去漫長的十一億年當中，太陽只消耗了它本身能量的2%，今後數十億年太陽也不會發生明顯的變化，所以太陽可以作為人類永久性的能源，取之不盡、用之不竭。它給地面照射15分鐘的能量，就足夠全世界使用一年。

2. 太陽能是到處都有的，不需要運輸。

一般認為，處於南北緯50~60度以內的地區，都有豐富的太陽能可以利用，只要最初花一定的代價，投一筆資金，造好太陽能利用裝置，能量就會源源不斷地自己送上門來，「免費」供應。期間枝需要花很少一筆設備維修費。

### 3. 太陽能是一種清潔的能源。

煤炭、石油等礦物燃料產生的有害氣體和廢渣，而使用太陽能時不會帶來污染，不會排放出任何對環境不良影響的物質，是一種清潔的能源。當然，大量使用太陽能之後，由於太陽能的充分利用，結果會使環境的溫度稍微升高，但這種溫升，不致對環境造成不良影響。

### 4. 太陽能的系統又稱作「無變量的能源系統」。

太陽能對於地球不增加熱載荷，這是太陽能特別重要的優點，所以利用太陽能的系統又稱作「無變量的能源系統」。因為我們用太陽能作功，雖然最終是變為熱，但是如果我們不用它做功的話，最終也是變為熱。另一方面，我們用煤、石油、鈾分裂、核聚變，似乎也不過是最終變為熱，但是如果我們不開採出來用的話，那就不會產生熱了。所以這一份熱是另加在地球上的熱載荷。地球為了散去這另加的熱載荷，就得普遍的增高溫度。

### 5. 太陽能安全性

核能發電會有核洩漏的危險，一旦核洩漏了便會造成極大的生態危機，而太陽能絕對沒有這種情況，是十分可靠的。

## 缺點

### 1. 太陽能的利用裝置必須具有相當大的面積。

雖然到達整個地面太陽能非常巨大，但這種能量非常分散，作為能源，它的密度太低了。因此，太陽能的利用裝置必須具有相當大的面積，才能收集到足夠的功率。但是，面積大，造價就會高。只有當採集能量裝置表面的單位造價相當便宜時，才能經濟合算的使用這太陽能利用器。

### 2. 太陽能受氣候、晝夜的影響。

太陽能受氣候、晝夜的影響很大，到達極不恒定。因此必須有貯存裝置，這不僅增加了技術上的困難，也使造價增加。目前雖然已經製成多種貯存系統，但總是不夠理想，具體應用也有一定困難。

## 八、總結- 太陽能的利用是勢在必行

綜觀太陽能利用的優缺之處，發展太陽能仍是非常可取的。目視污染是很主觀的，又有誰能擔保龐大的收集器不會成為壯觀的景色，而成本問題也不能短視近利的，花下去的金錢、空間，是可以在時間上換回的。想想幾年之後，所有非再生的能源都消耗殆盡了，這時的太陽能將是無比珍貴的，至於穩定性差的問題，這是誰都無法改變的事實，正如農人們看老天的臉色過活，人與大自然之間的關係不正如此，萬物生滅自有他道理，這也是人類改變不了的，所以，太陽能的利用是勢在必行。

## 第四章 風能之現況與未來發展

資料來源：呂威賢，科學發展，第383期，p. 6-13，2004年11月。

### 風的故事-從風車到風力機

風是大自然賜予人類的寶藏，取之不盡用之不竭。  
風能是乾淨的，具有能源與環保雙重貢獻。  
一座座風車轉動出人類能源的新希望。

### 一、風從哪裡來

風是常見的自然現象，其形成源於地球自轉，以及區域性太陽輻射熱吸收不均造成的溫度差異，而引起的空氣循環流動，小規模者如海陸風、山谷風，大規模者如東北季風。風速大小一般以每秒幾公尺或是蒲福氏風級表示，風速愈高其所蘊藏的能量也愈大。夏季時微風徐徐吹過，讓人覺得心曠神怡，但颱風來時，強勁的風速捲起滔天巨浪、摧毀樹木及建築物，令人驚怖，可想見風的能量是何等的巨大。

人類使用風力能源的歷史由來已久，數千年前即已懂得利用風力推動船隻航行。根據文獻，一千年前中國及古波斯即利用風車汲水、灌溉及磨碎穀物。後來風車經荷蘭、希臘等歐洲國家加以改良後，更進而發揚光大，成為中世紀歐洲重要的動力來源。

然而十八世紀末工業革命後，由於煤炭、石油等化石燃料及蒸氣機的大量使用，傳統風車被取代而逐漸式微。儘管如此，歐美對風能應用的研究並未停止，十九世紀末丹麥的氣象學家保羅·拉·庫爾（Poul La Cour）製造了第一部風力發電機，自此能技術的研發乃朝發電發展。後來因為大型發電廠使用煤炭及石油以生產廉價的電力，使得昂貴又不穩定的風力遂逐漸被市場所淘汰。



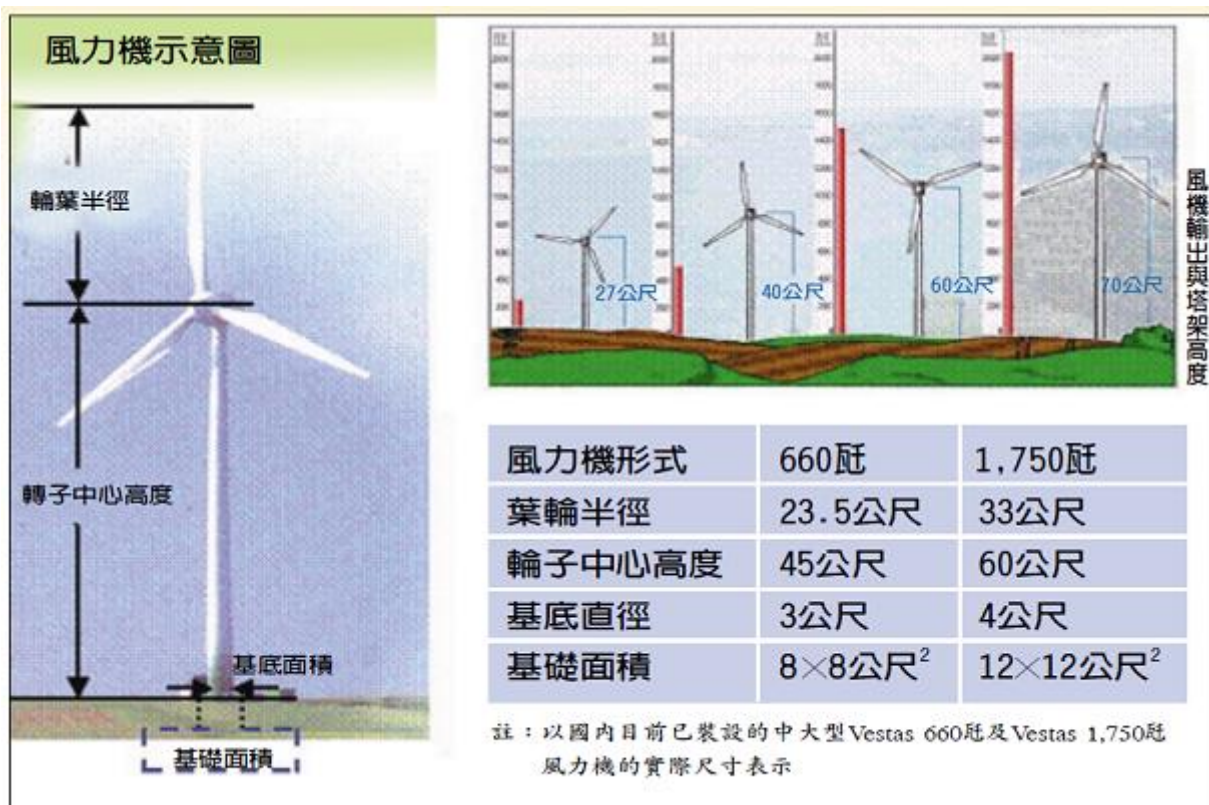
傳統用於磨碎穀物的風車。

但一九七〇及八〇年代兩次能源危機後，科學家體認到過度仰賴化石能源並非長遠之計，故除了努力提升使用效率及宣導節約外，也致力於開發再生能源技術，風力發電的研究因而再度蓬勃。再加上歐美國家環保意識抬頭，民眾普遍關心傳統發電產生的污染問題，清潔的風力能源遂受到相當的重視。風力機的研究在既有的風車基礎上，再融入近代科技後，其性能與效益皆大幅提升。現在風力發電已經是再生能源中最經濟、使用最廣泛的技術之一，尤其在歐洲風能已經是目前非常重要的電力來源。

風力發電機主要是藉由空氣的流動來轉動葉片，把風能轉換成電能。葉輪受風吹而轉動，因此葉輪氣動性能對風力機輸出效率具有決定性的影響，近年來由於葉片的設計應用了航太技術，大大地提高了風力機的輸出效率。但風力機尚無法轉換全部風能，輸出效率僅介於 20~45% 間。目前商業化風力機都使用微電腦監控，可隨風速、風向的變化而自動啟動、關機、迎風轉向，並具遠距監控及異狀保護功能。正常狀況下可自動運轉，不需人員操作，因此有「無人電廠」的稱呼。

風吹過地面時，會因障礙物的影響而減弱，離地面愈高風速愈大，因此為擷取更多風能，除須改進扇葉氣動性能及傳動發電系統效率外，也要增加塔架高度以提高迎風風速，或增大葉輪直徑以增加受風面積，因此風力機乃不斷地朝大型化發展。目前全球最大的風力機裝置容量是 4.5 千瓩，其葉輪直徑達 114 公尺，遠超過波音七四七巨無霸飛機的翼展，其塔架高度更高於 120 公尺，可稱得上是地球上最大最高的轉動體。

由於風力資源對於風力發電機的發電量極為重要，在規劃時也需考量設置區域的風性、地理條件是否能提供穩定而充足的風。風速越高的地區，風力發電機能擷取的風能愈多，經濟效益會愈好；風向穩定少亂流的環境對風力發電機的磨耗也較低，運轉壽齡可提高。一般而言，風力機宜設置於開闊區域，如海濱、防風林、田埂、漁塭、河海堤、山脊等。風力機機座占地不大，並不影響地面原有的用途，在丹麥、德國及西班牙等國家皆可見風力機與農牧共生使用。



風力機





風力機設置於農田中，除維持原有農作物耕作外，亦可增加農民的收入。

## 二、利用風力發電好處多多

**風力能源永不耗竭：**人類追求經濟成長及現代化的結果使得能源大量消耗，然而地球的化石燃料蘊藏量有限，終有一日將沒有石油可用。然而風力發電卻不一樣，由於擷取的是大自然的風能，只要太陽及地球仍在運行即無匱乏之虞，故是一種能讓人們永續使用的再生能源。

**風力發電無污染：**大家都知道火力發電會排放大量二氧化碳及污染物質，嚴重破壞環境，影響生態並造成全球暖化；核能發電雖不像火力發電般排放污染物質，但溫排水可能影響海洋生態，而且核廢料的問題也會造成人們的恐懼。反觀風力發電不但不會排放二氧化碳及污染物質，更沒有放射性物質的困擾，是非常乾淨的能源，因此廣受注重環境保護國家的歡迎，成為應用最多的再生能源之一。

**風力發電是自產能源：**大自然的風完全不用進口，是道地的自產能源，多加利用可減低對進口石油、煤炭等的依賴，且促進能源多元化，在國家安全考量上亦有其戰略意義。另外在經濟與社會層面，風力發電可製造工作機會，例如其零組件的生產、運輸、組裝、維護等，都可為設置風力發電機的當地帶來相當的就業機會。

**風力發電具分散式特性：**傳統大型、集中式發電機組如核能與燃煤發電的能源效率低，且在輸送過程中也會造成電力的損失，因此分散式發電已成為電力系統發展的新趨勢。風力發電機可分散設置於各地區，減少輸電損失，並可滿足區域的尖峰負載，降低供電成本。

**風力發電具觀光效益：**風力發電場在適當的配置下，可使當地的景觀更有特色，甚至有景觀再造的功效。根據歐洲國家調查顯示，風力發電場附近有超過 80% 的居民支持風力發電，認為使當地風景更具特色。

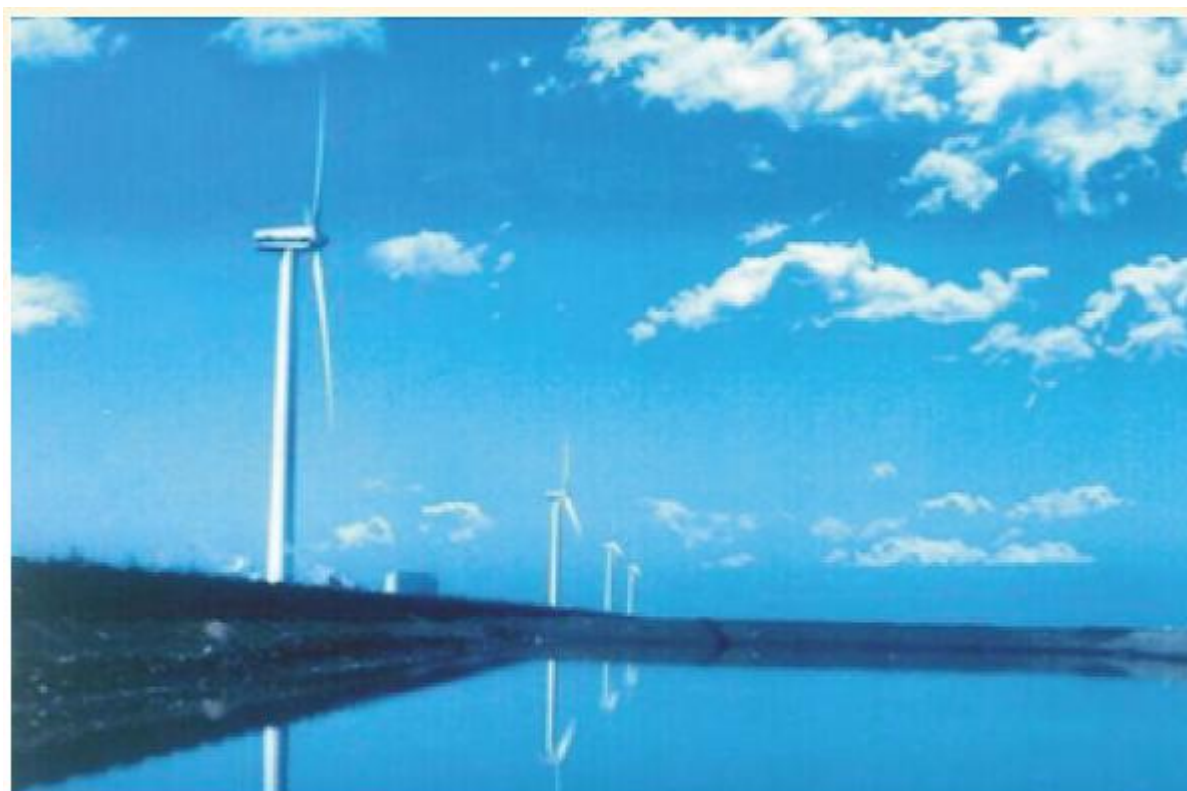
**風力發電是輔助性能源：**風能來自大自然，有時大有時小，因此風力發電具有輸出

不穩定的特性。在台灣地區，冬季時東北季風強勁，使得風力發電量甚為可觀，但夏季缺電時，卻因為西南季風微弱而發電量有限，因此風力發電在現階段僅能做為輔助性能源，無法完全取代傳統發電。

### 三、歐美國家大量開發利用

由於風力發電技術成熟與量產應用有成，使得成本迅速降低。一些風力資源較豐富的國家，已開始大量開發利用，尤其因屬綠色發電，故愈來愈受到人們的支持，近年來安裝容量急遽增加，近五年的平均成長率高達35%，可說是不景氣中少數的高成長產業。迄二〇〇三年底，全球的裝置容量已近四千萬瓩，足以提供歐洲四千七百萬人的生活用電。

目前全球共有46個國家利用風力發電，主要分布在歐洲及美洲，前三名分別是德國、美國及西班牙。而亞洲的印度、日本及中國大陸亦名列前十名。德國在九〇年代初僅有少許的風力機應用，但在其優異的工業基礎與政策鼓勵下，十年來其風力發電裝置容量呈驚人的指數成長，遠高於其他國家。西班牙則由於風力資源豐富與政策的獎勵，裝置容量也快速成長，二〇〇〇年甚至超越丹麥成為歐洲第二。至於丹麥本是風力發電開發的先驅，由於政府的重視及鼓勵，再加上持續研發，不斷提升風力機性能，造就了成功的風電產業，目前丹麥所生產的風力機約占全球市場的50%。



國內第一座商業化風力發電場：雲林麥寮風力發電示範系統。

### 四、台灣風力資源豐富

台灣位於最大陸塊與最大海洋交界處，明顯的東北季風與西南季風季節交替，具有豐富的天氣變化。加上台灣海峽兩側山脈形成「狹管」的地形效應，季風吹過時受到擠壓而加速，因此冬季風力相當強勁。依據工研院能資所與中央大學大氣物理所共同研究完成的風能分布圖顯示，台灣地區風力資源相當豐富，主要分布在台灣海峽、西部沿海

與澎湖離島等地區，年平均風速每秒可達 5~6 公尺以上，甚具開發潛力。主要的風能蘊藏區域包括：北部從桃園的大園到新屋沿海，新竹的新豐到香山一帶，苗栗的後龍至苑裡沿海一帶；整個中部沿海，自通宵、大甲、經梧棲、大肚，一直到彰濱及麥寮沿海一帶；南部的嘉南沿海及屏東墾丁等地也富風力潛能。由於西部沿海大多是農田、漁塭及防風林，地區廣闊可與農漁業共生利用，非常適合大規模風力發電的開發。

國內風能研發應用早在民國五十年就已開始，台電公司曾在澎湖白沙鄉設置一台 50 瓩級風力發電機進行試驗。而工研院能資所也在民國七十一至七十九年間進行長期而系統性的風能研究，除了分區完成台灣地區的風能潛力評估，並在新竹湖口風力試驗場陸續完成 4 瓩、40 瓩、150 瓩三型風力發電機的開發。可惜因當時油電價格偏低且風力發電成本仍高，缺乏市場機緣而中止研發，國內風能應用因此未能有進一步的發展。



