

高效生質能燃料電池 汽電共生系統效益評估

Performance Evaluate of High Efficiency Biomass Energy Fuel Cell Cogeneration System

謝景松、葉家宏、王建忠、莊嘉琛

國立台北科技大學冷凍空調工程研究所

摘 要

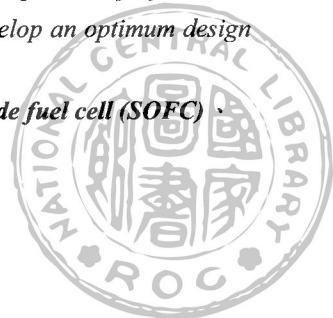
隨著化石燃料日益減少，加上能源需求遽增，使得世界各國積極尋求二次能源以解決能源短缺的問題。二次能源中，生質能具有取之不盡、用之不竭的特性，且含硫量約為化石燃料的百分之一，可降低空氣污染且不增加溫室氣體排放，因而為值得開發之能源技術。燃料電池具有能源效率高、不受自然環境因素影響、污染低等優點，又稱為未來能源之星。解析生質能源連結燃料電池汽電共生系統，將比較 MCFC 型/SOFC 型生質能燃料電池汽電共生系統之性能表現，以期發展出高效生質能燃料電池汽電共生系統之最佳設計規劃。

關鍵詞：生質氣化、固態氧化物燃料電池（SOFC）、熔融碳酸鹽燃料電池（MCFC）、吸收式冷凍機、微型汽渦輪機、性能係數（COP）

Abstract

Due to the fossil fuel is being decreased and energy consumption is being increased, to find the renewable energy to solve the energy shortage is becoming aggressively in the world. In the renewable energy biomass energy has an unlimited resource characteristics, which only contains around 1% sulfur of fossil fuel. It can reduce the air pollution and does not increase the greenhouse gases emission, therefore, that energy technology can be developed significantly. The fuel cells have high energy efficiency and can't be affected by the environmental factors as well as low pollution advantages, etc. It is the future major energy. It can analyze the biomass energy combined with fuel cell cogeneration system and compare the performance of MCFC type and SOFC type biomass energy fuel cell cogeneration system, to develop an optimum design of high efficiency biomass energy fuel cell cogeneration system.

Keywords : biomass gasification 、 molten carbonate fuel cell (MCFC) 、 solid oxide fuel cell (SOFC) 、 absorption refrigerator 、 micro gas turbine 、 COP



一、前言

近年由於京都議定書，限制溫室氣體排放量，使得世界各國加速發展再生能源。再生能源中以生質能源和燃料電池極具有發展潛力。生質物是一種具有潛力的再生能量資源，且可以適當地能量轉換，通常為電力或燃料，且經由生質物來產生能量可降低能源生產製造過程對地球所造成的衝擊。高溫型燃料電池中，最具代表性為熔融碳酸鹽燃料電池（MCFC）和固態氧化物燃料電池（SOFC），其適合應用於區域分散型與集中型電廠。高溫型燃料電池所排出的廢（餘）熱可再度用於微型汽渦輪機或其他熱驅動設備，進而組成燃料電池汽電共生系統。

若能以生質能源結合燃料電池組汽電共生系統成生質能燃料電池汽電共生系統，不但具有燃料利用效率高、廢熱回收再利用等優點且具有環境保護概念。因此本文規劃以生質能源結合燃料電池汽電共生系統，輸出熱／電／冷之能源，達到最佳化生質能燃料電池汽電共生系統。

一、生質能轉換技術

生質物是一種具有潛力的再生能量資源，可以藉由一些不同的能量轉換路徑適當地轉換，其產物為熱／電能量、燃料和化學原料。生質物轉換製程技術可分為：熱化學、生物化學／生物學和機械萃取（包含酯化）。四種熱化學轉化製程為：燃燒、熱分解、氣化和液化，如圖 1 所示。生物化學包含兩種製程：發酵（生產乙醇）和厭氧消化（生產甲烷和碳氧化合物），如圖 2 所示。機械萃取製造油菜種子甲酯（RME）和生物柴油，如圖 3 所示。

