

燃料電池

能源

- 作功或做工的動力來源
- 有許多不同的形式：
動能、位能、光能、電能、化學能、熱能、、
- 煤、石油、天然氣燃料：化學能 \rightleftharpoons 熱能
- 燃燒、熱機(Heat Engine)、卡諾循環(Carnot Cycle)
- 第二熱力學定律：熱機的效率不能超過卡諾循環效率：[..\第04章熱與功.ppt](#)

燃料電池

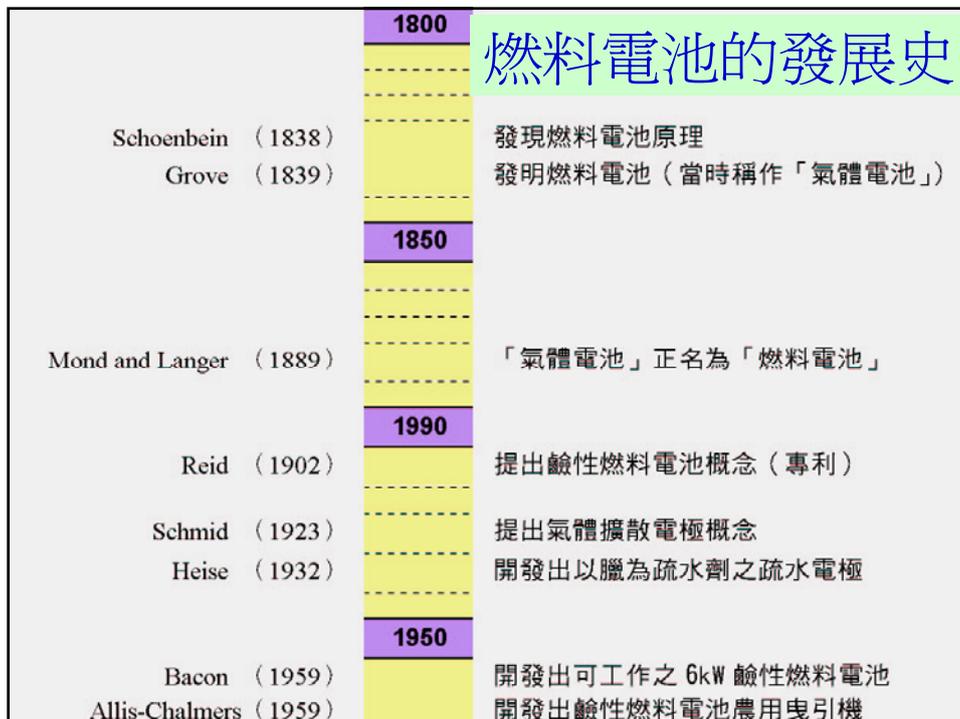
- 把燃料中的化學能直接轉變成電能的機器
- 因為不是熱機 \Rightarrow 故不受卡諾循環限制
 - \Rightarrow 效率很高
- 氫：燃料電池的理想燃料

氫循環

- $\text{H}_2\text{O} + \text{energy (電解)} \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}_2$
- $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{energy?!}$
- 燃料電池 \rightarrow 以氫為燃料的電池



圖 1-1 燃料電池發展史



燃料電池的發展史



第一個燃料電池 - 氣體電池實驗 Gas Voltaic Battery-1839 年

1838年首度發現燃料電池的電化效應

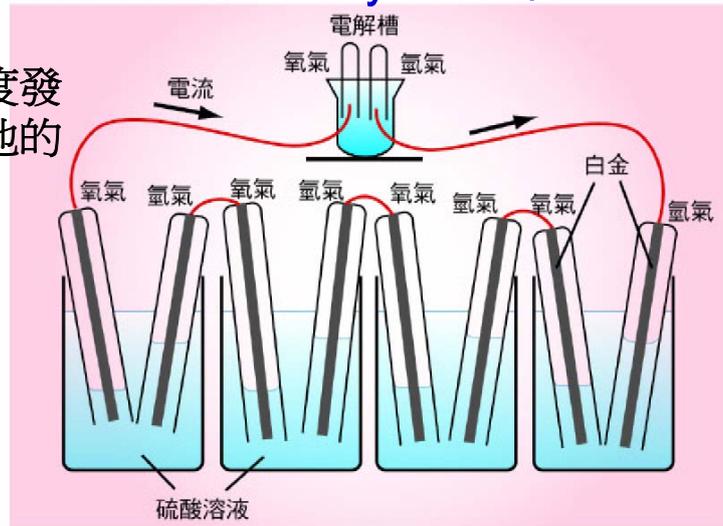
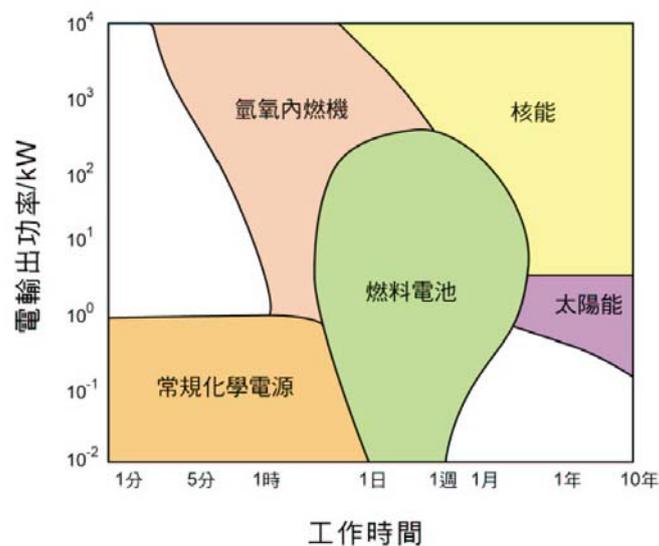


圖 1-3 William R. Grove 爵士進行的氣體電池實驗

燃料電池發展簡史 - 1

- 1839 William Grove: 氣體電池
- 1889 Mond & Langer: Pt black 催化劑，多孔非傳導隔膜，(0.73V, 3.5mA/cm²)
- 1932 Bacon: Alkaline Fuel Cell (AFC)
- 1959 Bacon: 5KW fuel cell
- 1959 Allis-Chalmers: 15KW (1008 stacked fuel cells)

燃料電池發展簡史 - 2



燃料電池發展簡史(3)

- 1960 NASA資助1~10KW太空用燃料電池
- 1955 GE公司開發成功polymer electrode
- 1958 GE公司開發成功Grubb-Niedrach(質子交換膜) 燃料電池
- 1962 燃料電池應用在雙子星太空任務
- 1965 Apollo Space Mission用鹼性燃料電池(AFC)，確立燃料電池技術可行性。

燃料電池發展簡史(4)

- 1970~1980尋找更好的燃料電池材料
- 1972 Dupon 開發成功Nafion 的高分子電解質隔膜
- 1993 Ballard Power System開發成功燃料電池動力汽車，開啓燃料電池作為地面替代能源契機

太空船之動力源需 具備的特性

- 高比功率
- 高比能量

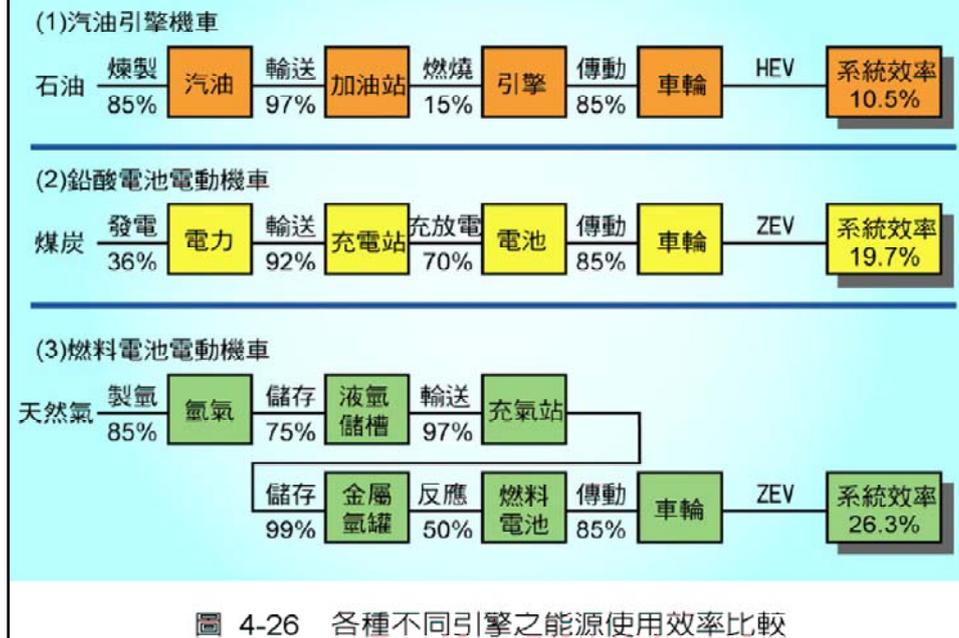
不同電池種類的電動機車比較

表 4-8 各種型態之機車特性之比較

項目	汽油引擎機車	鉛酸電動機車	鋰離子電動機車	燃料電池電動車 ^a
重量	105kg	115kg	90kg	125kg
極速	85km/hr	60km/hr	55km/hr	58km/hr
續航力	180km	63km	80km	120km
引擎/電池	125 cc	48V/26Ah	43V/44Ah	5.5kW PEMFC
加油/充電	2 分鐘	6~8 小時	4~6 小時	2 分鐘
壽命	10 年	充電 200 次	充電 600 次	5,000 小時

a 亞太燃料電池科技股份有限公司 ZESIII 之特徵

不同引擎之能源的使用效率比較



臺灣亞太燃料電池機車發展哩程

- 1998開發第一代 ZES I 燃料電池機車
 - 2000開發第二代 ZES II 燃料電池機車
 - 2002開發第三代 ZES III 燃料電池機車
- 車重125 公斤，
 燃料電池體積 6.5公升
 重量 9.8公斤
 功率 3 KW
 極速 55 Km/Hr
 續航 120 Km(儲氫50公克)



ZES II



ZES III



APFCT ZES 系列燃料電池原型電動機車照片

(照片經亞太燃料電池科技股份有限公司同意使用，特此誌謝)



燃料電池汽車



參與 CaFCP 示範運行之燃料電池原型車照片 (照片取材自 CaFCP 型錄)



CaFCP 主要目標

- 在加州實際路況下進行燃料電池汽車運行
- 驗證氫氣、甲醇加注站及週邊設施可行性
- 發現、解決問題，探索商業化路程
- 教育推廣燃料電池汽車



(a)



(b)

圖 8-9 東芝開發之 3C 用直接甲醇燃料電池 (a) PDA 燃料電池，左側圓筒部分和下部均為燃料電池 (b) Notebook 用燃料電池，圖後側為 DMFC 系統 (照片取材自 Fuel Cell Today 網站)

燃料電池汽車主要問題

- 製氫：化石燃料製氫、水電解製氫
- 儲氫：壓縮氫、液態氫、金屬氫、奈米碳管、有機無機氫化物
- 運氫：壓縮氫、液態氫

表 4-10 Chrysler Town & Country Natrium 基本規格

車名	Natrium Minivan (Chrysler Town & Country)	
動力次序	前輪驅動，再生煞車系統	
馬達	35 kW 西門子直流馬達	
蓄電池堆	40 kW SAFT 鋰離子電池	
燃料	硼氫化鈉 (NaBH ₄)，可重複使用	
燃料處理系統	HDS™ (Hydrogen on Demand System)，Millennium Cell, Inc.	
燃料電池系統	Ballard/XCELLSiS	
耗燃料率	相當於 12.5km/L 汽油	
加速性	16 秒 (0-60 公里)	
極速	128 km/hr	
續航力	480 km	

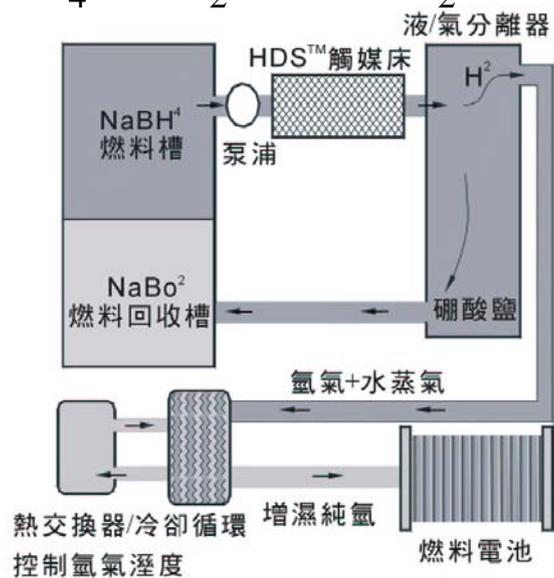


圖 4-30 「氫氣即付系統 HDS™」製氫技術流程圖與循環示意圖

燃料電池發電原理(1)