國內第一座設置於離島的風力發電場：澎湖中屯風力發電示範系統。



國內第一座千瓩級的風力發電機：竹北春風風力發電示範系統。

## 五、政府獎勵，帶動設置風潮

風力發電在中斷近十年後，相較於國外之蓬勃發展而國內卻遲遲未能展開，政府為加速推動國內風力發電應用，參考國外成功的經驗，於八十九年初發布施行「風力發電示範系統設置補助辦法」提供設備補助，獎勵民間投入設置風力發電示範系統。工研院能資所配合執行「風力示範推廣計畫」，技術輔導民間設置風力發電系統，以建立國內運維技術經驗，促進民眾對淨潔風力能源的瞭解，營造推廣應用環境；同時配合發展風場評估模式，完成台灣地區風力潛能分布圖，並進行陸域及海域可用風力發電場址評選規劃，為進一步開發風力發電利用鋪路。在工研院能資所的協助輔導下，目前完成共 8,540 瓩之裝置容量，包括雲林麥寮 2,640 瓩、澎湖中屯 2,400 瓩以及竹北春風 3,500 瓩等三座風力發電示範系統。

四年多來在經濟部能源局與工研院能資所的努力下，透過資源勘查、技術輔導、示範補助與宣導推廣，已初步達成推廣成果並帶動國內風力發電應用的風潮。目前已有民間業者與台電公司等正積極規劃在台灣西海岸大規模開發風力發電。台電公司已擬定「風力發電十年發展計畫」，規劃在民國一百年前設置至少 200 部風力機組，總裝置容量達 30 萬瓩以上。台電第一期計畫將裝設 60 部共 10 萬瓩的風力發電機組，預計在九十四年底可全部完工商轉；而多家民間廠商亦積極規劃在桃竹苗、中彰、雲嘉南及屏東濱海地區大規模開發。在未來的五年內，台灣西海岸將可看見一座又一座的風力機迎風運轉，生產乾淨的綠色能源。

## 第五章 生質能之現況與未來發展

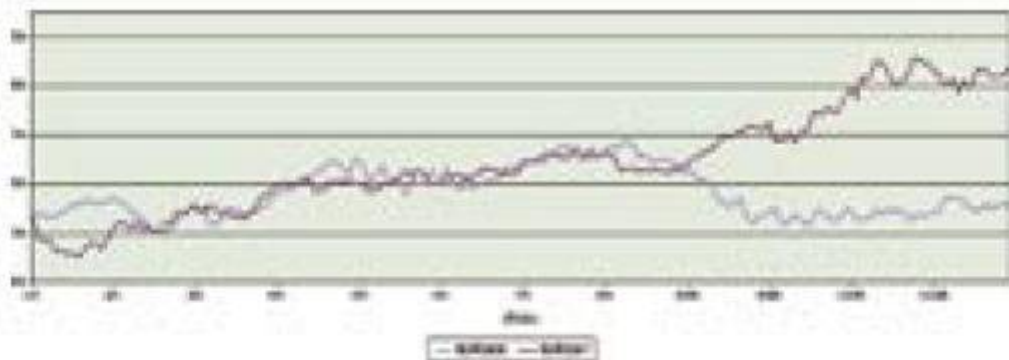
資料來源：蔡詩珊，淺談生質能，綠基會通訊，p. 12-15，2008 年 10 月。

近年來由於二氧化碳等會造成溫室效應的氣體排放遽增，引起全球暖化現象，使得熱污染問題廣受重視，於是如何尋求新且潔淨的生質能（biomass energy）以供未來使用，乃成為一個重要的議題。根據國際能源總署的統計，目前生質能是全球第四大能源，僅次於石油、煤及天然氣。生質能供應全球約 14% 的初級能源需求，也提供了開發中國家 35% 的能源，是目前最廣泛使用的再生能源。

生質能就是利用生質作物經轉換所獲得的電與熱等可用的能源。生質作物則泛指由生物產生的有機物質，例如木材與林業廢棄物如木屑等；農作物與農業廢棄物如黃豆莢、玉米穗軸、稻殼、蔗渣等；畜牧業廢棄物如動物屍體；廢水處理所產生的沼氣；都市垃圾與垃圾掩埋場與下水道污泥處理廠所產生的沼氣；工業有機廢棄物如有機污泥、廢塑橡膠、廢紙、造紙黑液等。

生質能與風能、太陽能一樣，是一種再生能源。與其他再生能源比較，生質能的優勢包括技術較成熟、有商業化運轉能力、經濟效益較高、且因使用材料為廢棄物，故兼具廢棄物的回收處理與能源生產的雙重效益。而且，生質能可併用在傳統能源供應的架構中，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等，實務上已可直接商業化應用的再生能源。

近年來面臨高油價時代的來臨，國際原油不再是便宜的能源，每桶價格維持在 115 美元以上（見圖 1 杜拜每桶原油價格 2006-2007 年趨勢圖），並且當全球環境趨勢朝向更永續的生產方法、廢棄物減量、降低汽車污染、原始林保育、分散式發電及溫室氣體排放減量時，現代生質能在此環境及社會原動力上，扮演了一個重要角色。



資源來源：經濟部能源局

圖1 杜拜2006年及2007年同期價格比較趨勢圖(美元/桶)

在已開發國家及開發中國家均可利用生質能產生具環境友善之電能，其僅產生極微量溫室氣體甚至不排放溫室氣體。目前其環境效益及經濟分析均已相當清楚，而其社會效益部分，則尚需進一步瞭解。

使用生質能的經濟效益，與使用煤、天然氣或石油等較便宜的能源相比，並不特別明顯。在全球再生能源的推動上，例如能源作物、運輸工具用的生質燃料、小型分散式發電廠等，均尚需政府獎勵補助。而生質能計畫範圍相當廣，從簡易的露天燃燒，到具商業運轉可產生 10 萬瓩熱及電能的發電廠的有機廢棄物的生物發酵步驟均是，而藉由各項技術，可將生質能轉換為有用能源。

目前已開發之生質能轉換技術包括氣化技術 (gasification)、熱分解技術 (pyrolysis)、木質纖維素 (ligno-cellulose) 水解技術等，利用這些改良的生質能轉換技術，可解決部分有關環境衝擊的問題。未來只要確保這些技術可行，且開發中國家可負擔得起這些技術成本，即可提供一個更健康、更舒適的生活環境。近期商業化的生質能技術發展，以朝向森林工業為重，包括生質能汽電共生、燃煤鍋爐的輔助燃料及所謂的生質能氣化燃燒循環機組 (Biomass Gasification Combined Cycle units) 等。將好的技術與具社會經濟的潛力，加上具輔助燃料的可能性，即可提供最低風險與最低成本的產品。所有案例均顯示，隨著計畫的執行，總投資成本持續下降。例如：投資一座利用木材直接高壓氣化燃燒循環產生 2 萬至 3 萬瓩的能源廠，5 年前投資額為美金 2,000 元/瓩，到 2030 年時，可降至美金 1,100 元/瓩；營運費用 (包括燃料費) 由美金 3.98 分/度電降到 3.12 分/度電。

以往能源計畫主要基於投資的經濟報酬率，而今，許多能源公司在考量三底線 (triple bottom line) 原則下，開始注重社會與環境議題。生質能的環境效益，除了降低溫室氣體排放外，尚包括降低污染物的排放、善加利用有限的資源、改善生物多樣性及保護自然棲息地與地貌。此外，降低廢棄物進行掩埋處理的需求，亦為生質能的另一項效益。

投資再生能源技術可創造工作機會、改善社會福利，對整體經濟具相當效益。就社會面而言，生質能計畫提供了新的工作、技術傳遞、引進新的技術、提供新的教育與訓練機會，同時也降低了都市的聚集性。對於亟欲保存其文化特色的原住民或土著而言，使用小型分散式的生質能發電，更具意義，其保有了獨立與自尊的感覺。

就長期來看，永續發展與氣候變遷息息相關，目前大氣中溫室氣體濃度遽增（圖2），全球平均氣溫上升（圖3），要達永續發展主要關鍵在於發展新的、小型的、分散式發電，例如發展燃料電池、微渦輪發電機及使用於生質柴油的內燃機等。雖然整合生質能發電技術與其他分散式能源，可提升發電技術，然而對環境衝擊的效益而言，假如處置不當，反而不夠明顯。例如設計不良的小型木材氣化廠，假如處理不當，會導致致癌物的產生。就整體而言，小型生質能深具成為分散式發電系統的燃料潛力，同時也可能成為綠色氫能的主要來源。

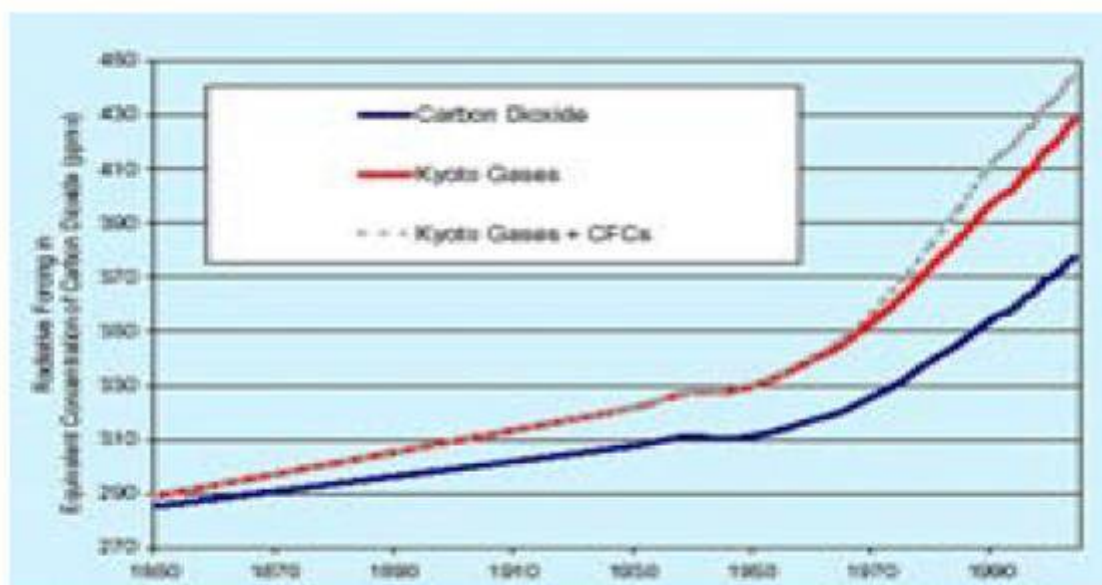


圖2 大氣中溫室氣體濃度遽增

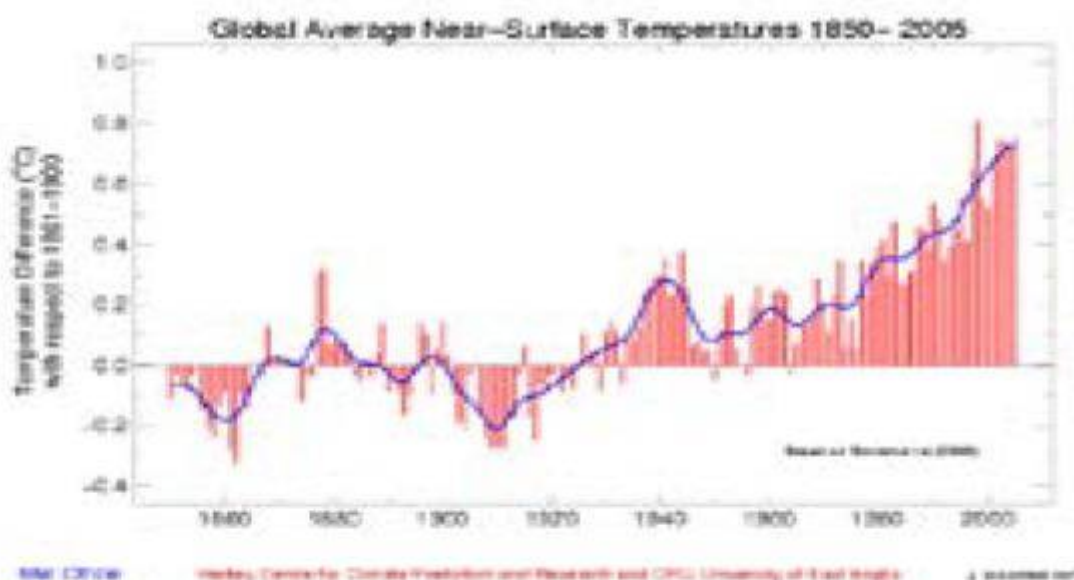


圖3 全球平均氣溫上升

在廢棄物轉換為能源的計畫中，利用有機廢棄物做為生質能來源，則毋需再負擔這些有機廢棄物的處理處置費用，例如廢棄物掩埋場的沼氣計畫、汽電共生廠計畫等都是現有的案例。然而農場或鄉村區的動物廢棄物轉換為能源的過程，則受其處理方法與氣體產生的規模大小的影響。由現有的商轉案例發現，當產製生質能廢棄物時，其收集、

運送至集中處理廠的費用非常高。

由於目前生質能商轉的風險仍然相當高，因此，不管是種植短期輪作作物以生產運輸用生質柴油、或設置小型分散式生質發電設施，均需政府的補助，以提供足夠的獎勵誘因，鼓勵投資者設置。未來一旦燃料電池技術發展純熟及商業化時，無疑的，生質能將是氫能的來源，其發展亦將無可限量。

為解決上述問題，可分為幾方面來進行。在技術研發方面，政府協助其進入環保科技園區進行研發工作，藉由政府與技術研發公司合作，採用產業升級條例模式，使此技術獲致進一步發展。在市場健全方面，發展出來的技術再採用技術移轉方式，大量化生產模具設備來建立其市場供應面。而在市場需求面，透過政府的行政管制與經濟誘因並行，先在農業縣市推展，除推動其回收機制外，並加強回收補貼措施，妥善規劃清運系統及路線，使廢棄物產生者願意配合，如此市場供需建立，將可有效解決生質能轉換技術實際運用之困難。而此技術一旦運轉成熟，有大部分之生物性廢棄物將被回收再利用，對垃圾的減量將大有助益。

### 一、生質能的基本介紹

**Biomass 生物質量：**指各種有機體的整體質量，亦即陽光經由光合作用以化學能的形式貯存於生物體中的一種能量形式，包括了木材與林業廢棄物(如木屑)、農作物與農業廢棄物(如黃豆、玉米、穀稻、蔗渣等)、畜牧業廢棄物(如動物屍體)、廢水處理廠所產生的沼氣、都市垃圾及垃圾掩埋場與下水道污泥處理廠所產生的沼氣、工業有機廢棄物(如有機污泥、廢塑橡膠、廢紙等)。

**Biomass energy 生質能：**多元化生物所產生的有機物質，經由物理、化學、生物的科學技術，以產生熱、電、機械作功等能量為我們所使用。也就是說生物質量透過不同的轉換程序變成可供人類使用的能源，也就是所謂的生質能。我國「再生能源發展條例(草案)」，生質能定義為「國內農林植物、沼氣、一般廢棄物與一般事業廢棄物等直接或經處理所產生之能源」。其他定義如下：

表1 生質的其他定義

Australia	IEA
Biomass	國際能源總署(IEA) 再生能源之分類
Biomass is organic matter that can be used to produce electricity and supply heat and fuel. Biomass comes in different forms such as bagasse (the waste plant fibre left after the juice is removed from sugarcane); green waste (the tree clippings from gardens, parks or plantations); food processing waste (such as nut shells and grain husks, fruit and vegetable peel and other waste from canneries); and vegetable oils.	-Hydro -Geothermal -Wind -Solar Photovoltaics -Solar Thermal -Tide/Wave/Ocean -Solid Biomass -Renewable MSW -Gas from Biomass -Non-Renewable MSW & Industrial Waste -Non-Specified Combustible Renewable & wastes

### 二、生質能基本原理

生質能(biomass energy 或 bio-energy)基本原理，是利用陽光與 CO<sub>2</sub>，進行光合作用促進植物生長，再作為燃料，因此歸類為再生能源，沒有增加 CO<sub>2</sub> 淨排放。所以生質能基本上是生物質量轉變後能供人類能源使用的應用，無法直接利用生物質量，而生質能則是可被人類直接使用的能源之一，如同石油、煤等。故轉換技術將影響生質能可利用的多寡及效率。

### 三、生物質量的來源

#### 1. 生質作物

表2 生質作物能源種類

能源種類		生質酒精									生質柴油				
生質作物	主要組成	糖質		澱粉				纖維及其它			脂質				
	種類	甘蔗	甜菜	甘藷	稻米	甜高粱	玉米	木薯	蔗渣	乾草	木材	海藻	油菜籽	大豆	向日葵

#### 2. 廢棄物

林業廢棄物，如木屑。

農業廢棄物，如稻桿、蔗渣。

動物廢棄物，如動物屍體或排洩物。

固體垃圾 (Municipal Solid Waste, MSW)

工業有機廢棄物，如有機污泥、廢塑橡膠。

### 四、生質能優缺點

表3 生質能優缺點

優點	缺點
<p>料源豐富。</p> <p>提供低硫燃料，降低空氣汙染。</p> <p>在某些條件下提供廉價能源。</p> <p>可減少環境公害，如垃圾等。</p> <p>與其他新能源相較，技術難題較少。</p>	<p>植物僅能將極少量之太陽能轉化成生物質量。</p> <p>單位土地面積之生質能密度偏低。</p> <p>易受環境限制，缺乏適合栽種的土地。</p> <p>土地資源有限。</p> <p>生物質量之水分偏多(50%-95%)。</p> <p>生產能量不及化石能量。</p>