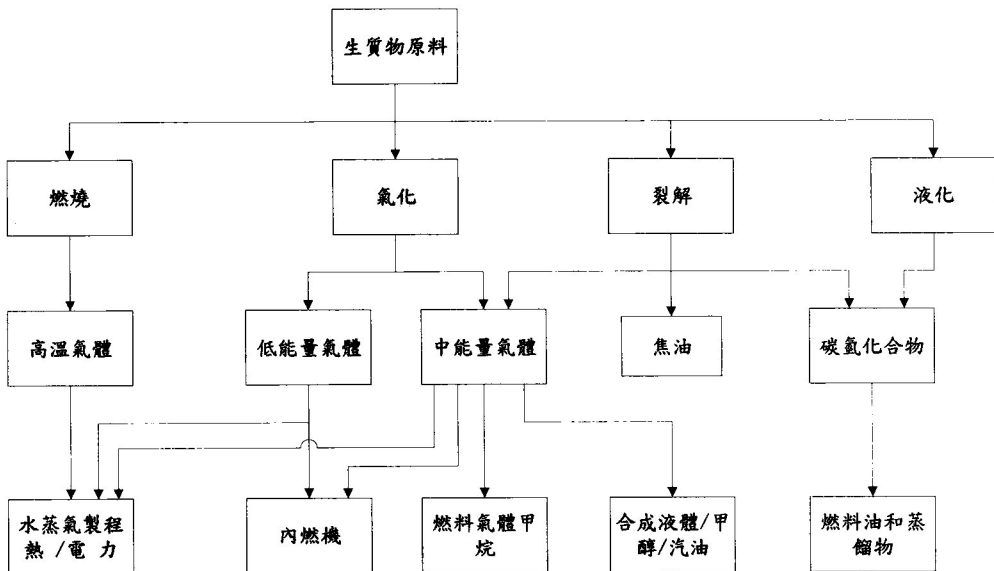


圖 1 生質物熱化學轉換之主要製程、中間能量及最終能量產物[1]



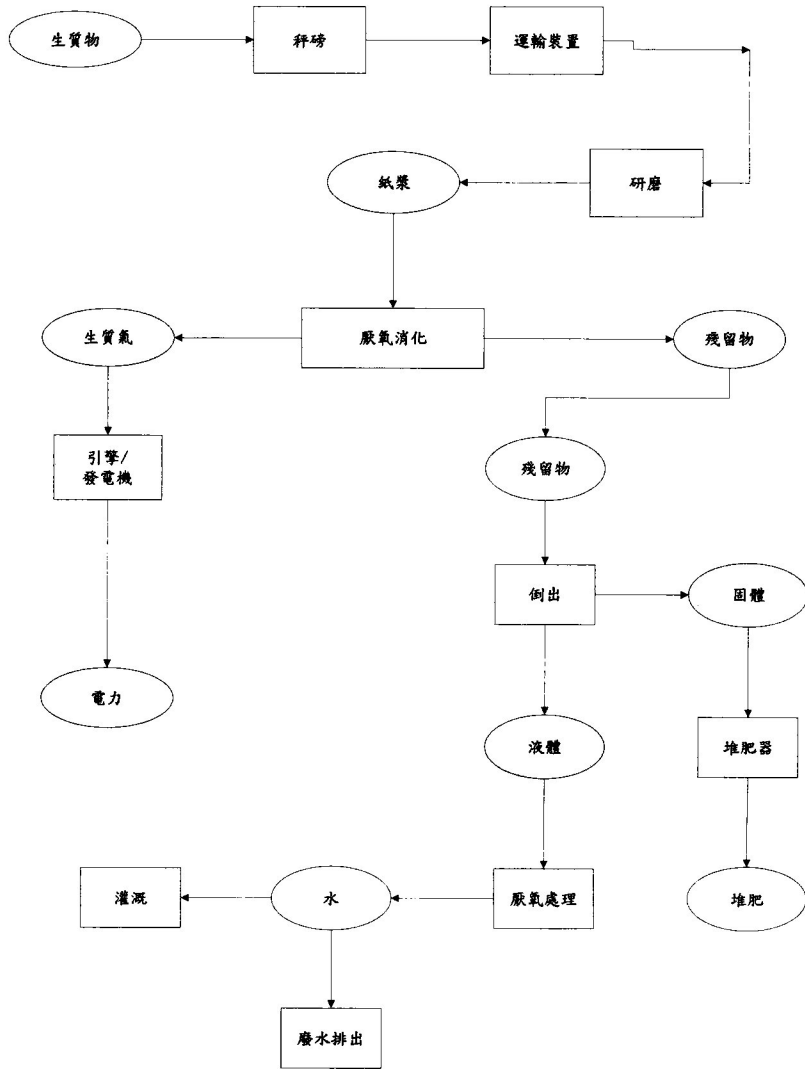


圖 2 生質物厭氧消化流程 [1]