- 將活性物質的化學能轉變為電能的裝置
- 電極不具活性，但具催化轉換作用
- 活性物質可由外界提供，持續發電
- 發電裝置而非儲電裝置
- 功能接近發電機
- 直接將化學能轉換成電能的發電方式

燃料電池發電原理(2)

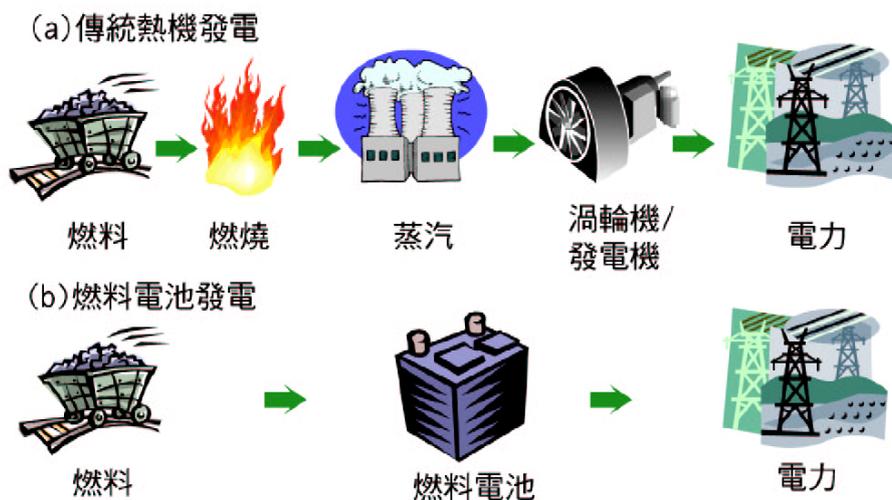


圖 1-5 燃料電池發電方式與傳統熱機的火力發電過程之比較^d

燃料電池發電原理(3)

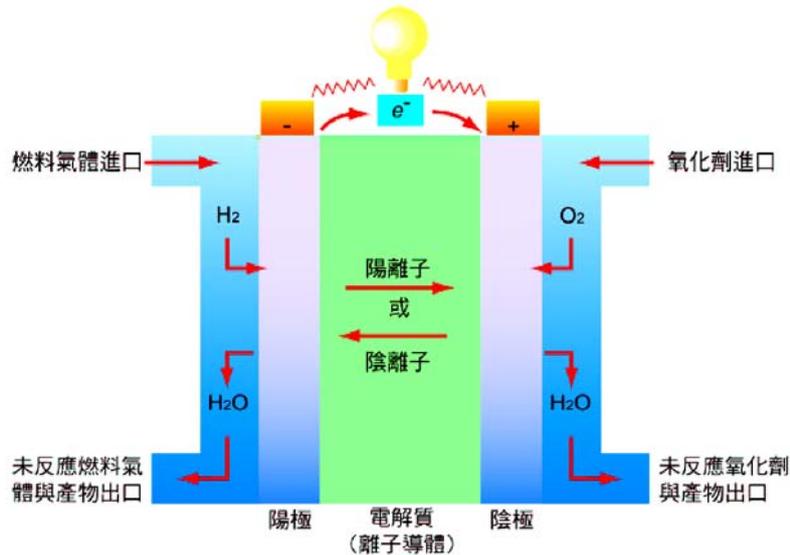


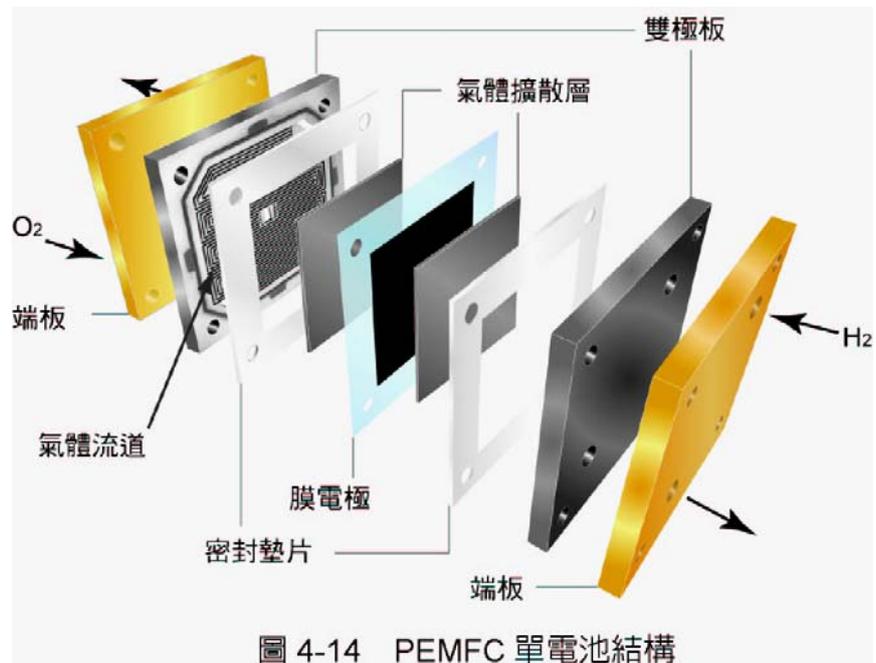
圖 1-6 氫氧燃料電池運轉示意圖

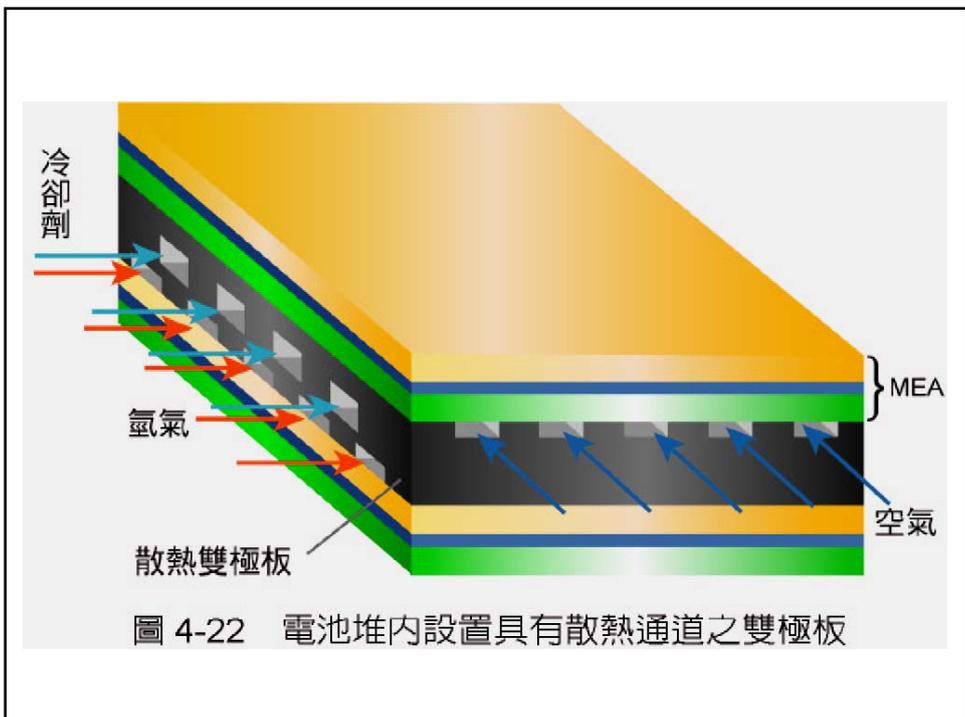
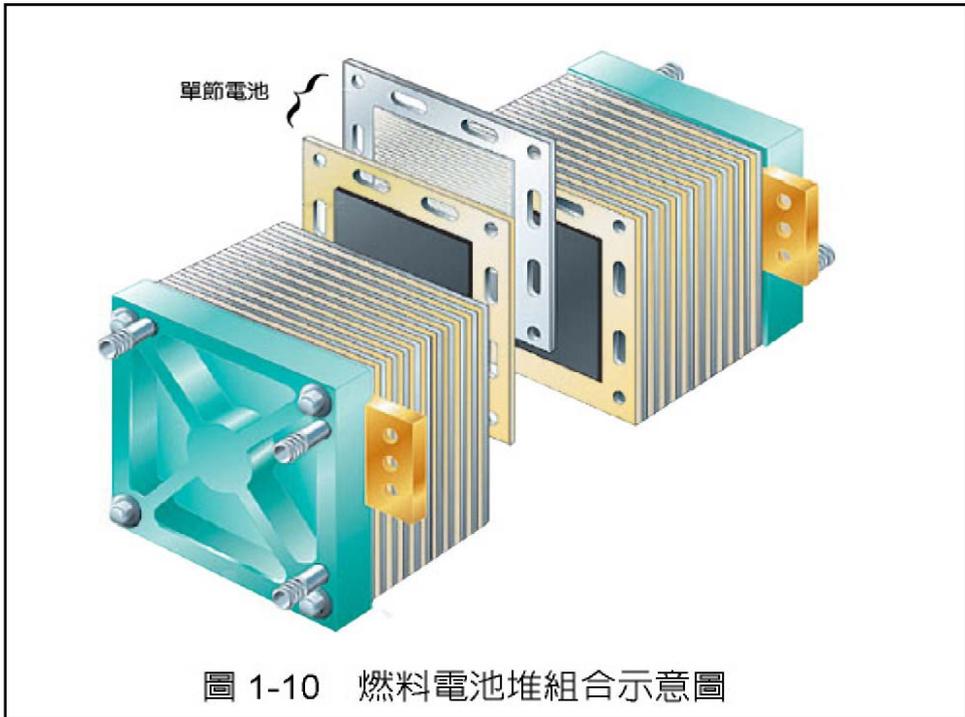
燃料電池和傳統電池間的差異

- 一種將活性物質的化學轉化為電能的裝置
- 屬電化學動力源(Electrochemical power source, electrochemical cell)
- 與一般傳統電池類似，但不同的是：
 - ✓ 傳統電池除具有電催化元件外，本身是活性物質的儲存容器，故物質用畢後，需重新填充才能在發電。
 - ✓ 燃料電池的電極不具活性物質，只是一個催化轉換元件，故是為一能量轉換器，而非能量貯存容器。
- 燃料和氧化劑等活性物質是從電池外部供給。
- 具有**能量密度高、無須充電、使用時間長**等一般傳統電池所沒有的特點

燃料電池內電極的反應

- 陽極： $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- 陰極： $\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
- 合成效應： $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$





燃料電池的特點

- 效率高：
 - 理論上整體熱電合併(combined heat & heat, CHP)效率可達90%。
 - 但由於極化的限制，實際目前電能轉換效率40~60%，但熱電合併80%，除核電外，無其他發電技術可相比。
- 噪音低：無運轉活動組件，噪音<55dB。
- 污染低：不排放 NO_x 、 SO_x 等污染氣體，即使用富氫燃料， CO_2 的排放亦比化石燃料減少40%以上。
- 原料多：含氫燃料→氫、天然氣、石油、沼氣、酒精、甲醇等。
- 用途多：發電容量自由組合，3C電池到1 GW發電廠均可。

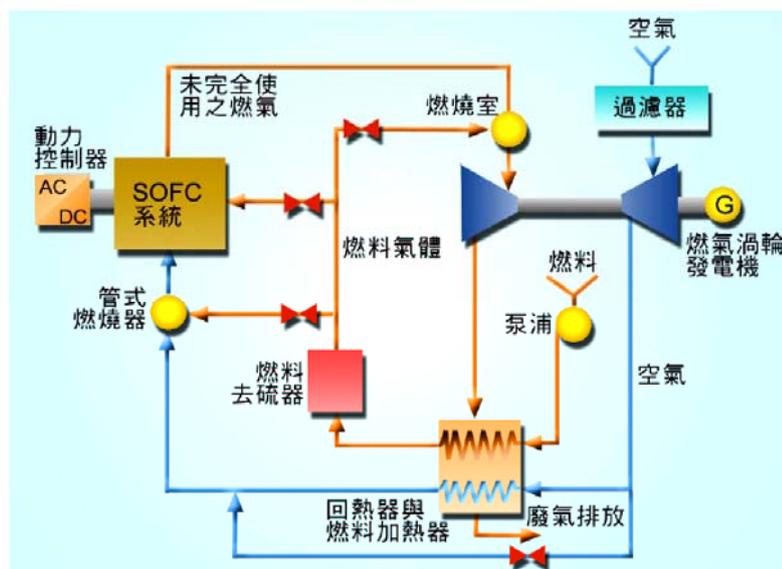


圖 6-21 SOFC/GT 複合發電系統示意

燃料電池的種類

- 種類繁多、分類方式也各有不同。
- 最常用的分類方式是依電解質性質或操作溫度不同而分
 1. 鹼性燃料電池(AFC)—低溫
 2. 質子交換膜燃料電池(PEMFC)--低溫
 3. 磷酸燃料電池(PAFC)—中溫
 4. 熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC)—高溫
 5. 固態氧化物燃料電池(SOFC)--高溫
- 操作溫度影響電池反應所使用的觸媒(catalyst)種類和燃料的種類。