### 五、結論

面臨高油價時代，國際原油不再是便宜的能源，世界各國尋求替代性能源的急迫性也與日俱增。尤其對於仰賴能源進口的台灣而言，過去因應高漲的環保意識，導致台灣政府的能源政策以非核家園為主軸，故在核能發電無法提升比重的情況之下，只能依賴燃煤、燃油發電供應國內所需電力。在油價上漲帶動原物料價格飆漲的牽動之下，無論是使用燃煤或是燃油技術發電，都已經面臨極大的原料成本上漲壓力。然而從產業面來看，台灣雖然有連貫性的基礎石化產業，及高科技的精密電子產業，但是長期以來，卻鮮少有機電廠商願意投入基礎的電力設備建設，導致台灣多數的電力設備仍由國外廠商



所供應，因而能源供應亦經常受限於國外環境。

雖然國內的再生能源發展較國外晚，1980年代起我國政府也投入許多經費支持研發，不過因為石油危機過後能源價格開始降低，所以當時成本高昂的再生能源，並未受到以出口經濟為主的台灣社會所青睞。台灣貿易是以製造業外銷出口為導向，壓低能源價格以降低製造業成本，向來是政府對於能源長期規劃的目標。面對近年來能源價格持續性上漲，我國如果繼續採取壓低原料成本，作為未來在國際上的競爭策略，終將成為台灣產業將來發展的不利因素，而能源及電力價格在長期的政策扭曲下，亦不利產業節能技術的提升，更無法刺激非傳統化石能源的發展。

國際上對環境議題日漸重視，因應已生效之京都議定書配合溫室氣體減量政策，台灣雖非締約國也非附件中之國家，但國內有效的控制溫室氣體排放也可以為國際環保活動貢獻一己之力。

## 第六章 廢棄物產生之能源與應用

資料來源：萬皓鵬及李宏台，科學發展，第450期，p. 34-43，2010年6月。

在倡議節能減碳的今天，採用高效率的氣泡式流體化床鍋爐，並以廢棄物為燃料，是可同時達到節能、環保、經濟等多重目標的重要做法之一。

### 一、廢棄物與能源利用

現代人每天生活中或多或少都會產生廢棄物，廢棄物的資源回收就成為相當重要的工作。環保署的資料顯示，由民國92年至97年的垃圾清運量和垃圾組成特性分析結果，發現垃圾中可回收再利用物質的數量有大幅減少的趨勢，如紙類減少22.7%、廚餘類減少46.9%、塑膠類減少29.9%。全國垃圾回收率也由民國92年的19.7%，提升至97年的43.2%。可見我國垃圾強制分類和資源回收工作，已獲得民眾普遍配合且成效卓著。

然而，垃圾中有很多不適合回收但又具有熱能應用價值的物質，如不適合回收的紙製衛生用品、非公告回收的塑膠項目、行道樹樹枝，甚至農業廢棄物（如稻稈、果樹殘枝）、工業廢棄物（如紙廠散漿廢棄物、廢泡棉），必須以能源和環保角度思考最佳的加值化技術和處理方法，以達到廢棄物穩定化和高效率能源應用的目的。

廢棄物能源利用兼具替代化石能源和廢棄物處理的雙重優點。廢棄物若沒有良好的應用或處理，會對環境產生相當大的危害和影響，例如露天燃燒產生空氣汙染、生質垃圾掩埋和森林廢木腐壞逐漸產生沼氣，進而造成火災或溫室效應加劇等。因此，廢棄物能源是所有再生能源中，唯一若不積極使用會造成環境直接衝擊的能源。

廢棄物衍生燃料（refuse derived fuel, RDF）技術是把廢棄物，包括都市垃圾、一般事業廢棄物、農業廢棄物等，利用物理或熱化學等方法，轉製為性質均一燃料的技術。依據處理程序的不同，RDF可分為7類，即RDF-1至RDF-7。隨著處理程序的提升，所產生的RDF燃料等級越高，代表能得到的熱能回收也越高、汙染也越低。

一般而言，把廢棄物送入焚化爐焚化並做熱能回收，是屬於RDF-1的應用，以發電效率而言，約10~20%。隨著分選、破碎、乾燥等物理程序的增加，廢棄物中不可燃或不適燃的物質逐漸減少，性質逐漸均一，最後壓製為固態的燃料棒，廢棄物就由RDF-1提升品質至RDF-5（稱為「第五類廢棄物衍生燃料」）。

廢棄物應以資源回收再利用為主要處理方向，不可回收再利用的廢棄物，則應以積極態度進行高效率熱能回收應用。



RDF = Refuse Derived Fuel 廢棄物衍生燃料

等級	燃料特性或主要產物	主要應用
RDF-7	氣化反應：缺氧反應，產物以合成燃氣為主（H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> 等）。	氣化複循環發電（IGCC）、氣化騰合成汽、柴油或化學品。
RDF-6	裂解反應：無氧加熱，產物以合成燃油等液態燃料為主。	燃油鍋爐、柴油發電機燃料。裂解油品改質後具進入化石煉油廠煉製汽、柴油潛力。
RDF-5	物理製程：粉碎、乾燥、篩選、摻配、造粒等，產物是固態棒狀或錠狀燃料。	用於固體燃料鍋爐取代煤炭，或與煤炭混燒。
RDF-4	垃圾去除金屬、玻璃及其他無機物後製成的燃料，95%重量通過2英寸角篩。	焚化爐廢熱鍋爐、鍋爐中與煤炭混燒。
RDF-3	前處理成薄片狀或不屑狀的可燃廢棄物（95%重量能通過10號篩）。	焚化爐廢熱鍋爐、鍋爐中與煤炭混燒。
RDF-2	粗破碎前處理成一定粒徑範圍的廢棄物。	焚化爐焚化，廢熱發電或熱利用。
RDF-1	一般都市垃圾、一般事業廢棄物、農工商廢棄物等。	焚化爐焚化，廢熱發電或熱利用。

燃料等級

高

低

RDF-1 < 10~20%

RDF-7 (IGCC) > 35%

廢棄物衍生燃料發電效率

廢棄物衍生燃料分類、發電效率及主要應用。

廢棄物衍生燃料技術，是採用物理或化學程序，把廢棄物轉製為低汙染、高能源效率燃料的技術。

透過無氧中溫（約攝氏 300~500 度）的加熱裂解技術，把廢棄物轉製為油品，稱為 RDF-6。透過高溫（約攝氏 800~900 度）部分氧化的氣化技術，把廢棄物轉製為合成燃氣（如氫氣、一氧化碳、甲烷等），則稱為 RDF-7。

簡言之，如果把一般家戶所收集到的垃圾不經分類（RDF-1）直接送入焚化爐中燃燒，可以回收的電能效率會小於 20%。反之，若經過衍生燃料技術的轉換，垃圾廢棄物提供的可用能源，能使發電效率達到 30% 以上。

## 二、第五類廢棄物衍生燃料

「第五類廢棄物衍生燃料」（RDF-5），是藉由破碎、分選、乾燥、摻配、造粒等

程序，把廢棄物轉化成性質均一且容易儲運的固體燃料。一般垃圾經過轉化變為 RDF-5 後，在使用上較一般生垃圾具有：燃料尺寸、大小、形狀和性質較為均一，含水率低，熱值高（約為煤炭的 2/3 以上）、容易儲存和運輸、燃燒產生的污染低、燃燒效率高等優點。

我國 RDF-5 技術的發展，主要是由工業技術研究院（工研院）主導，自 1999 年起，在經濟部能源局委託下，發展以都市垃圾和一般事業廢棄物為原料的製造和應用技術。RDF-5 製造技術的發展重點，在於以處理成本低、能源投入少和燃燒二次污染排放少的方式，開發把各種廢棄物製成高品質 RDF-5 的製程。

2001 年，經濟部能源局和工研院完成 200 kg/hr 處理量的 RDF-5 先導實驗廠，並在花蓮縣豐濱鄉建造一座以都市廢棄物為原料，處理量 1,000 kg/hr 的 RDF-5 製造示範工廠，2004 年 6 月正式運轉。至 2009 年為止，工研院 RDF-5 技術已成功進行 6 家次的專利和一般技術授權，協助廠商設置了 4 座 RDF-5 製造廠。目前台灣地區總 RDF-5 產能一年近 18 萬公噸，所產生的燃料提供汽電共生鍋爐、蒸氣鍋爐做為替代煤炭使用。

目前 RDF-5 雖然已屬於一般燃料，但它的組成畢竟是由廢棄物而來，因此 RDF-5 燃料的應用技術是廢棄物衍生燃料應用是否成功的關鍵。在 RDF-5 應用技術方面，主要考量包括廢棄物經過篩選、重組之後，燃燒效率是否提升，污染物生成和排放是否降低，對於原有燃燒系統是否造成不穩定等。

工研院已分別在不同形式的多座鍋爐進行 RDF-5 與煤炭混燒和全燃燒的測試，也成功開發了一座 RDF-5 中小型氣泡式流體化床鍋爐。綜合測試結果顯示，既設鍋爐若不經修改，約可採用 30% 以下的 RDF-5 和煤炭混燒；若針對 RDF-5 設計的鍋爐，則可達到 100% 的燃燒，同時可達到系統穩定、各項污染物排放都符合環保法規所訂的標準。

### 三、RDF-5 的特性

RDF-5 主要由農林、工業或都市廢棄物，經過適當的處理後所製成。換言之，一般生質物或廢棄物的基本化學性質仍然存在，但可藉由不同的分離程序，使 RDF-5 成分中不適燃或不可燃的物質減少。

一般而言，RDF-5 具有以下特性，而這些特性會影響應用系統（如氣泡式流體化床鍋爐）和周邊設施的設計。



工業技術研究院由不同廢棄物所製作的 RDF-5



花蓮縣豐濱鄉都市垃圾RDF-5再生燃料示範廠

### 1. 外觀與物性

廢棄物經分離、壓縮、乾燥後製造成為 RDF-5，較原料源形狀更均一、更緊密，可節省運送成本，且較容易進料和運輸。RDF-5 成品一般是以卡車運輸，運輸過程須避免雨水淋溼使其受潮變質。

在 RDF-5 製造量少的情況下，可用太空包袋裝，並以堆高機堆成數層保管。但在 RDF-5 生產量大的情形下，儲存於儲藏槽中會比較適宜。若 RDF-5 製造廠位於使用廠附近，也可直接由製造廠輸送至使用廠。

對製造業而言，使用本身所產生的廢棄物製作第五類廢棄物衍生燃料，可節省廢棄物處理費及化石燃料的使用，達到廢棄物「零排出」的目標。

近年來生質能源和廢棄物能源利用逐漸受到重視，開發適用於新燃料且能達到高效率、低污染的燃燒系統，就成為積極研發的目標。



以太空包包裝RDF-5



工廠生產RDF-5後輸送至儲存槽，再透過輸送系統送至汽電共生鍋爐使用。圖片上方輸送帶是把製造廠製造的RDF-5運送至儲槽。下方則由儲槽透過輸送帶，把RDF-5直接運送至氣泡式流體化床汽電共生鍋爐做為燃料使用。

## 2. 分解腐敗性

RDF-5 是經乾燥處理的廢棄物，依據日本 TR 規範，含水率要求在 10% 以下。此外，為了避免 RDF-5 受到微生物的作用而腐敗（尤其是含有廚餘的都市垃圾製成的 RDF-5），除需注意儲存處須乾燥外，一般會在製程中添加石灰石或消石灰。石灰石或消石灰的添加主要是防腐敗，在燃燒過程中也可做為脫硫或脫氯的反應物。

## 3. 燃料熱值與特性

RDF-5 具有較原料源更均一、安定的燃燒特性，可單獨或和煤炭、木屑等混合燃燒。一般家庭垃圾製成的 RDF-5 的熱值約 4,000~5,000 kcal/kg，一般事業廢棄物所製造的 RDF-5 的熱值可高達 6,500 kcal/kg，相當於褐煤的熱值。RDF-5 的形狀和發熱量與煤炭、木屑類似，又都是固體燃料，因此比較容易混合燃燒。惟因 RDF-5 的組成中，揮發物的比率遠比煤炭高，因此燃燒速率較煤炭快，會左右 RDF-5 在鍋爐中燃燒的機制和溫度分布。

## 4. 燃燒污染物的控制

製作加工 RDF-5 燃料時，可添加消石灰等做為脫氯劑，在燃燒時會抑制硫、氯系氣體產生，因此所產生的廢氣安定，容易控制。然而，石灰添加量過多會降低發熱量和增加灰渣。此外，RDF-5 畢竟是用在燃燒程序中，因此燃燒機組後端適當的空氣污染防治設備，仍是不可或缺的組件。

## 5. 燃燒應用特性

RDF-5 和石油、天然氣等比較，在搬運、保管、供給等處理上較複雜，但和煤炭等燃料比較，又較為簡單。使用 RDF-5 必須有固體燃料燃燒用的鍋爐，如爐格式燃燒爐、流體化床式燃燒爐等。此外，適當的空氣污染防治設備和灰渣的妥善處理，是非常重要的

的要求。

#### 四、氣泡式流體化床鍋爐

傳統的鍋爐多採用化石燃料，如煤炭、重油、柴油、天然氣、液化石油氣等。一般而言，傳統鍋爐的燃料性質均一，燃燒效率高，且應用技術成熟。近年來生質能源和廢棄物能源利用逐漸受到重視，開發適用於新燃料且能達到高效率、低污染的燃燒系統，就成為積極研發的目標。



工研院所開發的RDF-5氣泡式流體化床蒸氣鍋爐，最大蒸氣產量是6公噸/時。

氣泡式流體化床鍋爐（bubbling fluidized bed boiler, BFBB），主要是以氣泡式流體化床燃燒爐結合水管鍋爐結構所組成。氣泡式流體化床水管鍋爐，主要結構及目的為：(1).風箱：用以蓄積流體化／燃燒用空氣的壓力，以達成使砂床流體化的目的。(2).氣體分布器：商業化系統多布設數十、甚至數百個噴嘴，使風箱氣體均勻分布於砂床中，以使其流體化。(3).流體化床：一般以矽砂做為床質，其主要優點在於低成本、耐磨等。固定碳及部分揮發分，在此處透過氣體分布器所產生的氣泡與氣體混合進行燃燒。為達控溫目的，這一區常裝設噴水裝置或熱傳管。(4).乾舷區：位於流體化床上方，揮發性物質主要在這裡燃燒，大部分燃料在離開乾舷區前燃盡，因此常在乾舷區供應分段燃燒的空氣，這一區並含有部分被淘汰（elutriation）的砂子。一般氣泡式流體化床水管鍋爐於乾舷區末端區域，常會設置水管牆，以吸收流體化床及乾舷區的輻射熱。(5).燃盡氣體出口：位於乾舷區末端，主要目的是排出燃燒後產生的煙道氣，其設計需兼顧防止粒

子洩失。(6).對流熱傳區：這裡布設一定熱傳面積的水管，主要目的在以對流及傳導方式吸收煙道氣中的熱量。(7).其他部分：包括循環鍋爐水的水鼓、氣鼓；燃燒系統、公用設備（風機、泵浦）、自動控制設備等。

針對 RDF-5 燃料的物理和化學特性，在設計和操作氣泡式流體化床鍋爐時，必須有以下的考量：

### 1. 燃燒機制的改變和調整

依據燃料成分分析的結果，RDF-5 的揮發分遠高於煤炭，因此當燃燒 RDF-5 時，主要以揮發分燃燒為主。根據試驗結果，燃燒 RDF-5 時，揮發分受熱後會在進料點附近大量釋出。這時若氧氣含量充足，會使得燃燒的火焰大部分集中在進料進入爐室區，燃料的燃燒快速，因此高溫區集中在進料附近，若空氣分配不佳，容易形成局部高溫。

反之，當煤炭燃燒時，因環境溫度的上升，會先開始乾燥（水分脫除），然後進行裂解（揮發分揮發）和燃燒。當揮發分燃燒後，固定碳再緩慢燃燒，因此底部空氣的分布是左右燃燒是否完全的關鍵因素。

在既有的固體燃料鍋爐中，如要改用 RDF-5，就必須針對燃燒控制做適當的調整，包括空氣的調整、燃燒速率的調整、進料模式等，如此才能有效率地使用 RDF-5 燃料。

### 2. 溫度的控制

一般而言，當含高揮發分的燃料進入流體化床的砂床內時，會迅速釋放揮發物，且和氧氣反應，進而燃燒放熱。因此，氣泡式流體化床的空氣配比（一次空氣／二次空氣／三次空氣等）就變得相當重要。

以氣泡式流體化床燃燒來說，在特定砂床粒徑和比重下，為達到良好的流體化，空床氣速必須達到一定的大小。但過多的一次空量會提供燃料充足的燃燒氧，進而使大部分的燃料在床內燃燒而釋放熱量，這時極有可能使砂床溫度過高（>攝氏 950 度）。若燃料以生質物或廢棄物為主，往往含有較多的低熔點的鹼金屬或鹼土金屬，砂床溫度過高容易造成砂床結渣，進而使得系統停機。

為避免氣泡式流體化床在燃燒 RDF-5 等高揮發分含量的生質物時，可能造成床砂溫度過高的危險，一般可採用床內設置熱傳管以移除過多的熱量。熱傳管的形式包括盤管型、水平管型及垂直管型，另外又可分為固定式、移動式等，可依不同設計者的理念而定。

床內熱傳管設計所需考量的因素，有熱傳面積、結合鍋爐汽水鼓的水／汽輸送設計、砂床內磨蝕、溫度結構等。傳熱管的面積多寡須視操作範圍、燃料特性等多項因素決定，以工研院所開發的 RDF-5 氣泡式流體化床鍋爐為例，燃燒以廢紙排渣所製作的 RDF-5 時，床內釋熱量約占總釋熱量的 55%。在了解床內釋熱量後，便可計算所需的傳熱面積，進而設計傳熱管。

### 3. 氣體分布器的設計

氣體分布器是流體化床設計的關鍵，主要功能是使床砂混合均勻。專業書籍對於氣體分布器雖有原則性的設計準則，但必須經過實際測試和驗證後，才能達到最佳化的設計。

氣體分布器由數根鼓風口所組成，其設計的主要考慮參數包括壓損（氣體分布器、砂床重量等）、流體化行為（氣泡性質、行為）、氣體速度（流體化行為）、床內熱傳（溫度）、材料和使用壽命等。而氣體分布器每支鼓風口的孔口大小和角度，是依所需