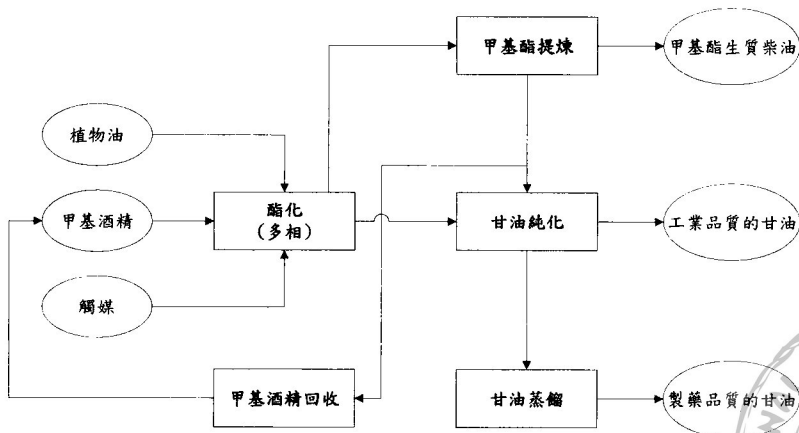


圖 3 甲基酯生質柴油和甘油生產流程 [1]



三、生質氣化轉換技術

藉由氣化將生質物轉化為適用於氣體燃料，提升生質物作為再生能源來源潛力。氣化是生質物藉由空氣、氧、蒸氣等氣化媒介加熱，轉換成氣態燃料的一種技術。不像燃燒實際上為在單一過程中完全氧化，氣化是將生質物的內含碳原子具有的化學能轉變成可燃氣體。氣化器反應反應式，如表 1 所示。藉由變化氣化媒介、操作方法和製程運轉條件可產生三種不同特性氣體。主要的氣化媒介是空氣，但氧氣/水蒸氣的氣化和氫化作用也會採用。三種氣化媒介的產氣具有不同的熱值，如表 2 所示。氣化型式可分為固定床和流化床。固定床可分為橫吸式、上吸式、下吸式三種型式；流化床可分為鼓泡床、循環流化床、雙床、攜帶床四種型式，表 3 所示為各類氣化器特性比較。

表 1 氣化器反應[2]

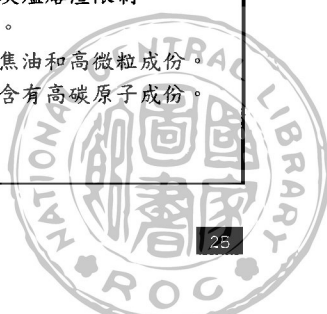
部分氧化	$C + 1/2O_2 \leftrightarrow CO$
完全氧化	$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$
水氣反應	$C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$
水氣體轉移反應	$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$
甲烷生成	$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$

表 2 三種氣化媒介之產氣熱值[2]

使用空氣和蒸氣／空氣媒介	低熱值	4~6 MJ/Nm ³
使用氧氣和蒸氣媒介	中熱值	12~18 MJ/Nm ³
使用氫氣和氫化反應	高熱值	40 MJ/Nm ³

表 3 各種類氣化器特性比較[2]

型 式	優 點	缺 點
固定／移動床，上吸式	(1) 簡單、便宜製程。 (2) 出口氣體溫度大約 250°C。 (3) 可操作運轉於符合要求高壓下。 (4) 高碳分子轉換效率。 (5) 氣體低塵量。 (6) 高熱效率。	(1) 形成大量焦油。 (2) 可能發生渠道效應。 (3) 進料量過小。 (4) 潛在熔渣問題。
固定／移動床，下吸式	(1) 簡單製程。 (2) 產氣只含有少許焦油。	(1) 進料量最小。 (2) 進料只容許有限的灰渣含量。 (3) 有限規模容量放大。 (4) 熔渣問題。
流化床	(1) 進料流率和組成成份容易掌握。 (2) 可接受有高灰渣燃料。 (3) 可以加壓。 (4) 產氣具有高甲烷含量。 (5) 高體積容量。 (6) 簡易溫度控制。	(1) 操作溫度受灰渣熔渣限制。 (2) 產氣溫度高。 (3) 氣體含有高焦油和高微粒成份。 (4) 灰渣中可能含有高碳原子成份。