表 1-1 常見燃料電池基本特性之比較

溫度類型	低溫燃料電池 (60~200°C)		中溫燃料電池 (160~220°C)	高溫燃料電池 (600~1000°C)	
電解質 類型	鹼性燃料電池 (AFC)	質子交換膜燃料電池 (PEMFC)	磷酸燃料電池 (PAFC)	熔融碳酸鹽燃料電池 (MCFC)	固態氧化物燃料電池 (SOFC)
應用	太空飛行、國防、車輛	汽車、可攜式電力、住家電源	熱電合併電廠	熱電合併電廠、複合電廠	熱電合併電廠、複合電廠、住家電源
優點	低污染、電效率高、維護需求低	低污染排放、低噪音、啟動快	低污染、低噪音	能源效率高、低噪音、具有內重整能力	能源效率高、低噪音、具有內重整能力
缺點	燃料與氧化劑限制嚴格、壽命短、造價高	與常規發電技術相比價格昂貴	價格昂貴，發電效率相對較低	啟動時間長、電解液具腐蝕性	啟動時間長、對材料的要求非常嚴苛
導電離子	氫氧根離子 (OH ⁻)	氫離子 (H ⁺)	氫離子 (H ⁺)	碳酸根離子 (CO ₃ ²⁻)	氧離子 (O ²⁻)
反應方程式	陽極	$H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$	$H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$
	陰極	$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$	$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$	$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$	$\frac{1}{2}O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$
燃料	純氫	氫氣、甲醇	氫氣	氫氣、天然氣、煤氣、沼氣	氫氣、天然氣、煤氣、沼氣
氧化劑	純氧	空氣、氧氣	空氣、氧氣	空氣、氧氣	空氣、氧氣
發電效率	60~70%	43~58%	37~42%	>50%	50~65%
水管管理	蒸發排水	蒸發排水+動力排水	蒸發排水	氣態水	氣態水
熱管理	反應氣體散熱+電解質循環散熱	反應氣體散熱+獨立冷卻劑循環散熱	反應氣體散熱+獨立冷卻劑循環散熱	內重整吸熱+反應氣體散熱	內重整吸熱+反應氣體散熱

表 1-2 燃料成份對燃料電池之影響

燃料成分	AFC	PAFC	PEMFC	MCFC	SOFC
H ₂	燃料	燃料	燃料	燃料	燃料
CO	毒物 ^a	毒物 (>0.5% vol.)	毒物 (>10ppm)	燃料 ^b	燃料
CH ₄	毒物	稀釋劑	稀釋劑	燃料 ^c	燃料 ^b
CO ₂ · H ₂ O	毒物	稀釋劑	稀釋劑	稀釋劑	稀釋劑
NH ₃	毒物	毒物	毒物	—	燃料
Cl ₂	毒物	毒物	毒物	毒物	毒物 (?)
S (H ₂ S 或 COS)	毒物	毒物 (>50ppm)	—	毒物 (>0.5ppm)	毒物 (>1.0ppm)

說明

a : 泛稱影響燃料電池的效率或壽命的物質為毒物。
 b : CO 和 H₂O 進行轉移反應產生 H₂ 和 CO₂ ; CH₄ 和 H₂O 進行重整反應生成 H₂ 和 CO , 兩者反應速率都較燃料在電極上的反應來的快。
 c : 在內重整之 MCFC 中屬於燃料。

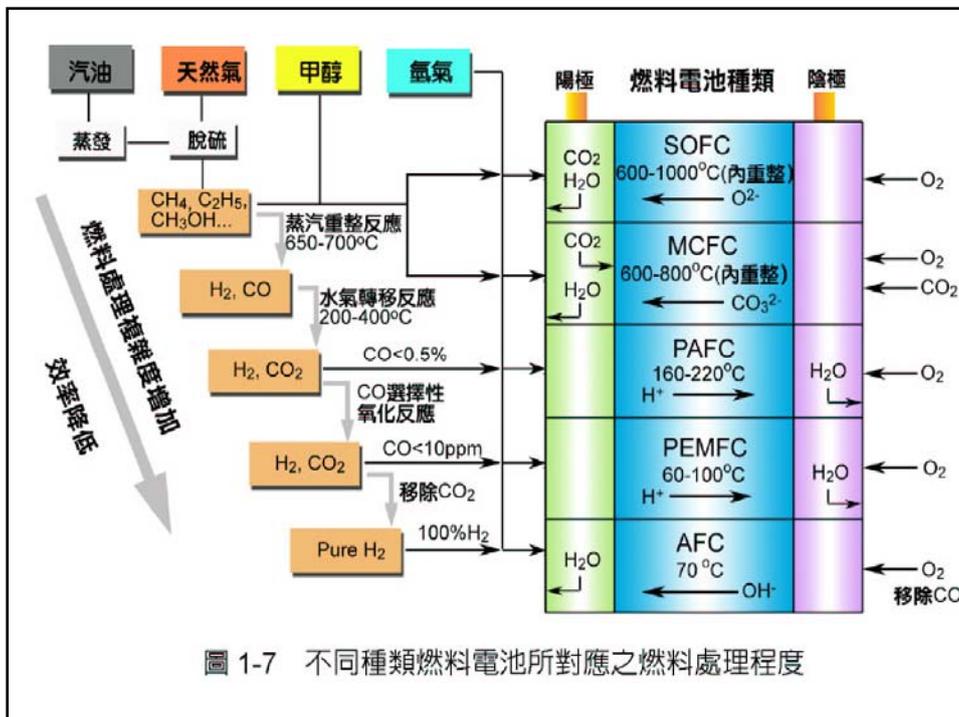


圖 1-7 不同種類燃料電池所對應之燃料處理程度

I. 鹼性燃料電池 (AFC)

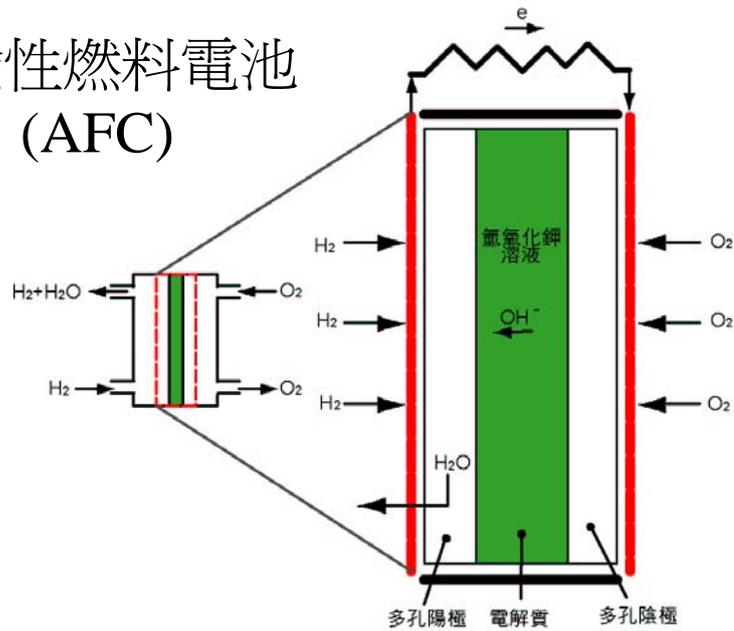
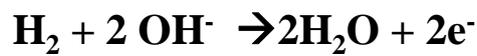


圖 7-1 鹼性氫氧燃料電池原理示意圖

鹼性燃料電池(AFC)工作原理

- 陽極：



- 陰極：



- 總效應：



鹼性燃料電池(AFC)

- KOH電解質- 高溫200°C，KOH = 85%；
- 低溫<120°C，KOH = 35~50%
- 以純氫作燃料，純氧為陰極氧化劑
- 鉑、金、銀或鈷、錳、鎳為催化劑
- 雙孔性電極構造

鹼性燃料電池(AFC)電極構造

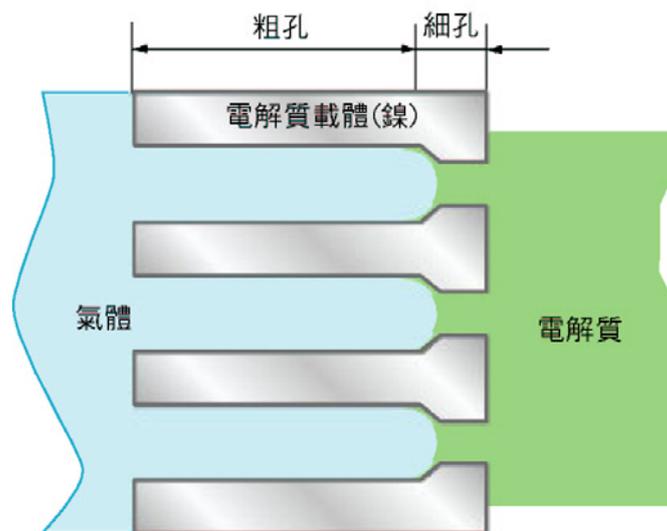
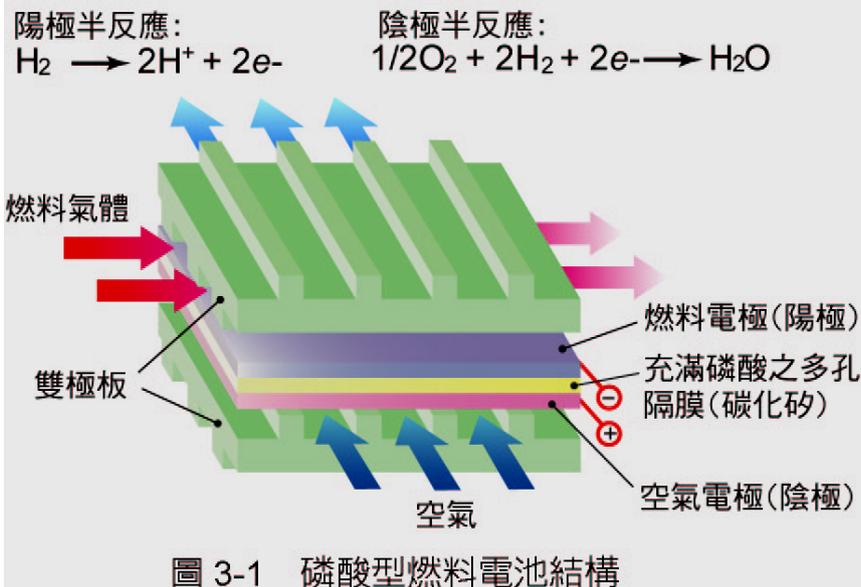