要的氣速設計的，主要考量因素包括單一鼓風口流體化範圍、磨蝕、漏砂、經濟成本等。鼓風口的數量和布設方式，則依據布氣經驗、排砂、流體化行為、熱傳行為、砂床周界行為等因素設定。

#### 4. 腐蝕與積灰

以廢棄物或 RDF-5 為燃料燃燒時，由於 RDF-5 中氯、硫或一些金屬類含量較一般傳統化石燃料高，燃燒後有可能生成氣態污染物（如氯化氫、硫氧化物等），而對原有系統（尤其是鍋爐的爐管）造成潛在的危機。

氣泡式流體化床鍋爐的燃料燃燒後的氣體溫度在攝氏 850~1,000 度左右，流經鍋爐內各階段的熱交換裝置（如過熱器、節熱器、空氣預熱器等），至煙囪排出大氣前的溫度約為攝氏 150~170 度，因此會對各項裝置產生不同的熱衝擊。

在攝氏 320~800 度高溫時，會對鍋爐爐管產生高溫腐蝕。高溫腐蝕主要包括金屬管材的硫化和氯化現象，發生原因是廢氣中的硫氧化物和金屬作用形成硫化鐵，或廢氣中的氯化氫和金屬作用形成氯化鐵，使金屬材料失去氧化保護層而腐蝕。此外，一些鹽類也是促成高溫腐蝕的重要因素。

一般工業用鍋爐火側的金屬設備，常由於進氣吸入鹽分和燃油中含有腐蝕性元素，經高溫燃燒後氧化生成低熔點產物，並以熔融顆粒形式黏附在管材表面上，促進金屬基材的高溫腐蝕，造成機件異常損壞。因此，在現有鍋爐中使用 RDF-5 時，須特別針對腐蝕防治做相關的調整與改善。

此外，因為 RDF-5 燃料的複雜性和灰分特性，燃燒後的灰分常易黏結在鍋爐耐火材料內壁上，或黏結在傳熱管管壁上。前者會造成氣流通道狹隘，使氣體流速加快，造成燃燒不完全或磨蝕現象；後者會造成傳熱效果不佳、腐蝕、氣體流道狹隘等問題。因此，適當的吹灰裝置的設置和使用時機，在燃燒 RDF-5 燃料時較使用煤炭時要求更高。流體化床是高效率的反應器，廣泛應用於不同領域。在燃燒領域方面，因高熱傳和質傳效率而廣被固體燃料燃燒的鍋爐系統所採用。廢棄物衍生燃料可把廢棄物轉製為低污染、高效率的再生燃料，結合氣泡式流體化床鍋爐的高效率燃燒，為廢棄物和生質能源的應用開創嶄新的一頁。

## 第七章 再生能源與新能源未來之發展

資料來源：蔡信行，科學發展，第 365 期，p.62-67，2003 年 5 月。

目前地球上的化石燃料存量，石油可再用 40 年，天然氣 60 年，而煤炭可用兩百年，這些從幾億年前埋藏在地底下的動、植物所形成的化石燃料，終有用罄的一天，屆時我們將用什麼來作為能源？

### 一、替代燃料及再生能源

所謂替代燃料，指的是可替代傳統化石燃料的燃料，一般指壓縮天然氣、液化天然氣、液化石油氣、甲醇、乙醇、生質柴油、氫氣及 P-系列燃料。而所謂再生能源，是指可再生或新生的能源，如水力、風力、太陽光能及熱能、潮汐、生質能（垃圾、能源作物、森林等）。



何謂 P-系列燃料？美國能源部在能源政策法案中，在一九九八年七月又新增了三種替代燃料。這三種燃料都是乙醇、甲基四氫化口夫喃（MTHF）和戊烷的摻配物，如果在極冷地區要使引擎有冷啟動性能時，就要添加丁烷。這些燃料被它們的開發者，純能源公司稱之為 P-系列燃料。使用這一類燃料可享受到能源政策法案規定的使用替代燃料的優惠。

純能源公司所提出的 P-系列燃料的規範可以因市場的特別需要而變動，被美國能源部批准的品牌有三種，即純普通級、純高級、和純寒帶氣候級等。它們的容量組成為戊烷 10~50%、甲基四氫化口夫喃 15~55%、乙醇 25~55%、正丁烷 0~15%。其中乙醇和甲基四氫化口夫喃可自再生資源中製造，如含纖維素的生質體（廢紙、農業廢棄物、都市及工業木材廢棄物）加入濃酸進行水解。

目前甲基四氫化口夫喃是由糠醛來少量製造，以供特殊化學品或製程工業用。甲基四氫化口夫喃與酒精一樣，可擴大自玉米等農產品或廢棄物中製造出來。本文將帶領你認識這些污染較少的再生能源。

## 二、能源利用現況

萬物欣欣向榮，機器轉動不停，它們都需要一種東西來維持，這種東西就是能量。地球上大部分的能量均源自於太陽，經轉變後有的是存量有限，有些則可再生、循環使用。

早期生物活動的能量泉源靠的是食物，透過食物的攝取把它轉化成能量。隨著文明的進展，人類為改善生活而發明機械來替代人力，最早使用的動力能源是天然能源，如木材、煤炭、天然氣及石油等。自十九世紀的工業革命及二十世紀福特發明汽車之後，天然能源如煤炭、石油、天然氣、和鈾礦更被大量開採、運用。

然而自然資源有限，如果不能生生不息，終有耗盡的一天。依現今的估計，在各項初級能源中，石油可用 40 年，一般天然氣可用 60 年，煤炭可用兩百年，原子能的鈾可用七十多年。未雨綢繆，尋求資源的源源供給，並減少對環境的衝擊，尋找替代燃料及再生能源乃成為目前的當務之急。

我國於民國八十八年規劃的短、中、長程再生能源，包括了太陽熱能及光電能、小水力、風力能、地熱能、生物能（酒精汽油、生質柴油、能源作物、森林及生質氫能）及海洋溫差，另有廢棄物能源利用，包括農業廢棄物、工業廢棄物及都市廢棄物。希望到二〇二〇年，這些再生能源可達我國能源總供應量的 3%（日本到二〇一〇年將達 3.1%；英國目前僅為 0.25%，他們首相聲稱二〇一〇年將達 10%；丹麥到二〇一〇年為 17~19%，二〇三〇年為 35%）。雖然只是百分之三的比例，但要達成這個目標，仍需要各界努力配合才可以做到。

## 三、地球的永續發展

一九七二年六月聯合國在瑞典斯德哥爾摩舉行第一次「人類環境會議」，發表「人類環境宣言」，明示保護及改善環境是人類的責任，也是各國政府的義務，更應該共同採取行動。於此揭開了國際環保的序幕。一九八五年的維也納公約和一九八七年的「蒙特婁議定書」，是管制破壞臭氧層物質的國際性協定，這兩項協定已於一九九六年底，由 161 個締約國批准施行。一九九二年六月在巴西里約熱內盧舉行聯合國地球高峰會議，會中各國同意簽署減緩溫室效應的「氣候變化綱要公約」、保護地球物種的「生物多樣化公約」、保護地球森林的「森林原則」，提出「二十一世紀行動綱要」，並發表

「里約宣言」。

氣候變化綱要公約主要在管制導致溫室效應的氣體，如二氧化碳、甲烷、一氧化碳、五氟化硫、全氟碳化合物、氟氣碳化物等的排放。氣候變化綱要公約締約國，於一九九七年十二月在日本京都舉行第三屆會議，乃有管制溫室氣體排放量的「京都議定書」的研訂。

這些國際性的活動，其目的就在防止地球的溫暖化，減少全球二氧化碳的排放量。所以節省能源的使用，開發低污染性的能源，尋找替代燃料與再生能源，就成為各國政府施政的重要目標。

#### 四、世界能源供應的展望

我們所倚賴的傳統燃料——石油，地球上目前的蘊藏量約 2.2 兆桶，具開採經濟價值約 1 兆桶。畢竟這些資源是有限的，終有耗盡的時候，預估再過 40 年將無石油可用，或許比我們想像的速度還快，可能 10 年後，它的供給就不那麼容易了。所以從現在開始，我們必須積極尋找傳統燃料的替代品，絕對不能等到最後一滴石油用罄時，才採取行動。

可以取而代之的，有石油以外的碳氫化合物，如由天然氣、煤炭、或油砂轉製的液體油料，或者替代燃料如天然氣、再生能源、各種來源的氫氣等。每一種替代品都有它們特殊的產製流程、環保考量和經濟效益。隨著製程和技術的日新月異，再配合採用這類能源車輛的開發，這種更替的趨勢最慢在二〇四〇年前，最快可能在二〇一〇年前就會出現。此外，更替的速度，必須在傳統燃料還剩 50% 以前，就展現其可取代性。

除石油外，地球上的能源尚有非傳統的液體油料，一種由天然氣製造的液體燃料，可能達 17.2 兆桶油當量，煤炭資源約 46 兆桶油當量，而新近在極圈與海床下發現的甲烷水合物，其蘊藏量約有 137 兆桶油當量。如果可經濟地將前述幾種非傳統的化石能源開採出來，我們或可暫緩面臨能源枯竭的窘境。然而能源的開採對環境造成的影響，例如從油砂與油頁岩抽取原油需要開採大片礦區而破壞自然環境，處理這種原油並提升它的品質會產生固體及液體的殘渣、有害的重金屬、氣體排放物等，以及能源的使用所產生的溫室效應與空氣污染，都迫使我們必須積極地尋找更為環保的新能源。

#### 伍、未來的新能源

未來車用能源發展的重點之一，是燃料與電力混合能源。混合燃料車輛使用小巧且高效率的內燃機，並在加速時利用電池提供額外的動力。第一代的混合燃料電動車輛已經上市，美國及日本的汽車製造廠正在生產下一代的混合燃料概念車，預計在未來 10 年內將會有重大的進展。

過去十年來，燃料電池在技術方面已有很大的進步，今後交通、移動式或固定式的發電設備上，燃料電池的運用將會愈來愈普遍，這些系統在價格上具有相當大的競爭力，同時可減少發電對環境帶來的衝擊。不過在被大眾接受以前，燃料電池還須做得更小、更便宜。

未來的攜帶式電池將以鋰聚合體技術為基礎，其能源容量將可達目前市售電池的三倍。這項發展對於混合燃料電動車輛的開發極為重要，在手提電腦及手機上，消費者也會見到更好的電池。



以燃料電池為動力的燃料電池車。



以電力為動力的電動車。

利用生物來提煉燃料，將會隨著基因工程的研究而有革命性的發展，譬如可以種植快速生長的作物來製造酒精。種植此類作物猶如在種植汽油，一方面可以減少石油的進口，另一方面它不會增加大氣中二氧化碳的排放量。隨著 DNA 工程的進步，今後能源的生產將會像種植農作物一樣可行。

生質柴油是由植物油（如黃豆油與油菜子油）和醇類（最常見的為甲醇）反應而成的酯類，它常常被摻在柴油中供做重型車燃料之用，最常用的配方為 20% 生質柴油與 80% 的一般柴油。雖然生質柴油的性質與一般柴油的性質相仿，但燃燒產生的碳氫化合物、一氧化碳和懸浮微粒較少，同時可直接使用在一般的柴油引擎上。



家用太陽能熱水器。

攝於台大能源工程中心 / 通車校區學院  
台大黃帝新製成器



太陽熱能工業應用系統。

攝於台大能源工程中心 / 通車校區學院  
台大黃帝新製成器



現代式百萬瓦級風力發電機。

生質柴油的缺點則是排放的氮氧化物較多，價格也較貴。根據美國能源部的估計，生質柴油的生產成本約為一般柴油的三倍，所以技術還有待進一步的開發。

人類早就懂得利用太陽能，它是一種最理想的永續能源（只要太陽還在），但目前尚難有競爭性，主要是因為它很難經濟地大量獲取和儲存。然而專家們認為在未來 10 年內，太陽能的運用會有很大的進展，最近太陽電池效率（包括太陽光電池）的提高，

使得廣泛使用這種資源不再是夢想，譬如將太陽能用在建築物的暖氣和冷氣系統上。



麥寮風力發電示範系統實景。

目前地質學家已發現極圈海洋底下有豐富的天然氣晶體的蘊藏，如果可以開採這些蘊藏物，對於未來能源的供應將是一大助益。目前只有少數幾個國家的政府在做試探性的研究，尚未有商業上的開採，不過這種能源未來的潛力無窮。

風力很顯然是一種再生能源，被喻為乾淨的能源，不過也受到部分環保人士的反對。因為風力渦輪機在感覺上是工業產品，會破壞環境景觀而威脅到環境，也會減低土地的利用價值，而且渦輪機的轉動也會帶來噪音。

風力發電雖較環保，但發電基礎要件是，長年需達每秒5公尺以上的風速，但當風速超過每秒15公尺以上時，為保護風力機齒輪箱，也會暫停發電，所以風力過與不及都不適宜。

全世界風力發電首屈一指的丹麥，目前有五千六百多座風車，供應丹麥11%的電力；根據丹麥政府的說法，到二〇三〇年全國風力發電可提供該國一半電力。風力發電電價每瓩為四美分，與其他能源比較極具競爭力。

我國首座風力發電機組由台塑公司與經濟部能源委員會共同設立在麥寮工業區，於二〇〇〇年十二月二十七日啟用，有四座巨型風力發電機組，每座可發電660瓩，合計2,640瓩（大的火力發電廠發電量都在百萬瓩左右）。發電量雖不多，但運轉的數據和過程，可做為我國能源開發的重要參考。



使用乙醇為燃料的汽車。

駕馭海洋的動力一直是歐洲人的憧憬，直到一九九九年，這種願景才真正商業化。在蘇格蘭印福尼斯的應用研究及技術公司在愛爾蘭建造了一座二百萬瓦（2-Mw）的海浪渦輪機，另外附設了一座一百五十萬瓦（1.5Mw）的風力渦輪機，以提供商業運轉。



大屯地熱區與子坪地熱徵兆。



龜山嶺的地熱徵兆。

海浪發電的利益還在邊際之間，其發電技術較特別，適合於偏遠的海上油氣平台電力供給之用。為了進行這項計畫，在倫敦的英國婆羅乃石油財團購買了該國一家電廠19.73%的股份，以期利用海浪發電，在偏遠海上油田設立發電量達數百萬瓦（Mw）的電廠。

以上，是一些主要的再生能源，但是每一種能源都各有優劣，尚待能源工業界加以一一克服，以期達到更好的經濟效益。

#### 陸、能源與環保

在各種燃料中，其分子的氫／碳比例愈小者，燃燒後所排放之二氧化碳的量就愈多，亦即燃燒較重的油料及煤炭，就會排放較多的二氧化碳。舉例而言，天然氣中的甲烷，氫／碳比為4，液化石油氣的丙烷，氫／碳比為2.67，六碳的汽油為2.33，十六碳的柴油為2.125，二十碳的燃料油為2.10。由此可見，在化石燃料中，愈輕者燃燒愈乾淨。而替代能源當中，包含了天然氣、液化石油氣、甲醇、乙醇、核能、燃料電池、氫氣等，其排放的二氧化碳都比燒汽油來得少。

基本上大部分的能源都是利用太陽的光合作用經由動、植物轉化而來的，有的需要很長的時間才能形成，例如煤、石油及天然氣，是古代儲存下來的化石燃料；有的形成時間較短，如木材的長成，需要數年至數十年的時間。使用化石燃料或農林漁牧產品後會產生各種廢棄物，包括工業廢棄物及都市廢棄物，造成環境問題。如何將上述的廢棄物加以應用創造新的能源，實在是我們需要努力的方向之一。

### 七、我國的能源研究

近年來，我國致力研究的新能源，包括太陽熱能（如太陽能熱水器、烘乾機）、太陽光能、地熱能、風能、海洋能、燃料電池及生質能（如工業廢棄物及都市廢棄物），有些產品已走入我們生活中，有些則尚待加強其實用性，希望短時間內運用新能源的產品能大量應市。

依據工研院能源及資源研究所的研究，至二〇二〇年，在廢棄物能源發電方面，包括沼氣發電、沼氣燃燒、焚化發電、氣化發電及熱能利用，如我們全力以赴，將可獲得每年二百六十萬公秉油當量的能源，而太陽能熱水器及太陽光電池也可帶給我們每年八十萬公秉油當量的能源，對新能源的挹注有很大的貢獻。

依據我國能源管理法及台灣地區能源政策，為加強能源研究發展工作，特別設置

「能源研究發展基金」，並在能源管理法中規定基金用途，包括能源開發、節約能源的技術研究及人才培訓等。基金會設立的主要任務是，希望到民國一〇九年時累積節約能源達 28%，以及再生能源利用占總能源供應 3%的目標，適時提供各項技術支援。

## 第 8 章 微生物燃料電池

### 一、微生物燃料電池基本原理

微生物燃料電池 (microbial fuel cells, MFCs) 是藉由微生物的催化反應，將化學能 (燃料) 轉換為電能的組件 (Allen and Bennetto, 1993; Min and Logan, 2004; Lovley et al., 2004)。典型的微生物燃料電池是由陽極和陰極，以及一片質子交換膜所構成，微生物於陽極分解氧化燃料，並同時產生電子和質子，電子可經由外部電路到達陰極，而質子則通過質子交換膜到陰極，在陰極會消耗電子和質子與氧結合產生水 (Kim et al., 2003)。如下圖所示 (Scholz and Schronder, 2003)，這是以葡萄糖作為燃料，*Rhodoferrax ferrireducens* 做為催化氧化還原反應的微生物，可簡易說明微生物燃料電池的反應。