循環式流化床	(1) 製程容易操縱。 (2) 操作溫度高達 850°C。	(1) 侵蝕和腐蝕問題。 (2) 生質物的使用很難控制操作。
雙床流化床	(1) 不需要氧氣。 (2) 由於低溫，具有高甲烷含量。 (3) 溫度限制。	(1) 在高壓下難以操作。 (2) 由於溫度較低，焦油含量較高。

四、高效 MCFC 型生質能燃料電池汽電共生系統

4-1 熔融碳酸鹽燃料電池作動原理

燃料極供給氫氣與電解質中的碳酸根離子 (CO₃²⁻) 反應，產生水、二氧化碳及電子，如方程式 (1) 所示。供給空氣極之氧氣、二氧化碳則與電子反應，形成碳酸根離子 (CO₃²⁻)。碳酸根離子 (CO₃²⁻) 經由電解質往燃料極擴散，如方程式 (2) 所示。全反應如方程式 (3) 所示，電池結構示意圖，如圖 4 所示。

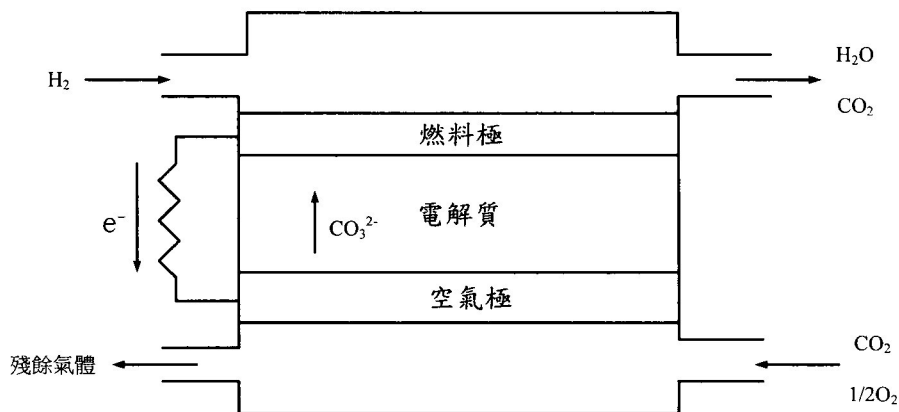


圖 4 熔融碳酸鹽燃料電池結構示意圖

4-2 MCFC 型生質能燃料電池汽電共生系統構造

生質能 MCFC 型燃料電池連結鍋爐、吸收式冷凍機、微型汽渦輪機和熱交換器組成燃料電池汽電共生系統。使用內部重整改質熔融碳酸鹽燃料電池，輸入生質氣和水蒸氣至燃料極，輸入高溫空氣至空氣極；其燃料電池本體溫度為 650°C，利用燃料電池排出熱量於微型汽渦輪機和吸收式冷凍機，吸收式冷凍機製造 7°C 冷水用於空調系統，且利用吸收式冷凍機廢熱製造熱水，此系統可同時輸出電／熱／冷能。生質物轉換效率為 80%；系統輸出電力分別為 MCFC 燃料電池輸出電力為

4-3 MCFC 型生質能燃料電池汽電共生系統性能計算

1. 吸收式冷凍機輸入熱源

$$Q_{AR,in} = \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_6 h_6 \quad (4)$$

$$\because \dot{m}_5 = \dot{m}_6$$

$$\begin{aligned} \therefore Q_{AR,in} &= \dot{m}_5 (h_5 - h_6) = 0.587 \times (3014.3 - 2716.28) \\ &= 174.94 \left(\frac{kJ}{s} \right) \end{aligned}$$