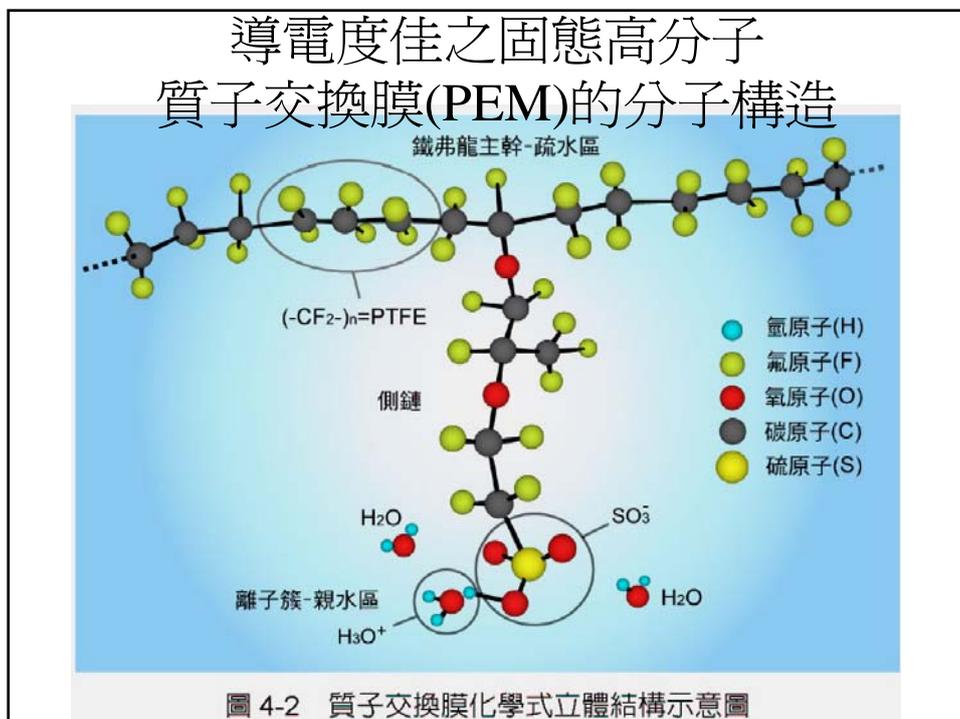
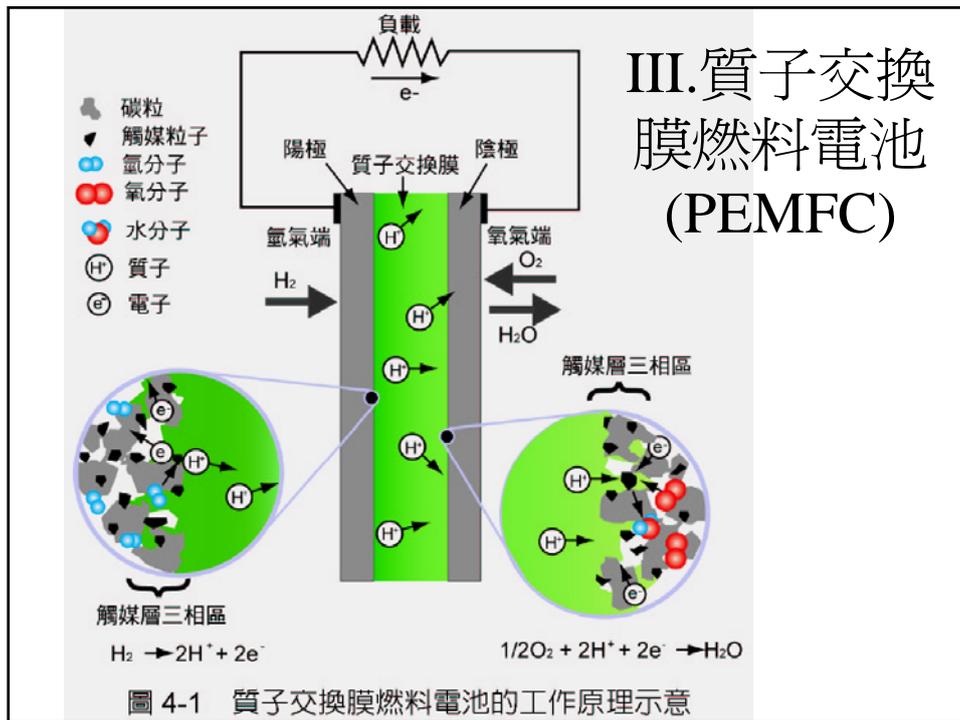
圖 7-2 雙孔電極結構示意

II. 磷酸燃料電池(PAFC)



磷酸燃料電池(PAFC)

- 低溫時離子導電度差，陽極鉑容易受到CO毒化
- 工作溫度：160~220°C
- 電解質：100% 磷酸
- 有腐蝕問題，壽命40,000小時
- CO 濃度 < 0.5%
- 以石墨作為結構體，以碳棒作為鉑載體
- 應用在分散式電源、可移動電源等



質子交換膜 工作原理

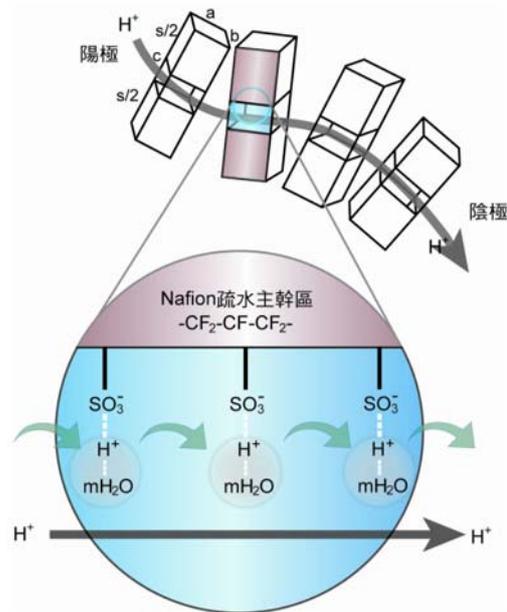


圖 4-3 質子交換膜之奈米結構與質子輸送機制的示意圖

質子交換膜燃料電池(PEMFC)特點

- 以導電度佳的固態高分子質子交換膜為電解質
- 電池內部唯一的液體是水，大幅降低腐蝕問題。
- 水的產生率>蒸發率，使薄膜保持充分含水的狀態
 - ⇒ 水管理-影響電池效率的重要因素 之一，
 - ⇒ 操作溫度<100°C
 - ⇒ 低溫操作故啓動時間短，數分鐘內即可達滿載負荷
 - ⇒ 因操作溫度低，所以利用餘熱的價值低
- 電流功率和比功率高於PAFC，發電效率45~50%
- 可用富氫燃料，但不能含有過量的(CO<10 ppm)，以免毒化陽極觸媒。
- 具壽命長、運作可靠度高的特點。

質子交換膜燃料電池(PEMFC)的工作原理解

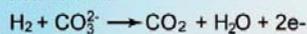
- 陽極： $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- ✓ 陰極： $\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
- ✓ 合成效應： $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
- 運用在車輛動力、移動電源、分散式電源、家用電源
- ⇒ 不適合做大容量集中型電廠

IV. 熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC)

鹼性碳酸鹽電解質：

分佈在多孔 LiAlO_3 陶瓷中

陽極半反應：



陰極半反應：

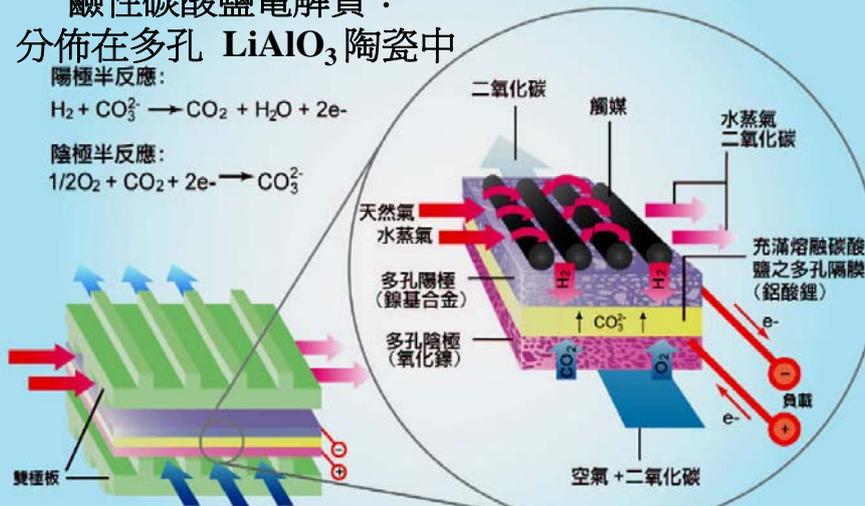
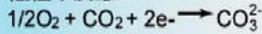


圖 5-1 熔融碳酸鹽燃料電池的結構與工作原理

熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC)

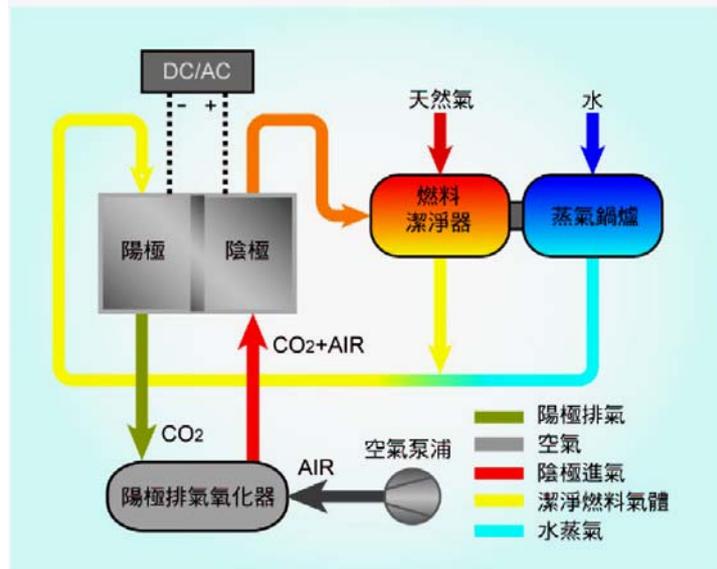


圖 5-2 熔融碳酸鹽燃料電池二氧化碳封閉循環示意圖

熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC)

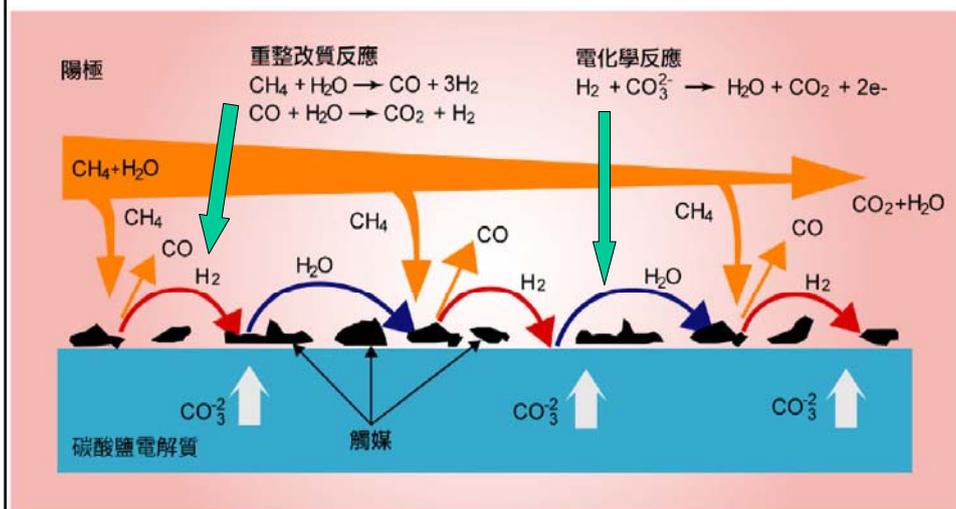


圖 5-3 內重整熔融碳酸鹽燃料電池陽極反應示意圖

熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC)

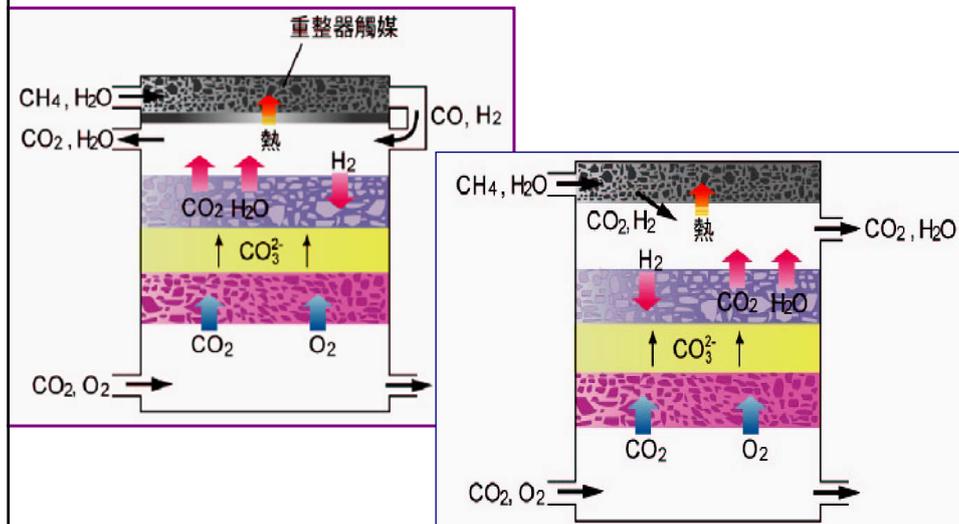


圖 5-4 間接內重整與（上）直接內重整（下）MCFC 設計之比較

熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC)