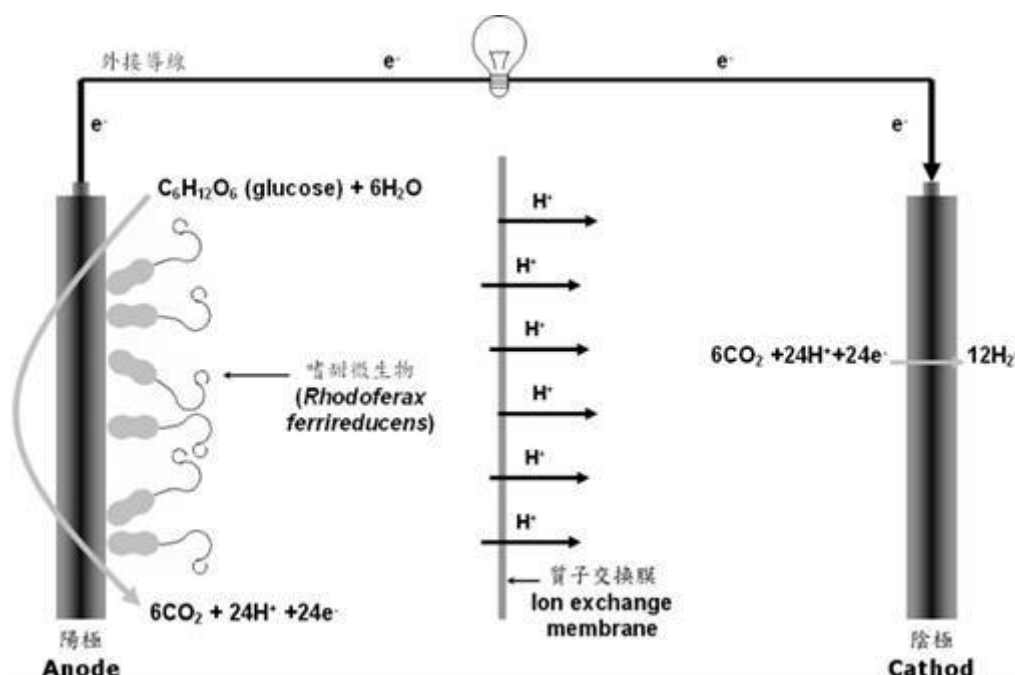


圖 2 微生物燃料電池示意圖

附著在電極上的微生物，對燃料電池而言，除了分解槽中的燃料外，傳遞電子到電極表面也為重要的功能之一。Chaudhuri and Lovley (2003) 發現附著在電極纖維上的嗜甜微生物 (*R. ferrireducens*) 的生物膜，不僅具有將電極表面作為終端電子接受者的細胞構造，也具有在細胞膜運輸電子與質子的功能，但這些機制的細節仍須加以研究，且細胞的附著性與細胞之間的訊息傳遞情形，對細胞生物學的領域而言，也是個重要但未知的學問 (Palmore, 2004)。

### 二、微生物燃料電池發展過程

1910 年，英國植物學家 Potter 發現，含有代謝作用微生物的燃料電池槽與另一含

有無菌鹽類溶液槽之間會有電位差，因此 Potter 便在這兩個槽之間加入電阻而獲得電流，由此證明微生物能產生電壓及傳送電流 (Potter, 1911)。1931 年，Cohen 重複 Potter 的概念，結果發現批次式的微生物燃料電池可產生超過 35 V 的電力 (Shukla et al., 2004)。直到 1960 年代，生物燃料電池才開始受到歡迎。當時美國太空總署 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 對於長期在太空飛行，且如何將有機廢棄物轉為電力的想法感到興趣，而海藻及細菌則是第一個應用在生物燃料電池上的微生物 (Shukla et al., 2004)。

Rohrback 等人 (1962) 第一次設計出生物燃料電池，這是以 *Clostridium butyricum* 作為微生物菌種來源，並利用葡萄糖發酵來產生氫氣。到 1963 年，生物燃料電池已可利用在商業上，主要運用在海上航行船隻的收音機、信號燈，及其他設備的電源。但這些燃料電池在商場上不算很成功，且不久就從市場上消失，這是由於技術的蓬勃發展，所以選擇太陽能作為太空飛行的能量來源，生物燃料電池也因此遭受短暫的挫敗 (Shukla et al., 2004)。

由於 1970~1980 年代出現的石油危機，生物燃料電池的發展才再次受到重視。在 1966 年，Williams (1966) 以稻米外殼作為生物燃料電池的燃料，可以產生 40 mA、6 V 的電力，這是由於稻米外殼為木質纖維素的潛能來源，因此經由發酵可產生很多有用的酵素與生物燃料 (如乙醇)，所以能應用於生物燃料電池。1986 年，Karube 等人 (1986) 以 *Anabaena* 為生物燃料電池的菌種來源，並使用磷酸做電解液，可以產生約 300 mA 的電流。較值得注意的是 Bennetto 及他的團隊，所研究的連續流式生物燃料電池，他們已經使用不同微生物及載具系統，開發及實驗展示改良的生物燃料電池，並發現載具可以提高電子轉移的效率以及反應的速率 (Bennetto et al., 1981; Thurston et al., 1985; Allen and Bennetto, 1993)。

最近，Chaudhuri and Lovely (2003) 研究指出，*R. ferrireducens* 菌種能在  $Fe^{3+}$  環境下，不需載具就可由葡萄糖的氧化反應來獲得電子，效率更高達 83%。對於微生物燃料電池的發展，開展了一個新的契機。目前，主要努力的目標在於改善生物燃料電池的效率，及微生物與電極間的有效路徑，以便也能提升電子轉換的效率。

### 三、電流如何產生？

若在缺氧環境下，電子傳遞鍊會因為沒有接收者而無法傳遞電子。由於細菌屬原核生物，其電子傳遞鍊位於細胞膜上，電子較易攜出。若釋出之電子能離開細胞膜並傳遞至電極板，再接通一條外部電路至有氧氣的陰極槽後，電子將經由陽極槽之負極板及外部電路及電阻 (或蓄電池或電氣設備) 而最終傳送至陰極槽之正極板，再還原陰極槽的氧。陽極槽內的質子則經由質子膜傳送至陰極槽，並與氧氣反應產生水。因此，電子流由負極經外部電路而傳至正極過程即形成電流。

### 四、電子如何傳遞至電極板？

#### 1. 不同菌種的質子與電子傳輸方式：

有關微生物體之電子與質子傳輸方面，乃藉由初級主動運輸 (Primary active transport) 進行電子傳遞系統運作，可能藉由呼吸能 (如好氧性及兼氣性微生物)、化學能 (ATP) (如厭氧性微生物) 及光能 (如光合性微生物) 之消耗將細胞內產生的質子排至細胞外，產生細胞膜內外質子濃度差，或稱為電勢差。

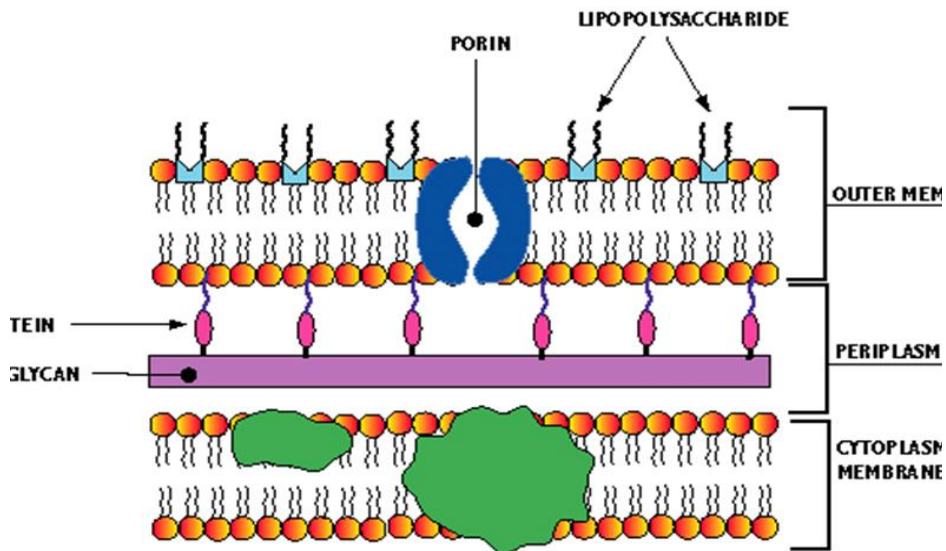
好氧性及兼氣性微生物在有氧環境下，當物質在細胞內氧化而釋放電子，該電子乃

伴隨質子經由初級主動運輸作用而排出。

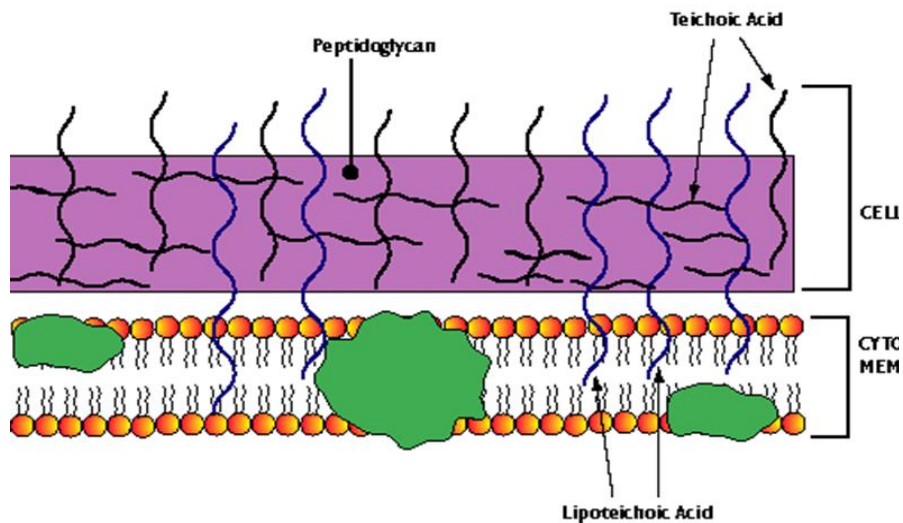
厭氧性微生物則利用發酵過程產生之 ATP 以進行電子傳遞之初級主動運輸。

光合細菌則藉由光能激發產生的電子，經初級主動運輸作用而伴隨質子外排。

以細菌而言，其電子傳遞鏈乃位於細胞膜，然而細菌種類不同，細胞膜及細胞壁之構造可能有差異，特別是具肽聚糖(Peptidoglycan)等不導電物質之構造者。若依革蘭氏染色法染色，細菌因細胞壁構造不同主要分為革蘭氏陽性 Gram(+)及革蘭氏陰性 Gram(-)兩種類。革蘭氏陽性細菌之細胞壁較厚，化學組成較簡單，通常含約 90%肽聚糖(厚約 20~80nm)及約 10%磷壁酸(Teichoic acid)，其中磷壁酸具多個磷酸組成，這些磷酸與肽聚糖共價結合，可能是造成其表面界達電位較高之原因(Juang, 2001)。革蘭氏陰性細菌之細胞壁則較薄，構造包括約 10%肽聚糖(厚約 2~3nm)、外膜(脂多糖 Lipopolysaccharide、磷脂 Lipophosphate 及脂蛋白 Lipoprotein 等組成)、外膜蛋白(Outer membrane protein)及周質空間(Periplasm)。革蘭氏陰性的細胞壁位於兩層膜(外膜及細胞膜)之間，細胞壁比較薄。多了一層外膜雖然多了一層保護，但是與外界的溝通運輸就比較複雜。革蘭氏陽性沒有外膜那一層，它的厚細胞壁雖然堅硬，但組織較鬆，有很多空隙可以讓物質的進出較沒有問題。



革蘭氏陰性細菌的細胞壁構造



革蘭氏陽性細菌的細胞壁構造



鐵氧化物( $\text{Fe}^{+3}$  Oxides)也被認為跟電極板類似，同樣可作為電子接受者。當有機物氧化分解時，若鐵氧化物同時被還原，需有發厭氧菌及鐵還原菌一起作用。其中鐵還原菌將氧化分解厭氧菌分解有機物之產物或厭氧菌無法立即分解之有機物等，並將其氧化為  $\text{CO}_2$ ， $\text{Fe}^{+3}$  Oxides 即為電子接受者。

有機物被細菌分解產生的電子經由電子傳遞鏈傳至體外，可能有四種方式將電子傳至電極板：

#### (1)經由還原態產物之間接電子傳送

有些學者認為厭氧發酵產物，例如氫、乙醇及氫等，可能會在電極表面被氧化而提供電子(*E. coli* K12)；事實上某些發酵產生之有機酸產物與電極之反應很慢，雖然可以改善電極材質以提升反應性，然這些電極卻容易被這些氧化產物所阻塞。

#### (2)經由人工擔體傳遞

某些擔體(mediator; 如 phenazines, iron chelates, phenoxoazines, neutral red, thionin, methyl viologen 等)以還原態存在細菌體內，從電子攜帶者(如 NADH)接受電子後可很快通過細胞膜至電極板，這些擔體應具有幾項特性：容易通過細胞膜、可由電子傳遞鏈之電子攜帶者(如 NADH)獲取電子、具有高電極反應性、在電解溶液中具溶解性、不可生物分解且對微生物沒有毒性、價格便宜。

#### (3)經由微生物本身之擔體傳遞

已知某些微生物可自行產生擔體以進行細胞體外之電子傳遞，例如 *Shewanella oneidensis* 菌體內電子先傳至  $\text{F}^{+3}$ 。其它如 *Geothrix fermentans* 及 *Pseudomonas* sp. 等也會產生電子梭(electron shuttles)，以利電子傳遞至電極。

#### (4)直接電子傳遞

當電子由電子傳遞鏈釋出細胞體外後，將以負極電板充當電子接受者，並接外部電路至正極電板。*Shewanella putrefaciens* 為第一個被發現在分解乳酸時，可自行攜帶電子至電極，並推測此乃透過細胞外膜 c 型 Cytochromes 而直接將電子攜至電極。

### 五、微生物燃料電池之特性

過去較常見由微生物產生可再生之生物燃料包括乙醇、丁醇、甲烷及氫等，直至最近幾年微生物燃料電池(MFC)才逐漸被重視。

MFC 異於傳統燃料電池主要有(優點)：

- (1)MFC 直接利用微生物催化燃料之氧化作用，不像其它非生物燃料電池需要昂貴的催化劑激發電子供應者之氧化作用
- (2)MFC 可在微生物可生存的不種溫度下操作，不像其它非生物燃料電池通常需要較高之操作溫度
- (3)MFC 內的微生物可氧化不同之有機(污染)物，不像其它非生物燃料電池通常具高爆炸性或毒性，且需要高度純化以避免危害到催化劑。
- (4)MFC 產生燃料為普遍的且無害的，不像其它非生物燃料電池需要較複雜且較需控管之輸送系統

### 六、影響微生物燃料電池之因素

#### 1. 電極材料

不同材料之電極將導致不同活化極性之損失，白金或黑白金電極優於石墨碳纖及碳布電極，然白金價格較昂貴。同時，白金比碳纖對氧氣也有較高之催化性，多項研究均

已顯示白金或表面鍍白金之電極，其電流及功率密度均高於石墨碳纖。

## 2. pH 緩衝液及電解液

雖然理論上陽極質子的產生率應該是與陰極質子、電子及氧氣之反應速率相同，如果陽極沒有緩衝液的話，陽極與陰極槽內之 pH 可能有些差異。然而因為陽極與陰極槽有一層質子滲透膜相隔，因此質子實際傳送至陰極之速度通常低於陽極槽內有機物分解產生之質子量及陰極槽操作初期質子之消耗速率，因此常造成兩電極槽 pH 之差異性。

然而陰陽極槽之 pH 差會增加質子擴散至陰極槽的驅動力，直至達到動力平衡。部分質子能通過質子滲透膜到陰極而與氧氣反應，然而有部分質子來不及擴散至陰極。因此，緩衝液有可能補償質子的傳遞速率，改善質子對陰極反應的可用性，此意謂著質子在陰極之可利用性是為產電效率之限制因子。若在微生物燃料電池中添加 NaCl 以提升其離子強度，將會提升電力產出，此可能因為 NaCl 將同時加強陽極與陰極內電解液之導電度。

## 3. 質子交換系統

質子交換系統可能影響微生物燃料電池之內部電阻及濃度極化損失，進而影響燃料電池之電力輸出，而其它陽離子傳遞之副作用也是無法避免的。質子交換膜表面積相對於微生物燃料電池體積之比例對產電量是重要的，當質子交換膜表面積增大至超過某一個足夠範圍，微生物燃料電池之內電阻將變小。另外，當進流為都市性廢水時，質子膜通常較易阻塞，此時也可考慮採用無膜式(membrane-less)之微生物燃料電池。

## 4. 陽極槽操作條件

基質種類、濃度、進流速度及有機負荷等均是影響微生物燃料電池之重要因素。在同一種菌種或混合菌條件下，功率密度會隨基質種類而有所差異。在批次反應或連續流反應系統，電力產量均會受基質濃度影響。根據過去研究發現，在混合菌系統內，低流速時產電量會先達到一個高點，然後再隨流速增加而減少；此可能因為一般厭氧菌在高流速時之成長速率高於電化學活性菌。然而如果菌種是附著在電極上成長的話，進流流速增加應該不致會影響菌種。另外一種可能性，高流速引入其它電子接受者與電極競爭電子，使得產電量下降。

其它尚包括菌種數量、混合狀況、溫度等也可能影響產電量。

## 5. 陰極槽操作條件

在陰極槽反應中，氧氣為最常用的電子接受者。然而微生物燃料電池的產電輸出特別依賴於電子接受者的濃度。許多研究顯示當氧氣濃度低於飽和濃度值時，溶氧值將成為一個主要限制因子。特別地，當電解液以純氧曝氣達到溶氧值高達 38mg/L 時，產電量並未高於飽和溶氧(約 7.9mg/L)時之產電量。氧氣擴散至陽極之速率會隨 DO 濃度而增高。因此，陰極槽使用氰化鐵(Ferricyanide)為電子接受者的話，產電量通常會高很多，目前研究產電量高達 7200, 4310 及 3600mW/m<sup>2</sup> 均是以氰化鐵為陰極電子接受者，而以氧為電子接受者最高獲得電量為 1000mW/m<sup>2</sup>。此可能原因為氰化鐵能提供陰極反應較大的質量傳送速率及較低的活化能。

## 6. 氧化還原電位

細菌藉由分解低電位之還原態有機物(如葡萄糖)產生電子傳遞作用而獲得能量，電子則傳遞至高電位的氧氣。獲得能量可表示如下：

$$\Delta G = -n \times F \times \Delta E$$

$\Delta G$ :獲得能量(J/mole)

n:電子交換數量

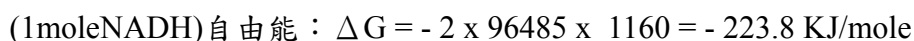
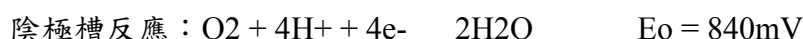
F:法拉第常數(=96485 庫倫/mole)