2. 吸收式冷凍機製冷量

$$Q_{AR,out} = \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_9 h_9 \quad (5)$$

$$\because \dot{m}_8 = \dot{m}_9$$

$$\begin{aligned} \therefore Q_{AR,out} &= \dot{m}_8 (h_8 - h_9) = 5 \times (104.89 - 29.38) \\ &= 377.5 \left(\frac{kJ}{s} \right) \end{aligned}$$

3. 吸收式冷凍機性能係數 (COP)

$$COP_{AR} = \frac{Q_{AR,out}}{Q_{AR,in}} = \frac{377.5}{174.94} = 2.16 \quad (6)$$

4. 吸收式冷凍機廢熱回收用於製造溫熱水

$$Q_{AR} = \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_7 h_7 \quad (7)$$

$$\because \dot{m}_6 = \dot{m}_7$$

$$\begin{aligned} \therefore Q_{AR} &= \dot{m}_6 (h_6 - h_7) = 0.587 \times (2716.28 - 251.13) \\ &= 1447.04 \left(\frac{kJ}{s} \right) \end{aligned}$$

5. 假設溫熱水入口溫度分別為 20°C、45°C

$$Q_{AR} = \dot{m}_{11} h_{11} - \dot{m}_{10} h_{10} \quad (8)$$

$$\because \dot{m}_{11} = \dot{m}_{10}$$

$$\therefore Q_{AR} = \dot{m}_{10} (h_{11} - h_{10}) \Rightarrow 1447.04 = \dot{m}_{10} \times (188.45 - 83.96)$$

$$\dot{m}_{10} = 13.84 \left(\frac{kg}{s} \right) \text{ 得到溫熱水量}$$

5. MCFC 電力輸出性能係數 (COP)

$$COP_{MCFC} = \frac{MCFC \text{ 電力輸出}}{\text{輸入燃料}} \quad (9)$$

$$= \frac{250}{0.0147 \times 51863 + 0.0413 \times 3552 + 0.656 \times 298.2} = 0.226$$



6. 微型氣渦輪機 (MGT) 輸出電力性能係數 (COP)

$$COP_{MGT} = \frac{MGT \text{ 電力輸出}}{\text{輸入燃料}} \tag{10}$$

$$= \frac{35}{0.01475 \times 51863 + 0.0413 \times 3552 + 0.656 \times 298.2} = 0.032$$

7. 全系統性能係數 (COP)

$$COP_{SYSTEM} = \frac{\text{系統總能量輸出}}{\text{輸入燃料}} \tag{11}$$

$$= \frac{250 + 35 + 377.5}{0.0147 \times 51863 + 0.0413 \times 3552 + 0.656 \times 298.2 + 20} = 0.618$$

4-4 MCFC 型生質能燃料電池汽電共生系統元件性能係數

經由系統性能計算得知各元件之性能係數值 (COP)。吸收式冷凍機性能係數 (COP) 為 2.16、熔融碳酸鹽燃料電池 (MCFC) 性能係數 (COP) 為 0.226、微型汽渦輪機 (MGT) 為 0.032、系統整體性能係數 (COP) 為 0.618，如圖 6 所示。使用冷凍機廢熱製造溫熱水量為 13.84 (kg/s)。

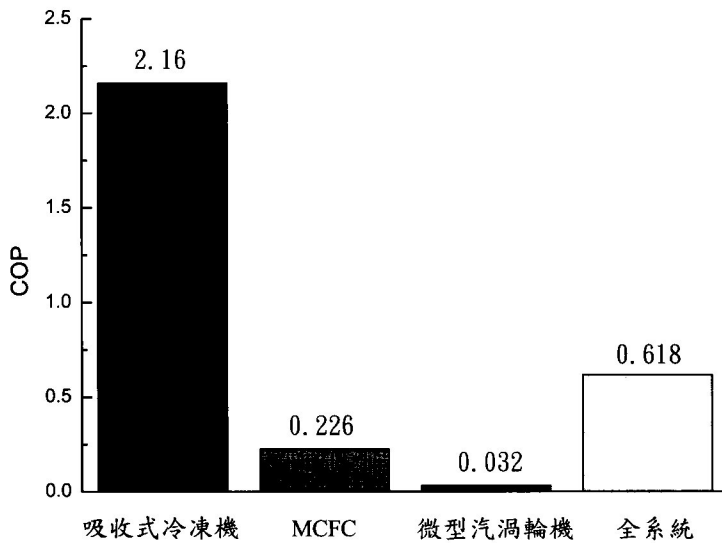


圖 6 生質能 MCFC 型燃料電池汽電共生系統元件 COP (本文計算結果)