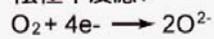
- 分佈在多孔陶瓷(LiAlO₃)的鹼性碳酸鹽作為電解質，600~800°C下呈熔融狀態。
- 高工作溫度650°C，故可用鎳及氧化鎳作為陽極及陰極觸媒，不需使用鉑等貴重金屬。
- 具內重整能力，可用CH₄、CO、天然氣可直接作為燃料，排放CO₂，但較傳統少40%。
- 餘熱可回收，排出之高溫氣體可推動氣輪機，組成複合發電系統。
- 複合熱電效率高達80%
- 已有3MW示範電站，適合中型發電廠。

熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC) 的優缺點

- 優點：見 p1-17
- 缺點：

V. 固態氧化物燃料電池(SOFC)

陰極半反應：



陽極半反應：

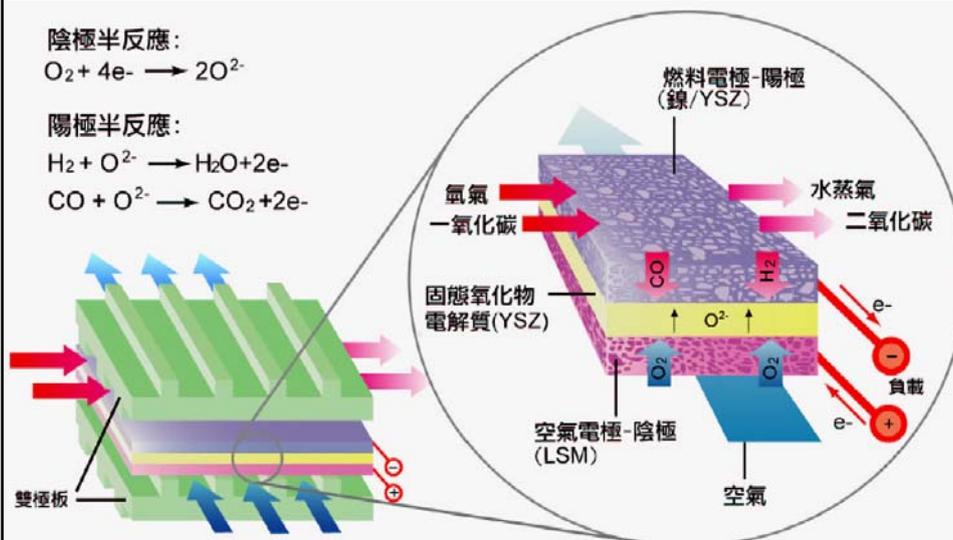
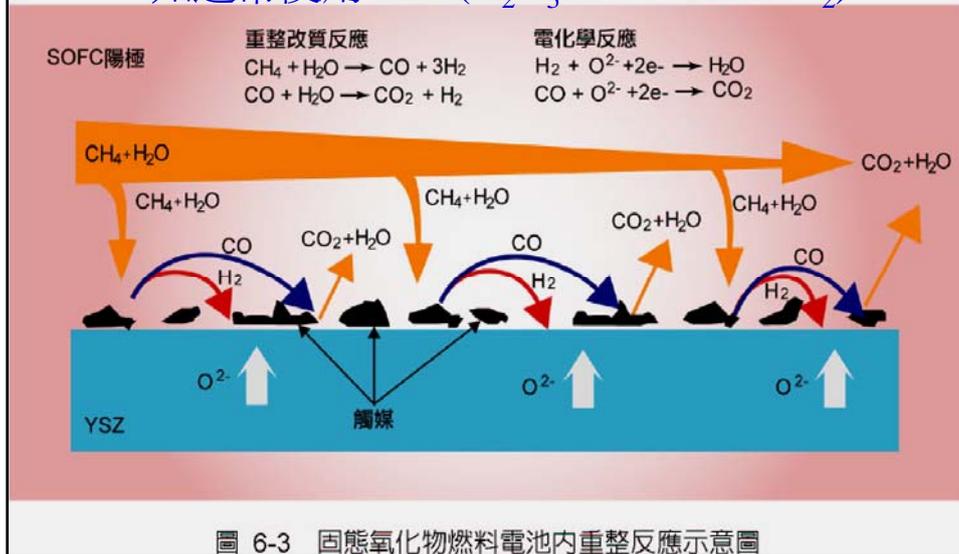


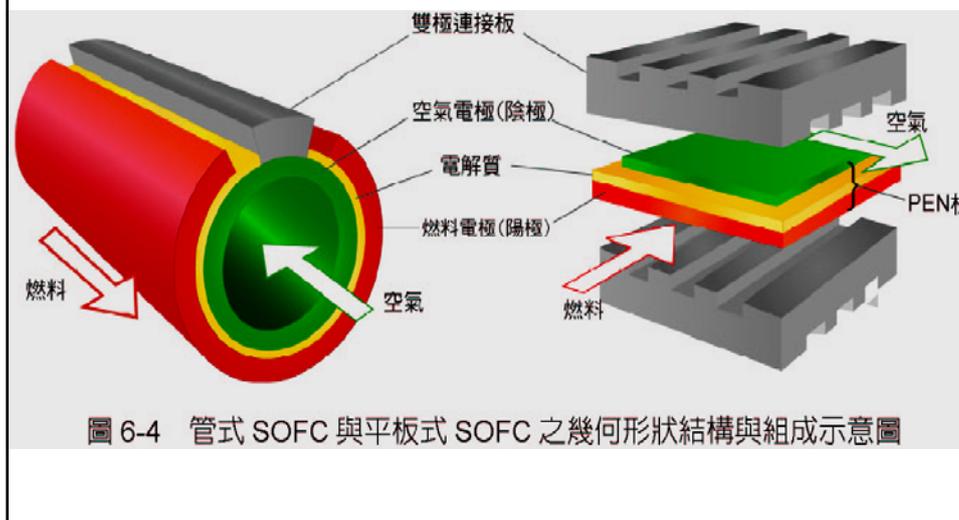
圖 6-2 以重整改質氣體為燃料之 SOFC 的發電原理

固態氧化物燃料電池(SOFC)

-電解質：固態非多孔金屬氧化物，
如通常使用YSZ (Y_2O_3 -stabilized ZrO_2)



固態氧化物燃料電池(SOFC)



固態氧化物燃料電池(SOFC)

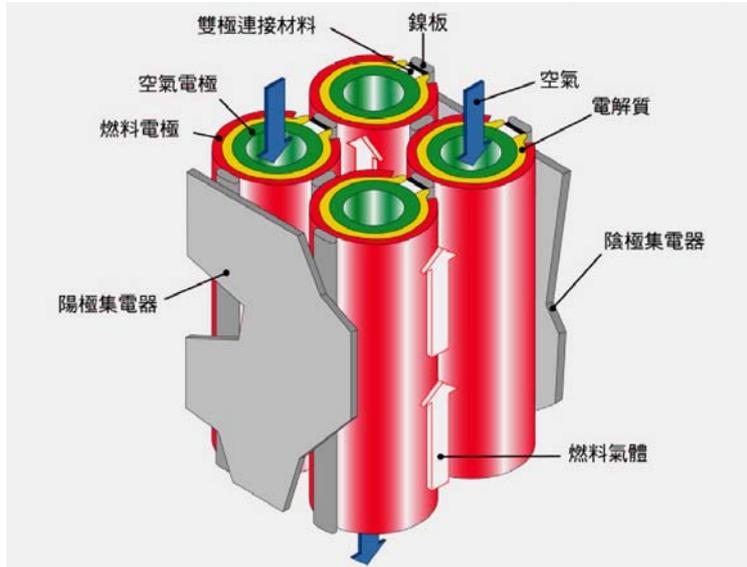
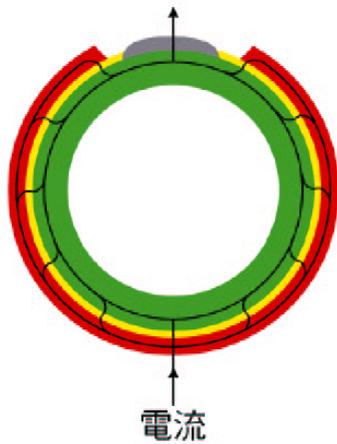


圖 6-5 西門子西屋公司圓管式固態氧化物燃料電池與系統示意圖

固態氧化物燃料電池(SOFC)

圓管SOFC



扁平管SOFC

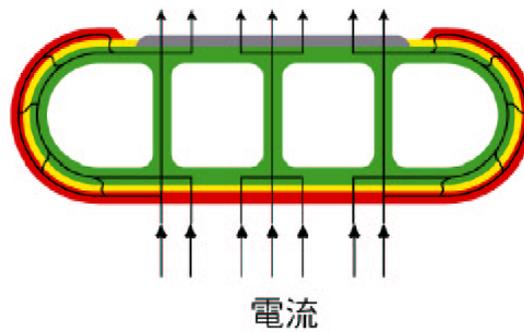


圖 6-8 圓管 SOFC 與扁平管 SOFC 電流路徑之比較

固態氧化物燃料電池(SOFC)

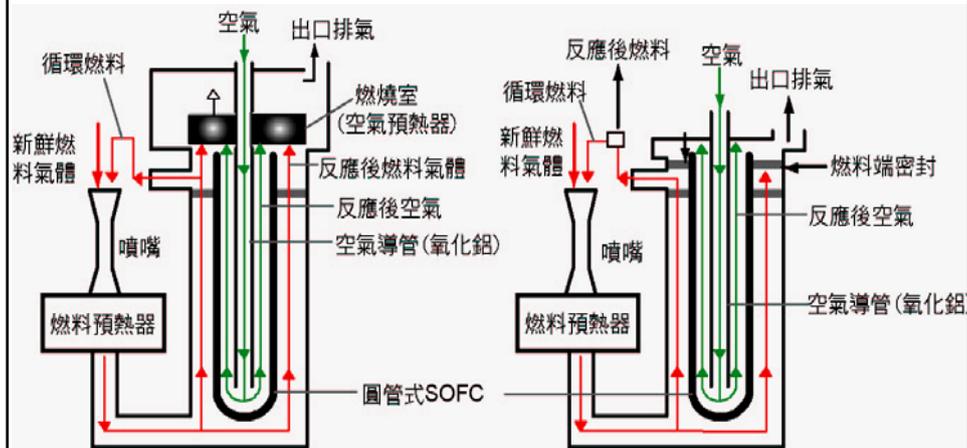


圖 6-6 管式固態氧化物燃料電池燃料氣體處理方式之比較

固態氧化物燃料電池(SOFC)

- Co-ZrO₂, Ni-ZrO₂ 陶瓷為陽極，Sr-doping LaMnO₃ 為陰極。
- 電解質採用固態非多孔金屬氧化物，如YSZ: Y₂O₃-ZrO₂
⇒ 在650-1000°C的操作溫度下，氧離子在電解質內具有高傳導度。
⇒ 沒有電解質溢漏、蒸發、腐蝕問題 ⇒ 使用壽命長。
⇒ 因電解質為固體，故電池外型設計較具彈性。
- 高溫(1000°C)工作，無需貴重金屬。
- 在高溫操作下仍具有內部重整功能，故重整所得之CO和CH₄均可直接做為燃料可用天然氣等燃料。

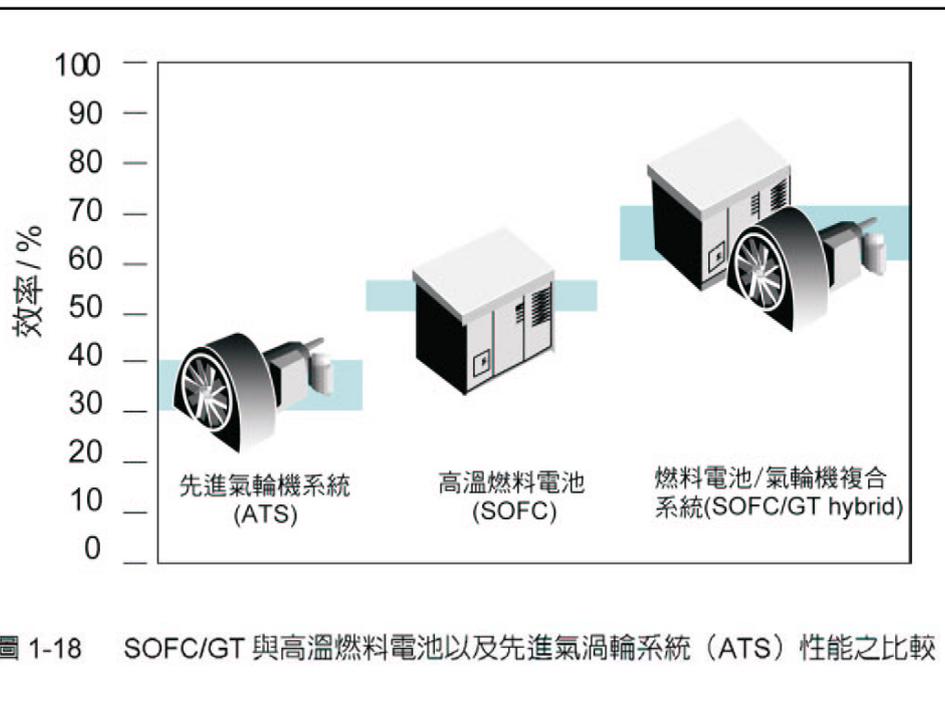
固態氧化物燃料電池(SOFC)