$\Delta E$ :電子供應者與電子接受者之電位差(V)

假設不考慮傳遞過程之電位損失，細菌分解葡萄糖過程透過 NADH 氧化及 O<sub>2</sub> 還原反應所電位能計算如下：

(在標準還原電位表中，數值較正者，代表該半電池對電子較具吸引力，便可從其他標準還原電位較負的半反應中獲得電子)

(還原電位較正(高)者對電子較具吸引力，因此可進行還原反應，還原電位較負(低)者，由於缺乏競爭力，便被迫進行其逆反應—氧化反應)



$\Delta G < 0$  (或  $\Delta E_0 > 0$ ) 表示反應自然發生(或放熱反應)

#### 七、微生物燃料電池之應用性

1. 目前發展 MFC 僅能產生足夠電力供小型電子設備短期間之運轉，或充電於電容器以供較大電力需求。
2. 未來 MFC 可能使用於家庭式發電機、小型可攜帶式電子產品、汽機車及自動送料機器人等。
3. 未來大型 MFC 可用於處理有機廢棄物且轉換成電力，同時達到水質改善及改善環境污染問題。
4. 生物監測儀器(Biosensors)
5. 生物燃料氫氣的產生

## 第 9 章

### 綠建築及綠能源應用於社區發展

資料來源：李浩銓、張文奎、張育瑞，零耗能建築-國際案例介紹，能源報導，p. 13-16，2011 年 8 月，[http://www.nrel.gov/sustainable\\_nrel/rsf.html](http://www.nrel.gov/sustainable_nrel/rsf.html)。

隨著能源費用急速飆漲和地球環境日益惡化，節能環保成為當前最重要的課題之一。根據國際能源總署 (IEA) 估計，2050 年之前若要防止全球升溫 2°C，則需將年度溫室氣體排放量減量 40 億噸，由 140 億噸減至 100 億噸，其中建築部門耗能約占人類耗能的 30%，屬具最大節能潛力之終端使用者，預估可減量約 15 億噸二氧化碳。

#### 一、零耗能建築定義

近年來歐盟、美國等先進國家紛紛發表零耗能建築 (或零碳排放建築) 的規劃設計或建造案例，而且都已放入政策目標，顯示零耗能建築是未來的主流，例如，2010 年歐盟發出建築能源效率指令，訂定 2018 年前所有公共建物及 2020 年前所有新建物，皆需

達到近 (Nearly) 零耗能的標準。美國柏克萊國家實驗室 (LBNL) 則提出在 2020 年達到淨 (Net) 零耗能屋的規劃，以節省 70% 耗能、再生能源產生 30% 來達到零耗能。美國能源部並訂出 2030 年前商業新建築需達到淨零耗能、2040 年前 50% 商業建築需達到淨零耗能，並於 2050 年前全面達到淨零耗能的目標。

▼ 表1 零耗能建築依再生能源來源的結構層次

結構層次	再生能源供應來源	技術與說明
0	應用節能技術建立之低耗能建築 (近零耗能建築)	日光照明、高效率冷凍空調設備、自然通風、蒸發冷卻技術等
從基地內的來源		
1	使用再生能源由建築物上設置之再生能源裝置產生	太陽光電PV、太陽能熱水系統、風力發電等裝置於建築物上的設備系統
2	使用再生能源由基地 (社區) 內建築物之外的再生能源裝置產生	同上，不在建築物上，只要在基地內皆可
從基地外的來源		
3	使用基地外再生能源燃料在基地內產生能源	生質能、木材、酒精、生物柴油以及基地內的廢棄物
4	購買基地外再生能源的電力	風力、太陽能等再生能源電廠、購買碳排放權、水力發電等

依照建築物相關人員關注點不同，對零耗能建築 (Zero-energy Building) 的定義可能會有差異，本文採用美國淨零耗能的定義，高效建築，並且能生產基地內或基地外的再生能源，其使用與生產的能源可達到淨零耗能。美國柏克萊國家實驗室 (LBNL) 則認為，以技術觀點而言，零耗能建築應依再生能源的來源而有不同層次的定義 (詳表 1)，最基本的層次第 0 類為導入使用新節能技術的低能耗建築，城市中心高人員密度的大樓或許裝置再生能源的空間不足，則可購買基地外的再生能源電廠之電源，定義上屬於第 4 類零耗能建築；在美國綠建築 LEED 評估中，也採用相同的定義。

本文將依照這樣的層次分別介紹國際上低耗能及零耗能建築案例，包括：一、美國國家再生能源實驗室中的研究支援中心 (Research Support Facility)，目前屬於第 0 類低耗能建築，未來將裝設太陽能發電系統成為第 4 類零耗能建築。二、馬來西亞能源中心總部大樓 (HQ, Malaysia Energy Centre)，屬於第 2 類零耗能建築。

## 二、國際案例介紹

### 1. 美國國家再生能源實驗室中的研究支援中心

該中心於 2010 年 10 月正式啟用，是一棟相當節能的建築。該棟建築的總面積大約為 23 萬平方英尺，員工人數約為 800 人，建築耗能密度 (EUI) 為每年 34k<sub>Btu</sub>/ft<sub>2</sub>yr (約 105kWh/m<sub>2</sub>yr)，其建築性能評比與美國冷凍空調協會 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE) 之 90.1 2004 之標準相較約高出 50%，並通過美國 LEED 的白金級建築認證，由於該建築的總花費約為 6,400 萬美元，換算成單位面積造價為 259 美元，與鄰近地區大樓建造費用相比屬中間偏高。未來此中心屋頂將裝設 1.6MW 的 PV 太陽能發電系統，並加入當地購電電網，也將輸入由相鄰停車場屋頂產生之太陽能電力，以補足不夠的電能，將成為美國第 1 棟生活中 (非展示示範) 的大型辦公建築且能達到淨零耗能。



▲ HQ, Malaysia Energy Centre建築外觀

圖檔來源：東南亞地區永續建築研討會2007（SB07SEA）

由該棟建築的節能技術應用來看，包括：大樓屋頂鋪設太陽能發電、利用太陽能熱水的供應、採用自然通風以及自然導光技術、地板空調系統、建築外殼隔熱技術及地底冷熱能儲存系統。除此之外，也運用高效率製冷／製熱系統、照明系統及智慧監控系統等。其中再生能源的應用部分，主要的發電來源來自於太陽能發電，該建築及停車場的屋頂全面鋪設太陽能板來進行發電，而鋪設在主建築的太陽能板約可提供 787kW 的發電量，設置在停車場的太陽能板約可提供 540kW 的發電量，另外少部分發電來源則是應用風能及生質能來發電。

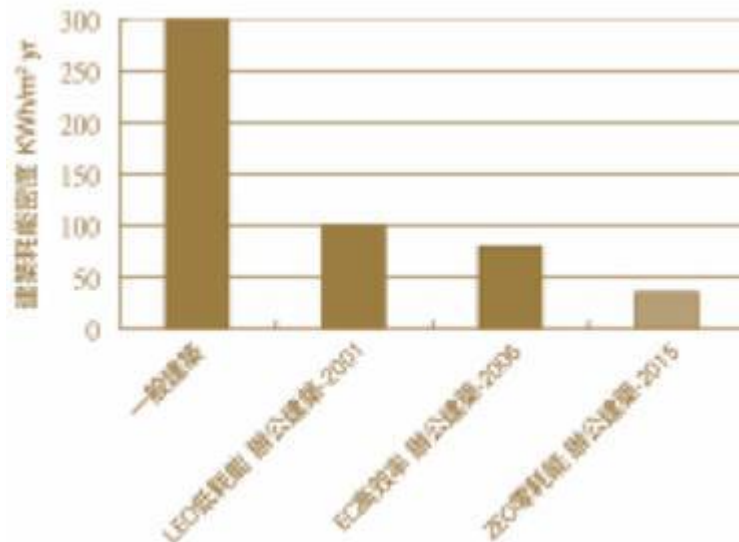
根據估算，其整年的建築耗能密度對照ASHRAE 90.1標準提供的基準值來看，可大幅降低至約34kBtu/ft<sup>2</sup>，其中暖房加熱與照明降低的幅度最為顯著。在暖房加熱的部分，由15.8kBtu/ft<sup>2</sup>降低至5.8kBtu/ft<sup>2</sup>，主要降低原因係運用了太陽熱能收集裝置（Solar Wall）及地底冷熱儲存系統，並採用太陽熱能提供室內的熱水及暖氣使用；而在照明的部分，則由9.2kBtu/ft<sup>2</sup>降低至3.8kBtu/ft<sup>2</sup>，主要降低原因是該棟建築充分利用將戶外自然光導入室內，因而減少電燈的使用量。

在其他技術應用方面，研究支援中心約有 20% 的建築材料來自於回收建材，例如採用廢棄天然氣接管做為建築的部分樑柱，1 樓大廳全部採用廢棄橡木來建造，而大樓部分牆壁也是使用廢棄或再回收的木材，圍牆則採用廢棄石材。除此之外，該建築同時應用不需要高科技的方式來達到節能的目標，例如：增加公共空間的使用人數、將桌上型電腦代換成筆記型電腦、使用較高效率及可回收電能的電梯、使用高反射塗料增加室內光環境、隨手關燈、採用多功能事務機等相關節能措施。

## 2. 馬來西亞能源中心

馬來西亞在建築節能推動的發展歷程相近於美國柏克萊國家實驗室（LBNL）所提出的零耗能之層級架構。由建築耗能密度（EUI）來看，它先做到低能耗辦公建築（LEO），再向零耗能辦公建築（ZEO）邁進。

馬來西亞能源中心位於班吉地區（Bangi），於2007年竣工啟用，是一棟直接以零耗能為目標的展示用建築。其總面積約為4,000m<sup>2</sup>，能源使用密度為每年34kWh/m<sup>2</sup>.y（未計算PV發電），如果計算PV發電則為0kWh/m<sup>2</sup>.y（ZEO），此建築的花費較一般建築建造費用高約21%（不含PV發電），或高45%（含PV發電）。



▲ 馬來西亞零耗能建築發展歷程

該大樓應用的節能技術包含：自然導光技術涵蓋了幾乎100%照明耗電，輔以高效率照明燈具，工作用照明，屋頂鋪設太陽能發電、空調系統採用地板板塊輻射冷卻、搭配相變物質（以相變化儲存冷／熱能，物質再進行相變化時，可以儲存的能量遠大於溫度的變化。例如水，儲冰系統）儲冷槽、高效率通風系統、建築外殼採用保溫隔熱技術、雙層玻璃隔熱窗。除此之外，也配置了智慧節能監控系統等。值得一提的是相變儲冷系統技術，利用白天太陽能充足時間制冷，以相變物質儲存冷能，於太陽能較差的時段使用。

在再生能源的應用部分，主要的發電來源來自於太陽能發電，該大樓鋪設4個區域的太陽能板來進行發電，分別為A區47kW、B區6kW、C區11.7kW、D區27kW，當中鋪設在主建築的太陽能板約可提供91kW的發電量，所發的電加入當地的電網系統，並沒有設置儲電裝置。

至於其他技術的應用，大樓同時也採行不需要高科技的方式來達到節能目的，例如將桌上型電腦代換成筆記型電腦、使用高反射塗料增加室內光環境、隨手關燈、節能溫控等相關節能措施。根據估算，整棟建築整年的耗能密度可大幅降低至約34kWh/m<sup>2</sup>·yr，其中以照明耗能與插座設備耗能降低的幅度最為顯著。

### 三、結語

零耗能建築已成為國際上的趨勢，建築節能的發展歷程大多由低能耗建築進一步轉變為零耗能建築，國際間發展零耗能建築的技術正可做為我國發展的借鏡。以台灣而言，低能耗建築所導入的節能技術與節能建材等，在經濟部能源局的主導下，所發展之節約能源技術都已臻成熟，可應用於發展台灣零耗能建築。（作者任職於工研院綠能所）

## 第 10 章 國外(醫療)機構綠建築與綠色能源之應用

資料來源：李浩銓、張文奎、張育瑞，零耗能建築-國際案例介紹，能源報導，p. 13-16，2011年8月，[http://www.nrel.gov/sustainable\\_nrel/rsf.html](http://www.nrel.gov/sustainable_nrel/rsf.html)。

# Environmentally-Friendly Building Strategies Slowly Make Their Way Into Medical Facilities

NEW GUIDELINES HIGHLIGHT THE RELATIONSHIP BETWEEN SUSTAINABLE DESIGN AND HUMAN HEALTH

By Nancy B. Solomon, AIA

**F**irst, do no harm." This has been the motto of the medical profession since Hippocrates. Yet, over the past few decades, it began to appear as if the purchasing habits, facility operations, and, ultimately, building design standards of this sector might not always be consistent with its own professed values. While practitioners may be providing state-of-the-art medical treatment to the sick, some of their products, systems, and structures may be compromising the overall health of their patients, staff, and outlying community.

The warning signs came as early as the 1980s, when used syringes washed up on Long Island and New Jersey beaches. Because of fears of infectious-disease transmission, medical waste soon began to be segregated and burned. But in 1996, the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) deemed incineration of medical waste to be the largest contributor of dioxin, a potent carcinogen, into the environment. The incinerators also released mercury, another serious threat to public health. In response to the incineration problem, Health Care Without Harm ([www.noharm.org](http://www.noharm.org)), a coalition of health-care, environmental, and community groups, was formed at this time to work toward reducing the industry's environmental impact. Due to stronger EPA pollution controls, most medical-waste incinerators have since

*Nancy B. Solomon, AIA, writes frequently about architectural technology.*

## CONTINUING EDUCATION

Use the following learning objectives to focus your study while reading this month's ARCHITECTURAL RECORD/AIA Continuing Education article. To receive credit, turn to page 188 and follow the instructions. Other opportunities to receive Continuing Education credits in this issue include the following sponsored sections: "From Translucent to Opaque: Accessing the Unique Design Dynamics of Glass Block," sponsored by Pittsburgh Corning, page 193; and "Color and Texture," multi-sponsored, page 154.

## LEARNING OBJECTIVES

- After reading this article, you should be able to:
1. Describe the differing requirements of health-care and office buildings.
  2. Explain the Green Guidelines for Healthcare Construction (GGHC).
  3. List additional strategies for achieving environmental credits under GGHC.

For this story and more continuing education, as well as links to sources, white papers, and products, go to [www.architecturalrecord.com](http://www.architecturalrecord.com).



Children's Hospital of Pittsburgh (above), designed locally by the architecture firm Astorino, includes a vast garden (below). It is one of a few health-care facilities in the U.S. seeking a high LEED rating.

ceased operation. Hospitals also began to look at other ways to minimize toxins and waste. In 1998, for example, EPA, in conjunction with the American Hospital Association ([www.aha.org](http://www.aha.org)), began a program called "Hospitals for a Healthy Environment" to encourage the phasing out of mercury—from thermometers to fluorescent lamps—in health-care facilities by 2005 and the cutting of health-care waste by 50 percent by 2010.

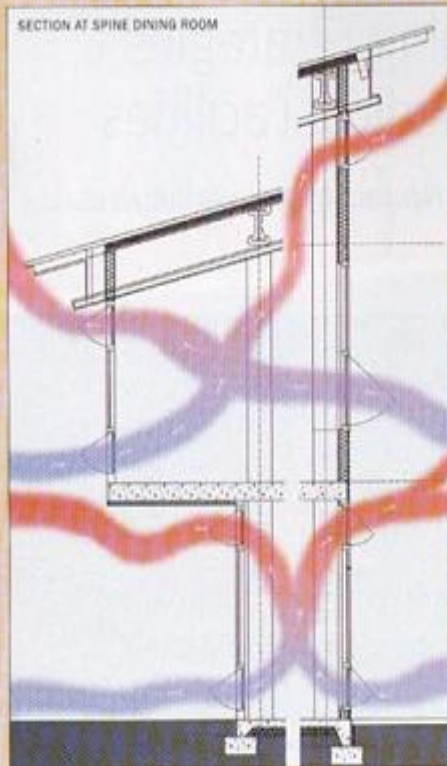
Despite—or perhaps because of—these serious operational and purchasing concerns and subsequent large-scale initiatives, "health care is way behind the curve" when it comes to sustainable building design, reports Carol Antle, director of capital planning for Northern California for Kaiser Permanente in Oakland, California. With its own department of environmental stewardship, Kaiser has been trying to push the industry's sustainable-design envelope.

The reasons for this are many. Health-care architect Robin Guenther, AIA, of Guenther5 Architects in New York, cites, among other causes, the size of the "environmental footprint" facing medical facilities. "Health care was not ready to go after the building until it got those other aspects, such as medical waste and mercury, in order," she says.

Cost is also critical. In health care, very few building projects are adequately funded from the start, so there is always fierce competition for scarce capi-

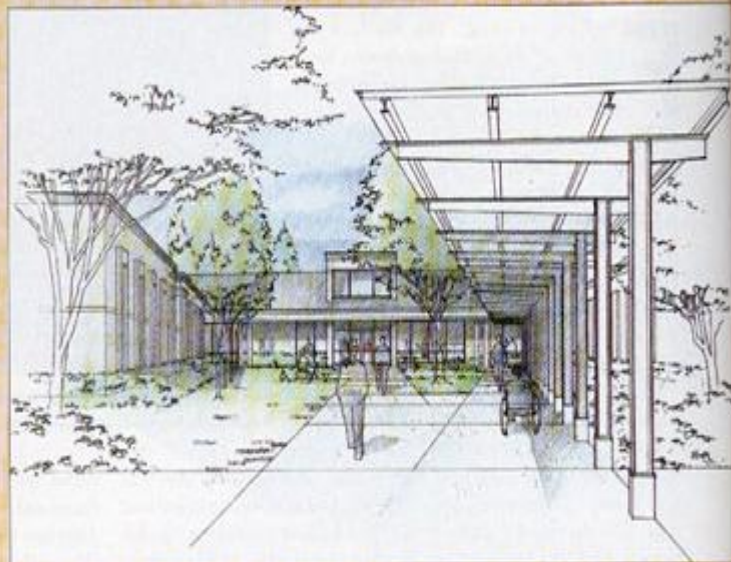


BUILDING SCIENCE



### Veterans Skilled Nursing Facility, Retsil, Washington

NBBJ designed ceilings that are 12 feet 4 inches tall to provide ample room for an interior convective current to develop (diagram, left): Hot air rises, is cooled by the precast concrete planks, and then drops back down. The high ceilings also allow for 8-foot-high, double-hung windows along one wall of each bedroom. Low-emissivity coated glass and installed interior roller shades reduce solar heat gain. Different types of exterior shading devices address particular solar conditions at various facade orientations.



tal dollars. There is a perception, although not always true, that sustainable strategies cost more up front. The fact that they may save money over the life of the building doesn't always sway decision makers: "If it's a trade-off between keeping the surgeon or the building-operations staff happy, the surgeon is going to win. Green initiatives can be vulnerable," explains Guenther.