五、高效 SOFC 型生質能燃料電池汽電共生系統

5-1 固態氧化物燃料電池作動原理

空氣中氧氣得到電子變成氧離子 (O^{2-})，經由電解質往燃料極移動，如方程式(12)所示。燃料極之燃料氣體氫氣 (H_2) 與氧離子 (O^{2-}) 發生反應，如方程式(13)所示。全反應如方程式(14)所示，電池結構示意圖，如圖 7 所示。

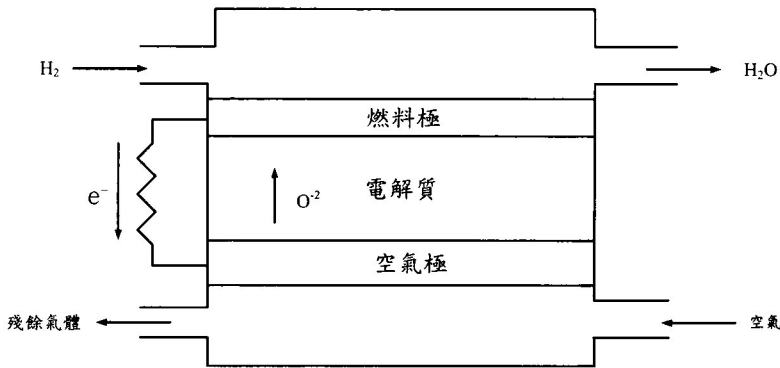


圖 7 固態氧化物燃料電池結構示意圖

5-2 SOFC 型生質能燃料電池汽電共生系統構造

生質能 SOFC 型燃料電池連結吸收式冷凍機、微型汽渦輪機和熱交換器組成燃料電池汽電共生系統。使用內部重整改質固態氧化物燃料電池，輸入生質氣至燃料極，輸入空氣至空氣極；其燃料電池本體溫度為 $1000^{\circ}C$ ，利用燃料電池排出熱量於微型汽渦輪機和吸收式冷凍機，吸收式冷凍機製造 $7^{\circ}C$ 冷水用於空調系統，且利用吸收式冷凍機和微型汽輪機廢熱製造熱水，此系統可同時輸出電／熱／冷能。生質物轉換效率為 80%；系統輸出電力分別為 SOFC 燃料電池輸出電力為 250kW，微型汽渦輪機輸出電力為 50 kW。生質能 SOFC 型燃料電池汽電共生系統結構如圖 8 所示，系統狀態點如表 5 所示。