- **優點：**

1. 可運用熱回收技術熱電並聯發電，
2. 高的效率可達80%。
3. 可連續工作達70,000 小時，壽命最長。
4. 作為大、中、小容量之電源皆適宜。

- **缺點：**

1. 操作溫度高，密封不易，
2. 啟動時間長，不適合做緊急電源；
3. 設廠成本和製作高



VI. 直接甲醇 燃料電池 (DMFC)

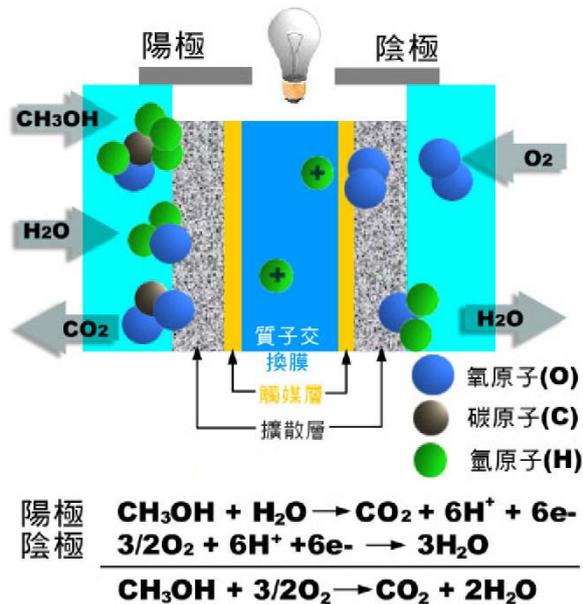


圖 8-2 直接甲醇燃料電池工作原理示意圖

直接甲醇燃料電池(DMFC)

- 早期以硫酸溶液為電解質，1990年代採用高分子膜為電解質。
- 結構簡單、體積能量密度高、啓動快速、可靠性高、燃料補充方便，适作移動可攜式電源。
- 燃料效率相對偏低，需要好的觸媒材料。

表 1-1 常見燃料電池基本特性之比較

溫度類型	低溫燃料電池 (60~200°C)		中溫燃料電池 (160~220°C)	高溫燃料電池 (600~1000°C)	
電解質 類型	鹼性燃料電池 (AFC)	質子交換膜燃料電池 (PEMFC)	磷酸燃料電池 (PAFC)	熔融碳酸鹽燃料電池 (MCFC)	固態氧化物燃料電池 (SOFC)
應用	太空飛行、國防、車輛	汽車、可攜式電力、住家電源	熱電合併電廠	熱電合併電廠、複合電廠	熱電合併電廠、複合電廠、住家電源
優點	低污染、電效率高、維護需求低	低污染排放、低噪音、啓動快	低污染、低噪音	能源效率高、低噪音、具有內重整能力	能源效率高、低噪音、具有內重整能力
缺點	燃料與氧化劑限制嚴格、壽命短、造價高	與常規發電技術相比價格昂貴	價格昂貴，發電效率相對較低	啓動時間長、電解液具腐蝕性	啓動時間長、對材料的要求非常嚴苛
導電離子	氫氧根離子 (OH ⁻)	氫離子 (H ⁺)	氫離子 (H ⁺)	碳酸根離子 (CO ₃ ²⁻)	氧離子 (O ²⁻)
反應方程式	陽極	$H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$	$H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$ $CO + O^{2-} \rightarrow CO_2 + 2e^-$
	陰極	$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$	$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$	$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$	$\frac{1}{2}O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$
燃料	純氫	氫氣、甲醇	氫氣	氫氣、天然氣、煤氣、沼氣	氫氣、天然氣、煤氣、沼氣
氧化劑	純氧	空氣、氧氣	空氣、氧氣	空氣、氧氣	空氣、氧氣
發電效率	60~70%	43~58%	37~42%	>50%	50~65%
水管理	蒸發排水	蒸發排水+動力排水	蒸發排水	氣體水	氣體水
熱管理	反應氣體散熱+電解質循環散熱	反應氣體散熱+獨立冷卻劑循環散熱	反應氣體散熱+獨立冷卻劑循環散熱	內重整吸熱+反應氣體散熱	內重整吸熱+反應氣體散熱

表 1-2 燃料成份對燃料電池之影響

燃料成分	AFC	PAFC	PEMFC	MCFC	SOFC
H ₂	燃料	燃料	燃料	燃料	燃料
CO	毒物 ^a	毒物 (>0.5% vol.)	毒物 (>10ppm)	燃料 ^b	燃料
CH ₄	毒物	稀釋劑	稀釋劑	燃料 ^c	燃料 ^b
CO ₂ , H ₂ O	毒物	稀釋劑	稀釋劑	稀釋劑	稀釋劑
NH ₃	毒物	毒物	毒物	—	燃料
Cl ₂	毒物	毒物	毒物	毒物	毒物(?)
S (H ₂ S 或 COS)	毒物	毒物 (>50ppm)	—	毒物 (>0.5ppm)	毒物 (>1.0ppm)
說明	<p>a : 泛稱影響燃料電池的效率或壽命的物質為毒物。</p> <p>b : CO 和 H₂O 進行轉移反應產生 H₂ 和 CO₂ ; CH₄ 和 H₂O 進行重整反應生成 H₂ 和 CO , 兩者反應速率都較燃料在電極上的反應來的快。</p> <p>c : 在內重整之 MCFC 中屬於燃料。</p>				

表 1-5 燃料電池所使用電解質隔膜之比較					
種類	AFC	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
電解質	氫氧化鉀溶液	全氟磺酸樹脂	磷酸溶液	熔融碳酸鹽(鋰、鉀)	固態金屬陶瓷/YSZ
電解質載體	石棉	—	碳化矽	鋁酸鋰	—

表 1-6 燃料電池雙極板使用材料之比較					
種類	AFC	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
雙極板材料	無孔石墨板、鎳板	無孔石墨板、複合碳板、金屬板	複合碳板、不銹鋼板	不銹鋼板、鎳基金屬鋼板	LCC、鎳鉻合金

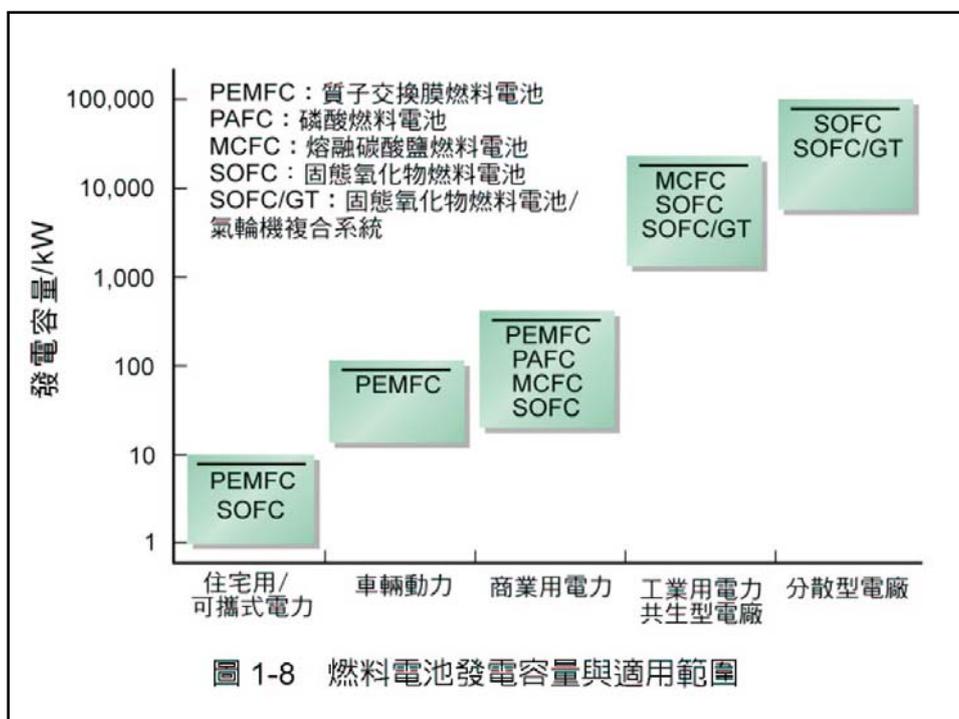


表 1-4 氫氧燃料電池陰極通道種類與組成

通道種類	通道組成	說明
電子傳遞通道	觸媒與觸媒載體	電極內必須具備電子傳導通道以使電子順利傳遞到觸媒，此通道電子傳導由導電的觸媒與觸媒載體來完成。
氣體擴散通道	空孔	電極中必須有氣體擴散通道以供氧氣擴散到反應點之用，通常由未被電解質填充的孔道或經由疏水劑所構成的氣孔。
質子傳遞通道	電解質	參與電極反應的質子（或導電離子）由電解液浸潤的孔道或電極內摻入的離子交換樹脂。
水傳遞通道	親水電解質	電極反應所生成的水由親水電解質離開電極、以免阻塞通道而影響反應進行，高溫燃料電池無須水傳遞通道。

表 1-6 燃料電池雙極板使用材料之比較

種類	AFC	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
雙極板材料	無孔石墨板、 鎳板	無孔石墨板、 複合碳板、 金屬板	複合碳板、 不銹鋼板	不銹鋼板、鎳 基合金鋼板	LCC、鎳鉻 合金

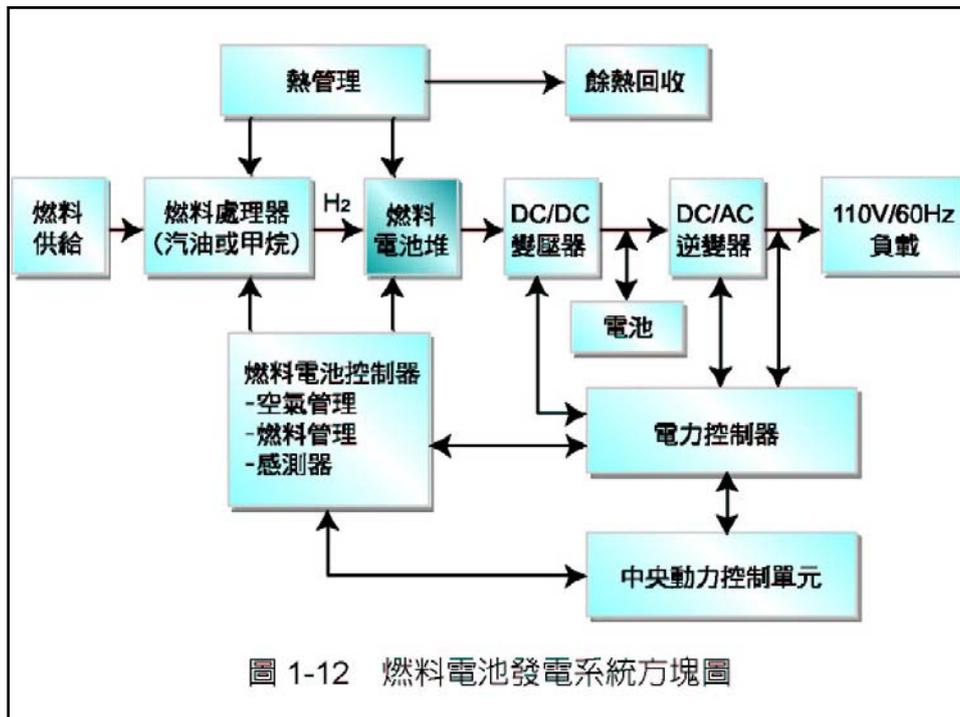


表 1-7 燃料電池與火力發電的大氣污染比較 (單位: 10^{-6} kg/kWh)