Medical facilities are also highly regulated, so some hospital administrators and designers fear that environmental goals will become another layer of bureaucracy in a complex industry that is already burdened by many requirements.

In addition, the first version of the most popular rating system for sustainable design, the U.S. Green Building Council's (USGBC) Leadership in Energy & Environmental Design (LEED), was tailored to commercial construction, not health-care facilities. But hospitals, in particular, differ greatly from standard office buildings: They run day and night, seven days a week. They require multiple adjacencies, which traditionally necessitates compact floor plates. They require habitable spaces for procedures that would be adversely affected by natural light. They have to accommodate large equipment in significant quantities. And they need more frequent air changes and more rigorous cleaning procedures to prevent the spread of infection. In one way or another, these and many other health-care-specific conditions affect how well the facility can

achieve typical sustainable goals.

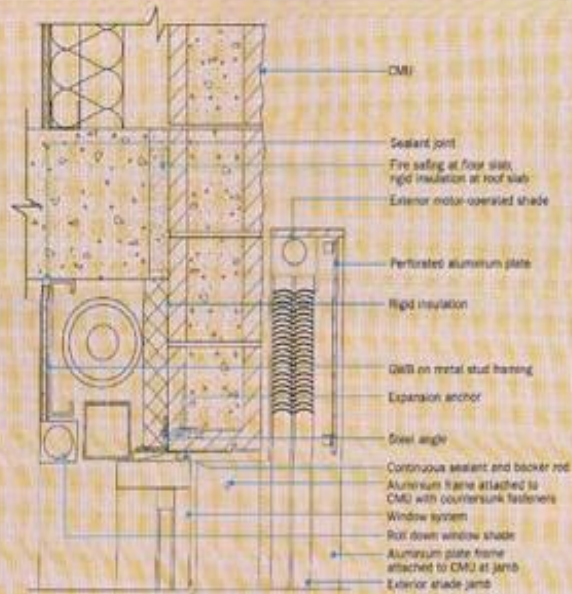
There are signs, however, that all this is beginning to change. Despite the admitted incongruity, 29 projects have now registered with LEED in the health-care category (including the Patrick H. Dorrard Discovery Health Center, in Harris, New York, and Washington State Veterans Home Skilled Nursing Facility, in Retsil, Washington, described on these pages), as compared to none in 2000 when the rating system was introduced, and one hospital (Boulder Community Foothills

### DESPITE THE ADMITTED INCONGRUITY, 29 PROJECTS HAVE NOW REGISTERED WITH LEED IN THE HEALTH-CARE CATEGORY.

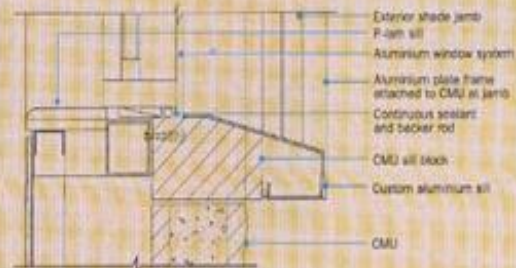
Hospital, page 184) has already been certified at the silver level. "Overall, there is an enormous interest in sustainability within the health-care industry. And the interest is growing exponentially," observes Guenther.

Even more promising is the soon-to-be released Green Guidelines for Healthcare Construction (GGHC). Developed by a committee under the auspices of the American Society for Healthcare Engineering (ASHE), an affiliate of American Hospital Association, these guidelines address sustainable criteria specific to health care. Gail Vittori, codirector of the Center for Maximum Potential Building Systems, in





RESIDENT WINDOW HEAD



RESIDENT WINDOW SILL

Austin, Texas, chaired the group of sustainable and health-care experts from around the country. The organization of the Green Guidelines follows very closely that of LEED for New Construction: It is divided into similar environmental categories, each of which has a few prerequisites plus a variety of strategies for credit.

But it is at the level of the strategies themselves that one begins to appreciate the differences. Some of the GGHC ([www.gghc.org](http://www.gghc.org)) categories include additional prerequisites. For example, "mercury elimination" is required in the "Materials & Resources" category and "asbestos removal or encapsulation" is necessary in "Environmental Quality," reflecting the fact that existing medical facilities have potentially harmful materials that need to be either removed or contained.

All categories have additional strategies: "Connection to the natural world," for example, has been added under "Sustainable Sites" to acknowledge the important role nature plays in healing. "Process water efficiency" has been inserted under "Water Efficiency" to reflect the fact that hospitals rely on nonpotable water in much larger quantities than potable water within the building itself. "Electronic purchasing and take back" has been included under "Materials & Resources" to encourage the recycling of hardware rather than allow equipment to enter the waste stream. And the elimination of "asthma triggers, formaldehyde, phthalates, and natural rubber latex" has been added as one of the credits for "low-

emitting materials" within "Environmental Quality," highlighting the sensitivity health care has to people with compromised immune systems.

And some credits have been adjusted to more accurately reflect the realities of health care. For example, in "Energy & Atmosphere," GGHC gives credit for supplying 1 percent, 2 percent, or 5 percent of the total energy consumed with renewable sources, rather than the 5 percent, 10 percent, or 20 percent minimums stipulated by LEED, because health-care buildings are so energy-intensive. The Green Guidelines has also expanded the detailed descriptions of the credits. Most striking is the insertion of "Health Issues," which emphasizes the strong connections among ecological health, human health, and the built environment.

A voluntary, self-certifying system, GGHC could never serve the same role as does the LEED system of third-party certification. But its health-based approach adds a rich layer of information to the original LEED structure. "We wanted to be explicit that all of these strategies have health implications," explains Vittori. "It's a product that puts human health front and center." In doing so, ASHE believes the health-care industry will be even more motivated to provide high-performance healing environments to complement its high-performance medicine. Perhaps equally important, such an emphasis on the health-based benefits of sustainable solutions promises to advance the entire sustainable-design movement in all sectors of construction.

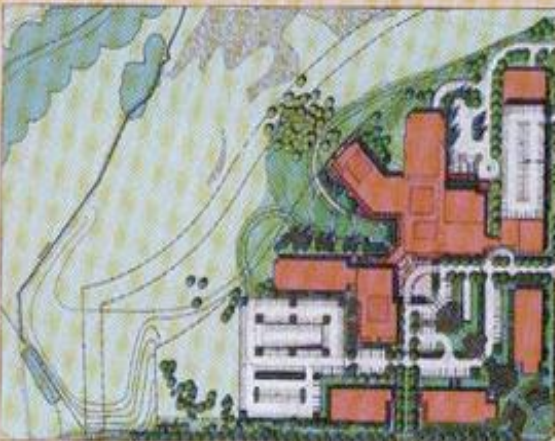
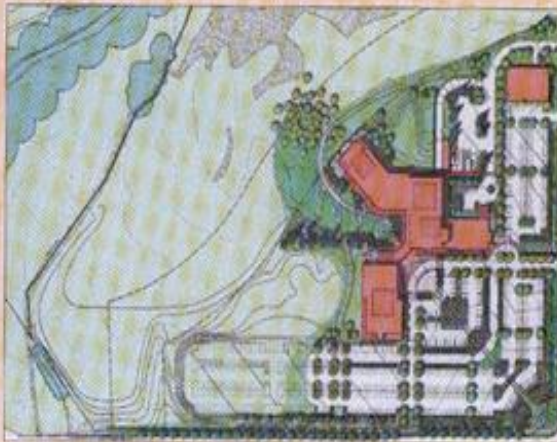


### Boulder Community Foothills Hospital, Boulder, Colorado

Boulder Associates and Oz Architecture minimized the amount of water needed for exterior use, in large part by specifying plantings that are native to Colorado

(above) and other semiarid regions. Fifty-five percent of all building materials were manufactured locally, of which more than half were also harvested locally. A master plan

for the existing 49-acre greenfield site (below left) emphasized carpooling, thus reducing paving to 75 percent of the parking area normally required (below right).



Last spring, spurred on by the groundwork already laid by the draft version of the Green Guidelines, USGBC established a committee, also chaired by Vittori, to develop a LEED Application Guide for Healthcare. GGHC will be a reference document in this process. According to USGBC, this guide will be available by next summer.

#### Thermal comfort

When the Washington State Department of Veterans Affairs first approached Seattle-based NBBJ regarding a replacement skilled nursing facility on its existing campus in Retsil, Washington, the agency wasn't focused on sustainable design. The department simply wanted a high-quality structure that would provide the best care. To this end, the client and architecture firm undertook strategic planning sessions with current residents to elicit what they really needed. The overarching themes that emerged were dignity, privacy, and a greater sense of control over their lives. "They wanted to be able to make individual choices, such as operating windows," explains NBBJ project manager Elizabeth Jacks. They didn't want air-conditioning, as it made them feel cold.

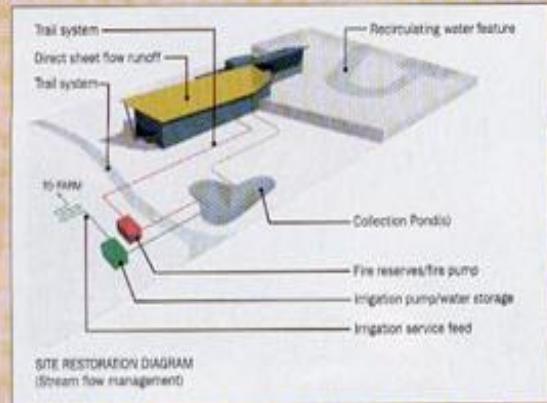
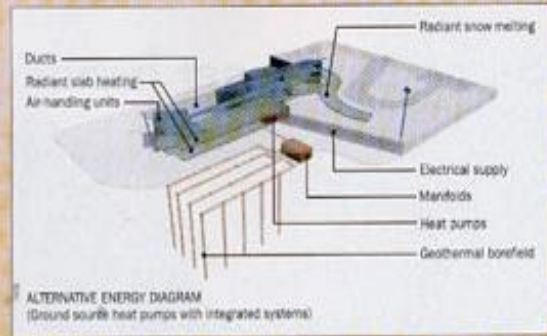
So, when the design team began to assess site conditions, the concept of natural cooling logically arose. After all, the campus is located in a mild climate atop a bluff next to Sinclair Inlet. Breezes coming across the water assure a constant flow of cool air all year round. What better way to give the residents more control over their environment and a connection to the outside world than by allowing them to tap into this natural resource as they saw fit?

There was, however, one glitch: All health-care facilities in the state of Washington must meet the Washington Administrative Code (WAC 388-97), which references ASHRAE 55. This standard requires mechanical cooling—regardless of microclimate—and stipulates that all patient areas must not exceed 75 degrees for 97.5 percent of the year. Although ASHRAE is now working on a standard for natural ventilation, and LEED has a much different understanding of the acceptable range of thermal comfort, the designers had to work with the code as it now stands.

NBBJ accepted the dual challenge of first meeting the temperature requirements—which far exceed LEED standards—with passive-solar strategies and then demonstrating that such a solution satisfied the intent



**Patrick H. Dollard Discovery Health Center, Harris, New York**  
 Guenther5 Architects incorporated many sustainable strategies, including testing nonchlorinated plastic floor tiles in another building to determine ahead of time how the product would perform on radiant slabs. The ground-source heat-pump system was the only energy-reduction strategy that had a measurable effect on the overall cost. The building uses about 25 percent less energy than does a standard facility of this type, resulting in savings of approximately \$18,000 to \$20,000 per year (diagrams, right).



of the health-care code. Both the design and the final proof relied heavily on computer modeling of thermal conditions.

The facility consists of eight residential wings, one administrative wing, and a two-story connecting spine containing various communal functions. Cooling throughout the facility depends on the careful orchestration of various elements, including concrete structural systems for thermal mass, generous floor-to-ceiling heights, well-conceived window designs and placements, high-performance glazing, and appropriate shading devices.

The team did not eschew all mechanical systems: The building, for example, is heated with a two-pipe hydronic baseboard system and has a minimal ducted mechanical ventilation system to meet basic health standards. Feeding building geometries, solar angles, actual daily temperatures, and other data into a thermal modeling program, the mechanical engineers painstakingly demonstrated, room-by-room, that the temperature would not exceed the WAC threshold. Both the client

and design team clearly had faith in their strategies, as the construction-document phase was 90 percent complete, early site work had begun, and key components were being bid out when the natural ventilation exemption was finally granted by the Washington Department of Social and Health Services.

According to Carl R. Tully, AIA, senior associate at NBBJ, the additional up-front costs associated with the design and construction of this passive cooling system are partly offset by the reduction in mechanical equipment. He estimates that the remaining costs will be paid back by operational savings in eight to 10 years. Scheduled for completion in January 2005, the 170,000-square-foot, 240-bed skilled nursing facility is aiming for LEED certification at the silver level.

**Treading lightly on the land**

The Boulder Community Foothills Hospital is a new medical center for women and children on the outskirts of Boulder, Colorado. The facility,



At the Discovery Health Center, rainwater flows into a trough (above), which is both an irrigation system and a holding tank for the fire-suppression system.

which currently includes a 154,000-square-foot, 60-bed hospital and a 67,000-square-foot outpatient-services building, opened its doors in September 2003. The first hospital to receive LEED certification, it was awarded a silver rating by the U.S. Green Building Council in December 2003 and received an honorable mention in the 2004 ASHE/AIA Vista Sustainable Building Awards program.

The board of directors of Boulder Community Hospital, which has been centrally located in the city for decades but began expanding in the 1980s with satellite campuses to serve an ever-growing suburban population, knew they wanted a green building when they hired the design team. City government and a few local organizations had already undertaken environmentally-friendly construction programs, and the hospital administrators felt that they should, too. Oz Architecture handled the core and shell of the building, while Boulder Associates was responsible for the medical architecture. Both firms are based in Boulder.

Although the 49-acre site was a greenfield—"it was the only property still available in Boulder that could accommodate such a facility," explains Kristi Ennis, AIA, sustainable design director at Boulder Associates—the client pursued many other sustainable site strategies, including designating 32 acres of the campus as permanent open space.

Alternative transportation was emphasized. "The regional transit system is quite good," explains Ennis, "and the client already participated in its annual bus-pass program, which allows all employees to ride free at any time." The hospital invested in the construction and maintenance of a new bus stop, which the city's transit department initially dismissed as unnecessary but soon took over its upkeep when it became evident that the shelter was well used. The designers also encouraged employees to share rides by designating parking spaces for car pools, and to either bike or walk by installing bike racks, showers, and changing facilities. Such strategies, in addition to the hospital's current parking practices

at its downtown campus, convinced the city to grant a deferred parking waiver at the new campus. This meant that the hospital only had to pave 75 percent of the parking area normally required, although it also had to set aside sufficient space for the additional parking in case it is ever needed in the future.

In terms of material selection, the architects aimed for multiple environmental goals. With the exception of mechanical and electrical components, 55 percent of all building materials were manufactured locally, of which more than half were also harvested locally. In terms of materials with either postconsumer or postindustrial recycled content, the architects significantly exceeded the amount suggested by LEED. And, although admittedly a challenge, they were able to identify low-VOC and formaldehyde-free products that also satisfied standard hospital requirements, such as high durability and easy cleaning.

The design team minimized the amount of water needed for exterior use, in large part by specifying plantings that are native to Colorado and other semiarid regions. As a result, the landscape design is expected to consume 50 percent less water than is typical of such campuses in the state.

Reduction of potable-water usage on the interior was more challenging, a common problem in health-care environments. Ennis explains that some alternative technologies, such as composting toilets, just do not seem appropriate for this building type. And in some situations, the staff can't accept certain limitations. The postpartum nurses, for example, did not want an electric eye controlling a faucet where they were going to bathe newborns because they needed full control of water quantity and temperature. The design team did install waterless urinals and electric-eye faucets in the public-toilet rooms, but they couldn't achieve LEED's recommendation of at least a 20 percent reduction in overall interior potable-water use in comparison to levels stipulated by the 1992 Energy Policy Act. Ennis adds that state laws governing water rights in Colorado made that goal even more difficult to meet in this particular project.

A highly efficient central utility plant was built not just for the new hospital and outpatient building but also for additional development planned for the campus. Variable speed pumps and variable frequency

## REDUCTION OF POTABLE-WATER USAGE ON THE INTERIOR WAS MORE CHALLENGING, A COMMON PROBLEM IN HEALTH-CARE ENVIRONMENTS.

drives ensure that energy needed to operate the heating and cooling systems are a function of actual demand. Many other energy-efficient components—from roof overhangs to occupancy sensors—were also incorporated. And the building was fully commissioned by a third-party agent to assure that all systems were running as intended. Based on calculations by DOE-2 software, the project uses 27.6 percent less energy than a building compliant with ASHRAE 90.1-1999.

### Health and the health-care environment

Established in 1948, the Center for Discovery is a not-for-profit health-care agency serving children and adults with severe and multiple disabilities. It provides a holistic range of therapies and educational opportunities to this population on two adjacent residential campuses near the Catskill Mountains in upstate New York. About 220 children and adults live on-site, another 60 adults live in nearby community residences run by the center, and about 500 people from the greater community take advantage of its day programs and services.