污染成分	天然氣火力發電	重油火力發電	煤火力發電	燃料電池
SO _x	2.5~230	4,550	8,200	0~0.12
NO _x	1,800	3,200	3,200	63~107
烴類	20~1,270	135~5,000	30~10 ⁴	14~102
粉塵	0~90	45~320	365~680	0~0.14

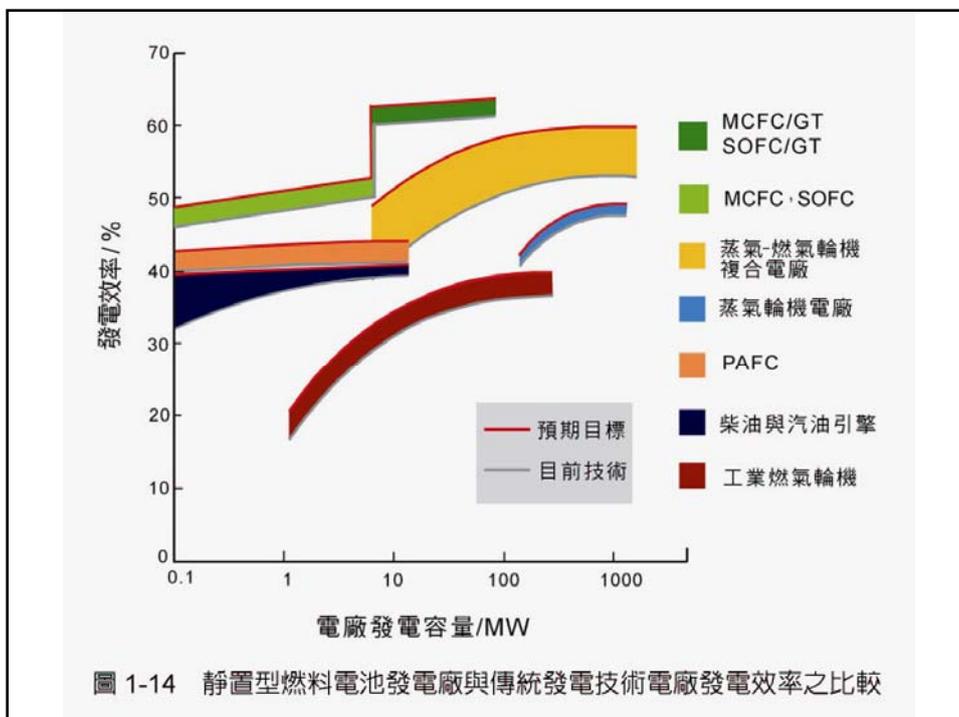
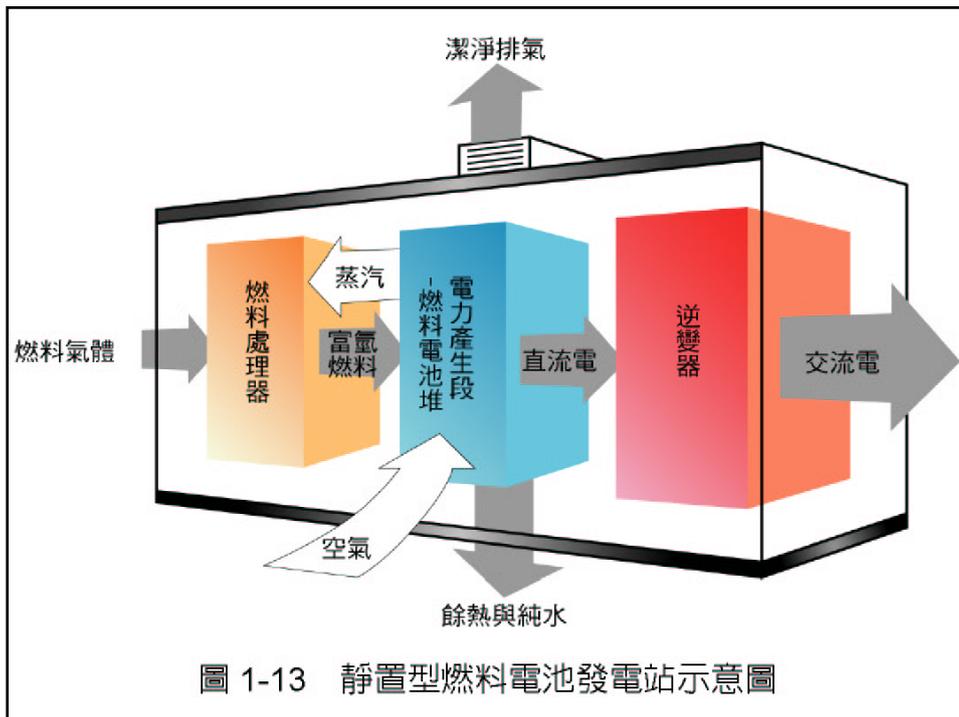


表 1-8 靜置型燃料電池電廠之指標技術與產品

燃料電池	指標製造商	產品規格 (發電容量)	主要用途
PEMFC	Plug Power	7 kW	家用發電機
	Ballard Power System	250 kW	分散型電站
PAFC	UTC Power	200 kW	分散型電站
MCFC	FuelCell Energy	300 kW、1.0 MW、3.0 MW	分散型電站
SOFC	Siemens Westinghouse	20 kW、100 kW、 200 kW SOFC/GT	分散型電站



安裝在柏林的 250kW PEMFC 電站 (照片取材自 Fuel Cell Today 網站)

表 1-9 UTC Fuel Cells 之 PC25™ 型 PAFC 主要技術指標

發電容量	發電效率	燃料	重量	排熱利用	NO _x	體積, m ³
200 kW	40 %	城市煤氣	27.3 噸	42 %	10×10 ⁻⁶	3×3×5.5



安裝在第一銀行之 PC25™ 型電站
(照片經 UTC Fuel Cells 同意使用, 特此誌謝)

表 1-9 UTC Fuel Cells 之 PC25™ 型 PAFC 主要技術指標

發電容量	發電效率	燃料	重量	排熱利用	NO _x	體積, m ³
200 kW	40 %	城市煤氣	27.3 噸	42 %	10×10 ⁻⁶	3×3×5.5

表 1-10 FuelCell Energy DFC®3000 MCFC 主要技術指標

發電容量	發電效率	可用熱能	燃料	輸出電流	輸出電壓	可用率
3.0 MW	57% (LHV)	1.17 MW	天然氣	交流電	三相、60 赫茲	95%



圖 1-17 西門子西屋之熱電合併型 SOFC (照片取材自西門子西屋公司網站)

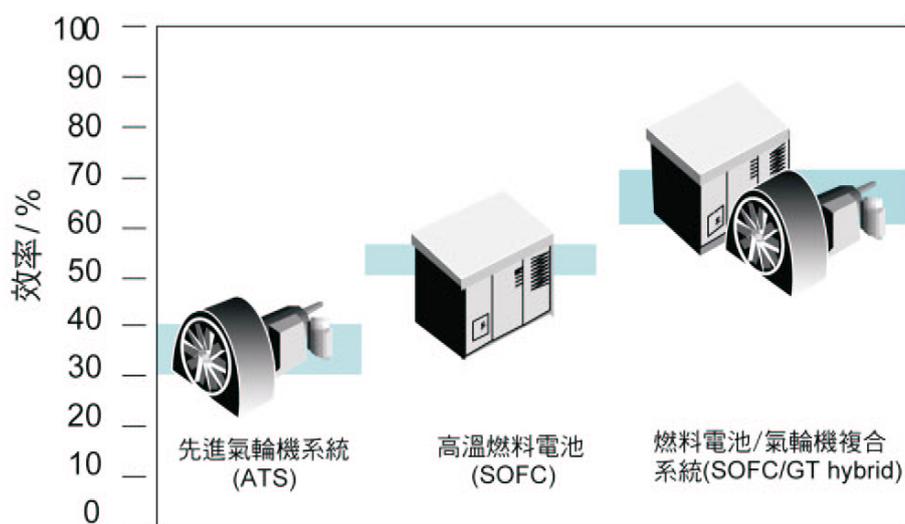
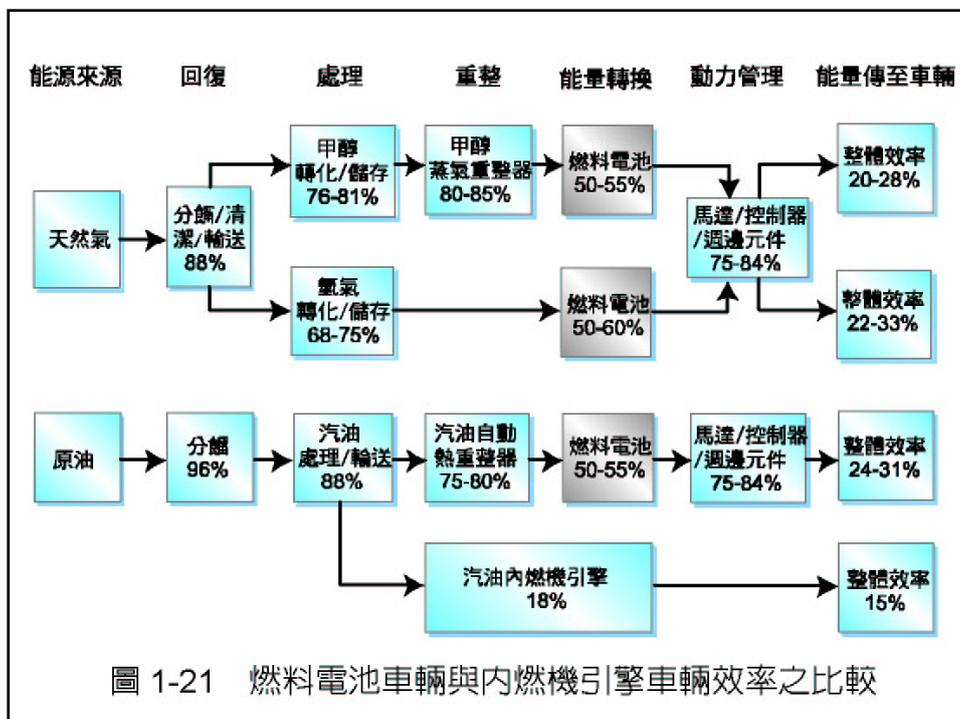
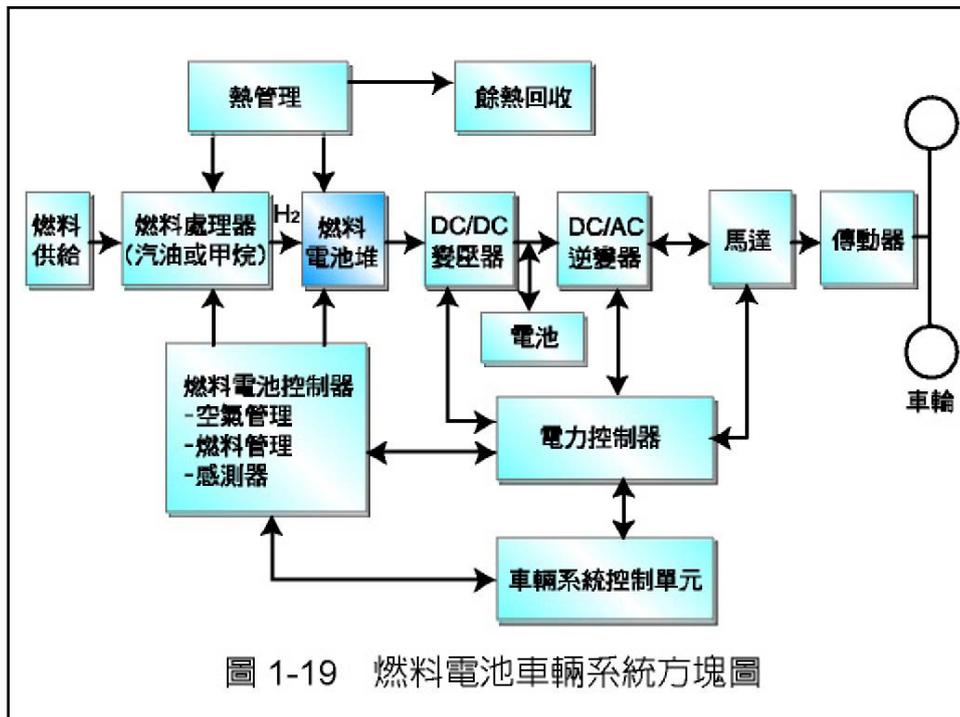


圖 1-18 SOFC/GT 與高溫燃料電池以及先進氣渦輪系統 (ATS) 性能之比較



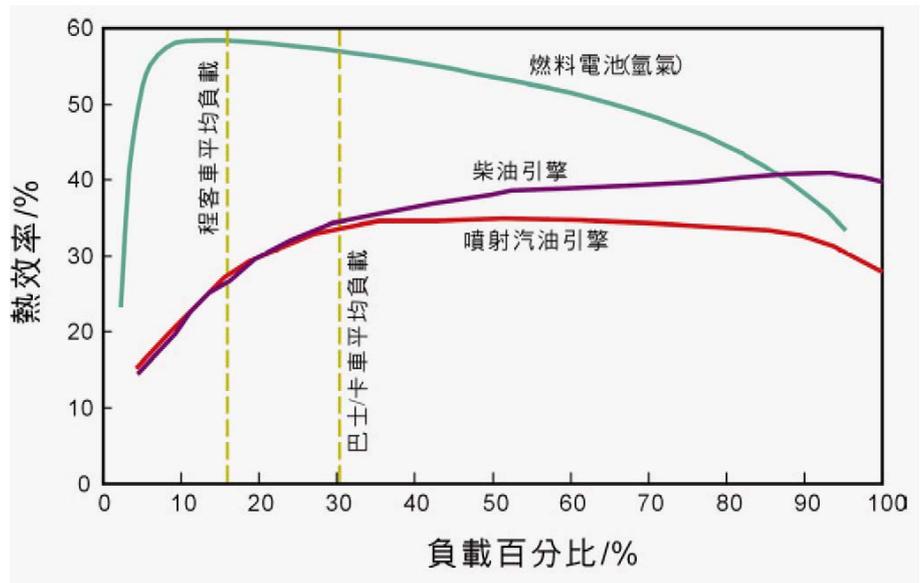


圖 1-20 燃料電池車輛與先進噴射引擎效率之比較

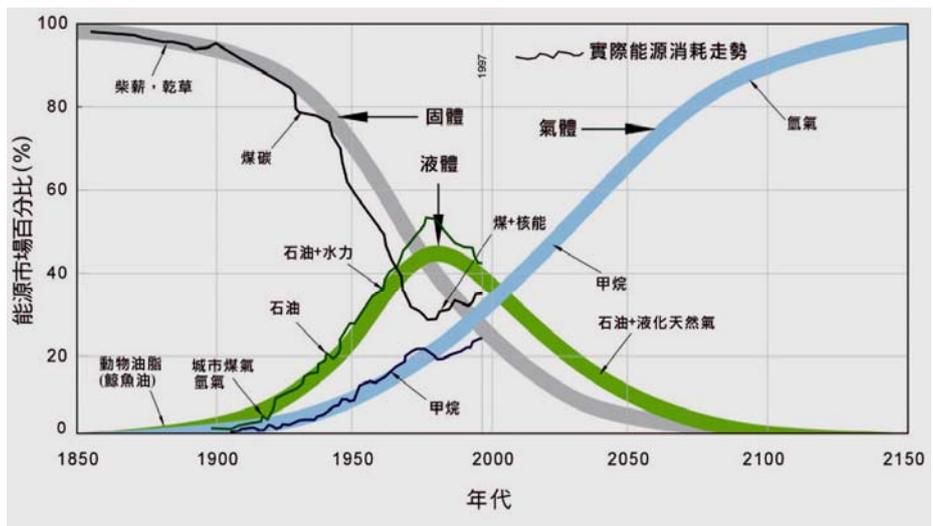
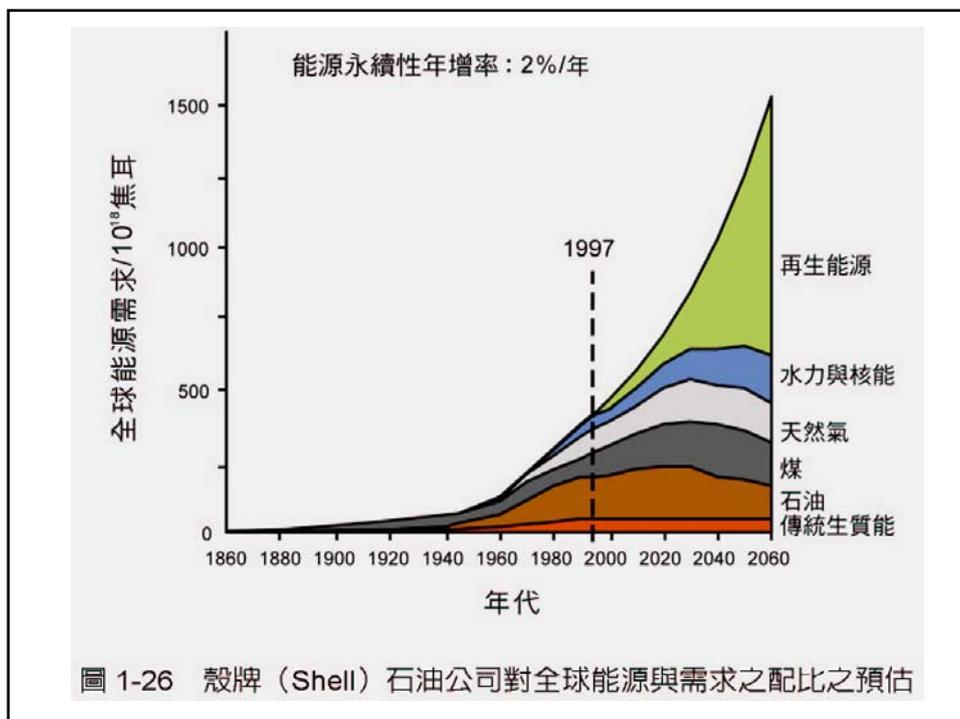
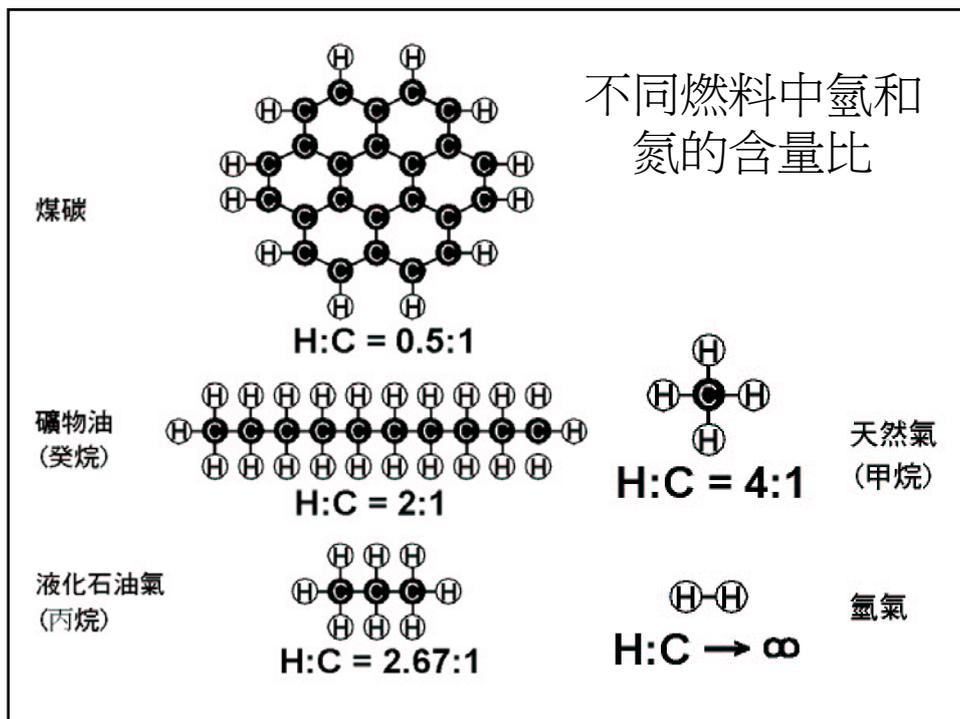


圖 1-23 全球能源使用之變遷



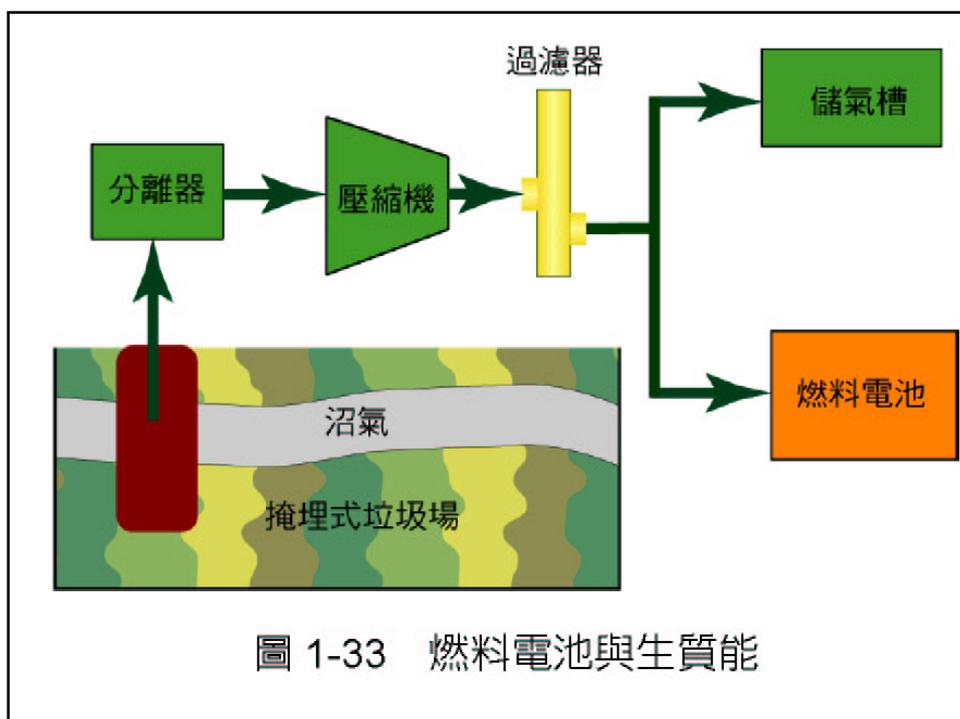
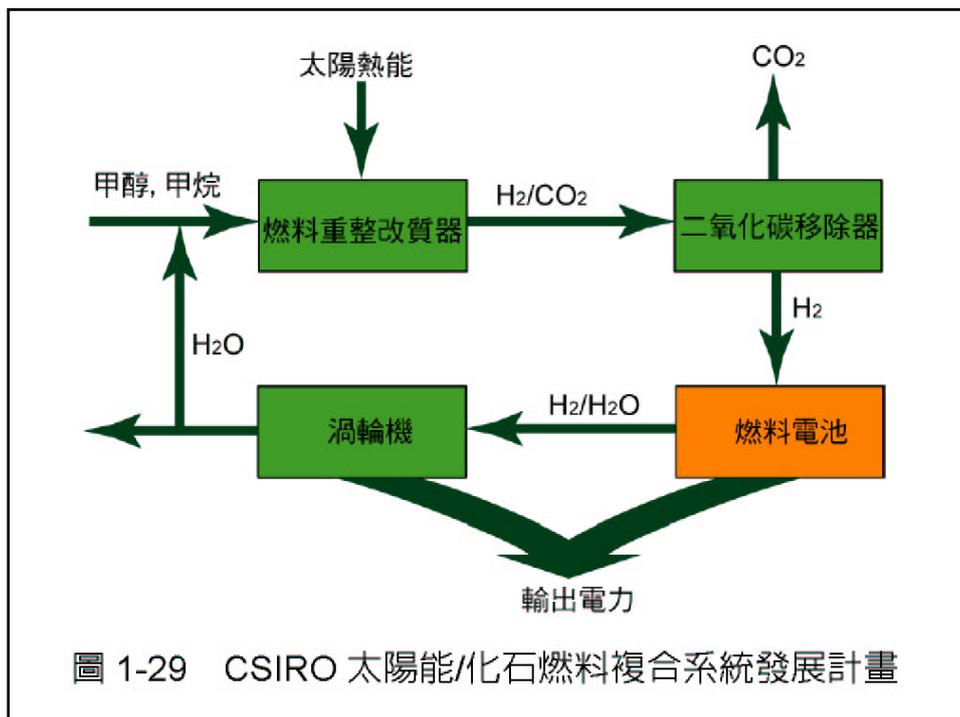




圖 1-28 Honda 太陽能製氫加注站 (照片取材自 Fuel Cell Today 網站)