Yet until recently, the center lacked a centralized clinic that could address all primary medical needs. Basic services were scattered across its properties, and many routine diagnostic and treatment procedures could only be obtained off-site. Transporting disabled residents—many of whom are confined to wheelchairs—as far away as Manhattan was inconvenient for the staff and stressful for the patients.

So, in 2000, Executive Director Patrick H. Dollard engaged Guenther5 Architects of New York in the design of an on-site ambulatory clinic. He didn't request a green building, but health-care architect Robin Guenther, AIA, who had been researching healthy materials for years and had recently been exploring geothermal heating systems, inquired if the center would consider alternative energy. The existing buildings ran off oil, but, says Guenther, "it was a year when everyone thought that oil prices were going to skyrocket." Needless to say, the client was intrigued. "So we started with energy," explains Guenther.

Incrementally, the design team began raising other environmental goals—from nontoxic materials to water-efficiency. It wasn't long before the executive director recognized that sustainable design was consistent with the organization's core values. The center had long believed that the environment contributed to the health of its patients, explains Guenther, but "the administrators had never really put it all together until the design of this building." With this new realization, the executive director decided that the proposed clinic should register with LEED, thus becoming the first health-care project ever to do so.

In health care, however, the client is not the only one who has to be convinced: The designs for Discovery Health Center had to be

reviewed by New York State's Department of Health to ensure that the facility would meet the more stringent life-safety codes required for medical facilities and to receive approval for the cost of construction, which is governed in large part by reimbursement rates within the state.

According to Guenther, the Department of Health was concerned about establishing a statewide precedent for construction cost premiums for green features, so it undertook a rigorous financial review. The department initially rejected the idea of a geothermal system, despite the fact that it would pay for itself in 10 to 12 years, because the technology would increase the total cost by almost 2 percent. Fortunately, New York State Energy Research and Development Authority offered a grant that reduced the premium to less than 1 percent, thereby shortening the payback period to a standard 3-to-5-year time frame.

The ground-source heat-pump system was the only energy-reduction strategy that had a measurable effect on the overall cost of construction. Energy savings were also achieved through a highly insulated building envelope, solar shading and daylighting techniques, and high-efficiency motors, fixtures, and lighting controls. The building uses about 25 percent less energy than does a standard facility of this type, resulting in operational savings of approximately \$18,000 to \$20,000 per year at current energy costs.

The 28,000-square-foot Patrick H. Dollard Discovery Health Center opened in April 2003. That same year, it became the first recipient of the Vista Sustainable Building Award, a program run by ASHE in conjunction with AIA's Academy of Architecture for Health. The firm is currently seeking LEED certification. ■

## (2) 期中考及期末考

美和科技大學 一〇〇學年度第一學期 期中考 科目：生態環境-綠色能源之永續發展論

日間部 通識

系 年級 班 學號：

姓名：

一、以下每題4分，共40分

- ( ) 1、以下何者事件常被稱為國際間第一次能源危機？  
 (1)美國雷根總統於1981年解除油價管制、(2)1978-1979年之伊朗革命、  
 (3)1973年以阿戰爭、(4)1990年伊拉克入侵科威特
- ( ) 2、以下何者環境污染問題與目前石化能源之使用可能較無相關？  
 (1)空氣污染、(2)溫室效應、(3)臭氧層破壞、(4)地層下陷
- ( ) 3、以下那一個國家目前在生質能的發展屬於比較成功的例子？  
 (1)越南、(2)巴西、(3)紐西蘭、(4)泰國
- ( ) 4、你認為目前石油有以下那一個特點是造成石油供給不穩定的原因？  
 (1)分佈不均、(2)所有權爭議、(3)運輸通道不安全、(4)以上皆是
- ( ) 5、全球暖化風險愈來愈高，我們應該尋找一些可以把衝擊降到最低的方法，試問以下何者為較不可行的方法？  
 (1)發展風能、(2)發展太陽能、(3)發展氫能、(4)以上皆非
- ( ) 6、以下何者不屬於溫室氣體？  
 (1)二氧化碳、(2)氧化亞氮、(3)氫、(4)甲烷
- ( ) 7、以下何者不屬於溫室效應之影響？  
 (1)全球暖化造成氣候轉變、(2)海平面上升、(3)動物大遷移、(4)以上皆非

- ( ) 8、以下何者不屬於再生能源？  
 (1)石油、(2)太陽能、(3)生質能、(4)地熱
- ( ) 9、以下何者不屬於太陽能發電的方法之一？  
 (1)利用日光將氧氣轉化成臭氧，再以臭氧作為燃料、(2)利用日光將水分氫與氧兩種氣體，再用氫作為發電的燃料、(3)利用集熱板將水加熱，產生蒸汽以推動汽輪機及發電機、(4)利用光電池，直接將日光轉換為電流
- ( ) 10、以下何者不屬於海洋能源之一種？  
 (1)波浪能、(2)潮汐能、(3)熱能、(4)鹽梯度能

二、以下每題 3 分，共 60 分

- ( ) 11、以下何者不屬於生質能來源之一種？  
 (1)城市污水、(2)氧氣、(3)城市垃圾、(4)牲畜糞便
- ( ) 12、核融合被視為未來主要的能源。以下何者不屬於其主要優點之一？  
 (1)少量原料高產能、(2)廢料放射性低、(3)發生故障不需要停機、(4)潔淨的發電過程
- ( ) 13、目前太陽能電池之發電效率約在多少？  
 (1) 40%以下、(2)50~60%、(3)70~80%、(4)90%以上
- ( ) 14、以下何者不屬於太陽能缺點之一？  
 (1) 受日夜影響、(2)易受氣象因素影響、(3)裝置成本過高、(4)能量密度高
- ( ) 15、有關風力發電之敘述何者不一定正確？  
 (1)目前風力能源轉換成電力，理論上最高轉換效率約為 59%、(2)風速愈大對風力發電愈有利、(3)風力發電機的電力輸出與風的速度有關、(4)經過機電設備轉換成電力後的總輸出效率目前約介於 20%~45%之間
- ( ) 16、以下何者不屬於風力發電缺點之一？  
 (1)風的不穩定性高、(2)受地形影響大、(3)地區差異顯著、(4)提升土地利用價值
- ( ) 17、生質能源可利用各種方法將其轉換為能源供人類使用，以下何者不屬於目前可行的轉換方式之一？  
 (1)直接燃燒、(2)氣化與裂解產生合成燃油或瓦斯、(3)生物轉換產生氧氣等燃料、(4)發酵、脂化等方式產生酒精汽油、沼氣或生質柴油
- ( ) 18、以下何者不屬於生質能發電缺點之一？  
 (1)生質的水分低、(2)轉換效率低、(3)易受環境限制，缺乏適合栽種的土地、(4)單位土地面積之生質能密度偏低
- ( ) 19、以下何者不屬於我國再生能源發展條例所定義之再生能源？  
 (1)太陽能、(2)生質能、(3)抽蓄式水力、(4)地熱能
- ( ) 20、太陽輻射光照射於地表，使得植物生長，植物如同太陽能吸收器與能量儲存體，可以拿來利用。此為何種能源？  
 (1)風能、(2)生物能、(3)海洋能、(4)氫能
- ( ) 21、有關風力發電之敘述，以下何者不正確？  
 (1)風力發電無污染、(2)風力發電效率高、(3)風力發電具分散式特性、(4)風力發電具觀光效益
- ( ) 22、以下那個地方較不適合設置風力發電？  
 (1)海濱、(2)海堤、(3)田埂、(4)山谷
- ( ) 23、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，稱為？

- (1)生質能、(2)太陽能、(3)風能、(4)氫能
- ( )24、有關生質能之敘述，以下何者不正確？  
 (1)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、(2)生質能為再生能源的一種、(3)生質能是一種化石燃料、(4)生質能係由 CO<sub>2</sub> 與 H<sub>2</sub>O 經光合作用而成，使用後又變回 CO<sub>2</sub> 與 H<sub>2</sub>O
- ( )25、以下何者不屬於生質能？  
 (1)木材與林業廢棄物、(2)工業無機廢棄物、(3)畜牧業廢棄物、(4)垃圾掩埋場產生的沼氣
- ( )26、以下何者不屬於生質物轉換為能源的方式之一？  
 (1)焚化熱轉換、(2)經交脂化等化學轉換程序、(3)利用生物菌種發酵、(4)以上皆非
- ( )27、以下何者不屬於生質能優點之一？  
 (1)提供高硫燃料、(2)減少環境公害、(3)料源豐富、(4)降低空氣污染
- ( )28、如果太陽輻射光先被海水吸收，產生升溫作用，使溫水漂浮海面，但深層海水照射不到陽光而溫度較低，利用上下層海水溫差，可以經由熱能機產生電力。此為何種能源？  
 (1)海洋能、(2)水力能、(3)波浪能、(4)風能
- ( )29、以下何者不屬於太陽能的優點？  
 (1)太陽能是人類可以利用的最豐富的能源、(2)太陽能是一種清潔的能源、(3)太陽能是到處都有的，不需要運輸、(4)太陽能的系統又稱作「有變量的能源系統」
- ( )30、深藏地球內部的巨大能量，如透過水在岩縫中的流動，將熱能帶至地表，即可嗙以利用。此為何種能源？  
 (1)海洋能、(2)水力能、(3)地熱能、(4)風能

---

美和科技大學 一〇〇學年度 第一學期 期末考 科目：生態環境-綠色能源之永續發展論

日間部 通識 系 年級 班 學號： 姓名：

---

一、以下每題 4 分，共 40 分

- ( )1、以下敘述何者錯誤？  
 (1)廢棄物能源利用兼具替代化石能源和廢棄物處理的雙重優點、(2)生質垃圾掩埋和森林廢木腐壞逐漸產生沼氣會對環境產生危害和影響、(3)生質垃圾掩埋產生沼氣並不會對溫室效應產生影響、(4)廢棄物能源是所有再生能源中唯一若不積極使用會造成環境直接衝擊的能源。
- ( )2、有關綠建築之敘述，以下何者不正確？  
 (1)增加草坪之鋪設、(2)增加喬木、灌木及蔓藤類植栽、(3)增加原生植物、(4)避免少物種大量栽培之景觀環境。
- ( )3、有關微生物燃料電池之敘述，以下何者不正確？  
 (1)微生物燃料電池內會有微生物分解有機物之反應、(2)微生物燃料電池必須要同時有陽極與陰極、(3)微生物燃料電池可以只有陽極、(4)微生物燃料電池是屬於將化學能（燃料）轉換為電能的反應組件。
- ( )4、你認為我國需要綠建築的理由，以下何者不正確？

(1)建築廢棄物缺乏回收再利用機制、(2)建築廢棄物到處污染河川地、山谷、坡地、(3)建築廢棄物僅 30%以下新建築物為鋼筋混凝土構造、(4)水泥用量居世界第二。

( ) 5、以下何者屬於第五類廢棄物衍生燃料(RDF-5)之特性之一？

(1)RDF-5 較不容易進料和運輸、(2)RDF-5 含水率通常高於 30%、(3)RDF-5 之燃燒特性比原料源較不穩定、(4)使用 RDF-5 必須有固體燃料燃燒用的鍋爐及空氣汙染防治設備。

( ) 6、有關氫燃料電池的特色，以下何者不正確？

(1)能源效率高達 50 到 60%、(2)對環境的污染甚低、(3)燃料來源甚為多元、(4)會產生溫室氣體。

( ) 7、以下何者不屬於以厭氧消化處理廚餘具有之優點？

(1)污泥脫水後之濃縮過濾液可作為植物液肥、(2)產生之沼氣可回收作為燃料直接使用或沼氣發電利用、(3)有機物腐熟程度較堆肥處理低、(4)消化污泥可作為初級有機肥原料。

( ) 8、在一九九八年七月美國能源部在能源政策法案中新增了三種替代燃料，稱為 P-系列燃料，以下何者不屬於此 P-系列燃料之一？

(1)戊烷、(2)甲基四氫化口夫喃 (MTHF)、(3)乙醇、(4)丙烷。

( ) 9、有關微生物燃料電池之敘述，以下何者不正確？

(1)微生物燃料電池內微生物分解有機物之反應是在陽極內發生、(2)微生物燃料電池內微生物分解有機物之反應是在陰極內發生、(3)在微生物燃料電池內微生物分解有機物產生電子和質子、(4)微生物燃料電池產生的電子必須經由外部電路到達陰極。

( ) 10、有關未來能源之敘述，以下何者不正確？

(1)未來車用能源發展的重點之一，是燃料與電力混合能源、(2)利用基因工程的研究，發展可以種植快速生長的作物來製造酒精、(3)生質柴油是由植物油和醇類反應而成的酯類，常被摻在柴油中供做重型車燃料之用，最常用的配方為 40%生質柴油與 60%的一般柴油、(4)生質柴油的性質與一般柴油的性質相仿。

二、以下每題 3 分，共 60 分

( ) 11、以下何者不屬於再生能源？

(1)石油、(2)太陽能、(3)生質能、(4)潮汐。

( ) 12、以下何者可能不會是影響微生物燃料電池產電量的因素之一？

(1)陰陽極單元之蓋板材質、(2)有機燃料性質、(3)微生物種類、(4)電極板種類。

( ) 13、以下敘述何者錯誤？

(1)廢棄物應以資源回收再利用為主要處理方向，不可回收再利用的廢棄物，則應以積極態度進行高效率熱能回收應用、(2)廢棄物衍生燃料 (refuse derived fuel, RDF) 技術是把廢棄物利用物理或熱化學等方法，轉製為性質均一燃料的技術、(3)廢棄物衍生燃料(RDF)依據處理程序的不同可分為 7 類(即 RDF-1



至 RDF-7)、(4)隨著處理程序的提升，所產生的 RDF 燃料等級越高，代表能得到的熱能回收越低、汙染也越低。

- ( )14、以下何者不屬於第五類廢棄物衍生燃料(RDF-5)之優點？  
(1)燃燒產生的汙染低、(2)含水率高、(3)熱值高、(4)容易儲存和運輸。
- ( )15、有關氫燃料電池的敘述，以下何者不正確？  
(1)必須有陽極與陰極兩個電極、(2)氧化劑可為氧氣、(3)燃料於陰極發生氧化反應放出電子、(4)氧化劑在陰極接受電子而發生還原反應。
- ( )16、以下何者不屬於我國綠建築評估指標之一？  
(1)生物多樣性、(2)綠化量、(3)基地保水、(4)硫氧化物排放量。
- ( )17、有關氫能經濟的開發涉及多個層面，以下何者不包括？  
(1)氫氣的生產、(2)氫氣的轉換、(3)氫氣的分子結構、(4)氫氣的儲存。
- ( )18、有關廢棄物衍生燃料，以下敘述何者錯誤？  
(1)把廢棄物送入焚化爐焚化並做熱能回收，通常是屬於 RDF-2 的應用，以發電效率而言，約 10~20%、(2)廢棄物中不可燃或不適燃的物質逐漸減少，性質逐漸均一，廢棄物衍生燃料的品質也跟著提升、(3)垃圾去除金屬、玻璃及其他無機物後製成的燃料是第四類廢棄物衍生燃料、(4)第五類廢棄物衍生燃料是透過無氧中溫（約攝氏 300~500 度）的加熱裂解技術，把廢棄物轉製為油品。
- ( )19、比起一般柴油而言，有關生質柴油的性質以下何者不正確？  
(1)燃燒產生的氮氧化物較低、(2)燃燒產生的碳氫化合物較低、(3)燃燒產生的一氧化碳較低、(4)燃燒產生的懸浮微粒較低。
- ( )20、有關能源與環保之敘述，以下何者不正確？  
(1)在各種燃料中，其分子的氫／碳比例愈小者，燃燒後所排放之二氧化碳的量就愈多、(2)燃燒天然氣甲烷(CH<sub>4</sub>)排放之二氧化碳高於液化石油氣丙烷(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)、(3)在化石燃料中，愈輕者燃燒愈乾淨、(4)核能排放的二氧化碳比燒汽油來得少。
- ( )21、有關微生物燃料電池之敘述，以下何者不正確？  
(1)微生物燃料電池內提供氧氣的單元是屬於陰極、(2)質子通過質子交換膜到陰極、(3)電子經由外部電路到達陰極、(4)微生物燃料電池內提供氧氣的單元是屬於陽極。
- ( )22、有關氫的生產方法，以下何者不正確？  
(1)甲烷直接熱分解方法、(2)直接利用水的揮發、(3)水電解方法、(4)利用半導體分裂水。
- ( )23、有關綠建築意涵之敘述，以下何者不正確？  
(1)植栽綠化就等於綠建築、(2)綠建築就是環保建築、(3)綠建築是以人類健康舒適為基礎，追求與環境共生共利、(4)綠建築是永續發展的建築。
- ( )24、以下何者不屬於替代能源？  
(1)液化天然氣、(2)氫氣、(3)氫氣、(4)生質柴油。
- ( )25、我國綠建築的特色與定義，以下何者不正確？  
(1)綠建築為在建築生命週期中，減少資源、能源的消耗及廢棄物產生之建

築物、(2)綠建築適用於台灣亞熱帶高溫高濕型氣候、(3)綠建築符合省能、節水、減廢、低污染之環境需求、(4)綠建築無使用無隔熱玻璃帷幕。

( )26、試問  為何種標章？

(1)綠建材、(2)綠建築、(3)節能減碳、(4)生態旅遊。

( )27、有關氫燃料電池的挑戰，以下何者不正確？

(1)液態氫低溫儲存容器的安全性、(2)氫和空氣混合時，天然氣的點火能量僅為氫的 15 分之一、(3)氫和空氣混合可燃(或爆炸)範圍甚廣而有安全性考量、(4)氫能基礎建設的發展。

( )28、有關零耗能建築之敘述，以下何者不正確？

(1)採自然通風及日光照明、(2)採太陽能熱水系統、(3)採風力發電裝置、(4)不購買生質能電源

( )29、透過高溫（約攝氏 800~900 度）部分氧化的氣化技術，把廢棄物轉製為合成燃氣（如氫氣、一氧化碳、甲烷等）是屬於以下那一類廢棄物衍生燃料？

(1) 第三類、(2)第七類、(3)第六類、(4)第二類。

( )30、試問要組合一套微生物燃料電池，以下何者不需要？

(1)電極板、(2)微生物、(3)氧氣、(4)氮氣。