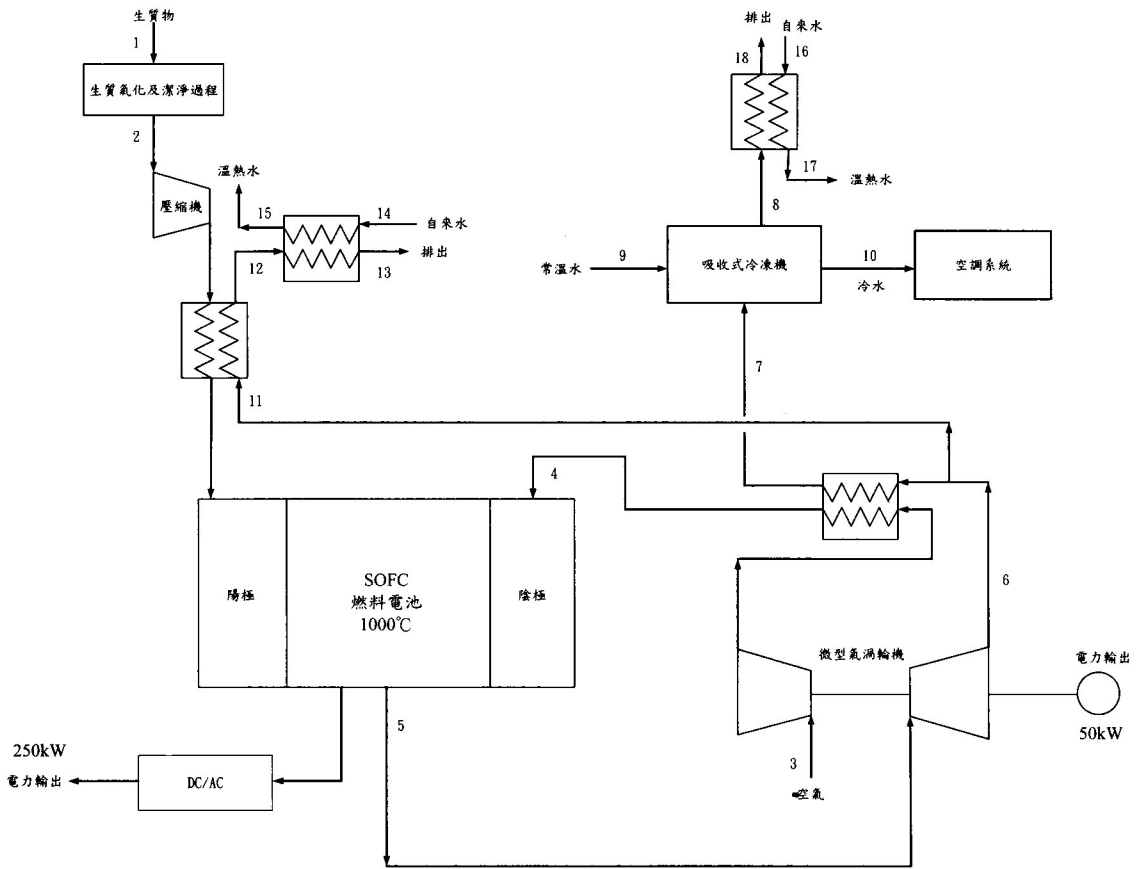
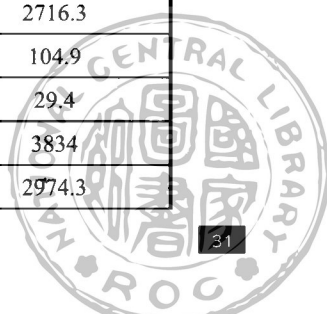


圖 8 生質能 SOFC 型燃料電池汽電共生系統 (本文規劃)

表 5 生質能 SOFC 型燃料電池汽電共生系統狀態條件 (本文計算結果)

狀態點	溫度 (°C)	質量 (kg/h)	焓值 (kJ/kg)
1		51863	0.0142
2		51863	0.0114
3	25	0.476	298.2
4	605	0.476	908.2
5	1000	0.57	4639
6	658	0.57	3834
7	270	0.558	3014
8	120	0.558	2716.3
9	25	5	104.9
10	7	5	29.4
11	658	0.012	3834
12	250	0.012	2974.3



13	70	0.012	417.46
14	20	0.294	188.42
15	45	0.294	83.94
16	20	1.276	188.42
17	45	1.276	83.94
18	50	0.058	417.4

5-3 SOFC 型生質能燃料電池汽電共生系統性能計算

1. 微型氣渦輪機 (MGT) 廢熱回收用於製造溫熱水

$$Q_{MGT} = \dot{m}_{12} h_{12} - \dot{m}_{13} h_{13} \quad (15)$$

$$\therefore \dot{m}_{12} = \dot{m}_{13}$$

$$\begin{aligned} \therefore Q_{MGT} &= \dot{m}_{12}(h_{12} - h_{13}) = 0.012 \times (2974.3 - 417.46) \\ &= 30.68 \left(\frac{kJ}{s} \right) \end{aligned}$$

假設溫熱水出入口溫度分別為 20°C 和 45°C

$$Q_{MGT} = \dot{m}_{14} h_{14} - \dot{m}_{15} h_{15} \quad (16)$$

$$\therefore \dot{m}_{14} = \dot{m}_{15}$$

$$\therefore Q_{MGT} = \dot{m}_{14}(h_{14} - h_{15})$$

$$30.68 = \dot{m}_{14} \times (188.42 - 83.94)$$

$$\dot{m}_{14} = 0.294 \left(\frac{kg}{s} \right) \text{ 得到溫熱水量}$$

2. 吸收式冷凍機廢熱回收用於製造溫熱水

$$Q_{AR} = \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_{18} h_{18} \quad (17)$$

$$\therefore \dot{m}_8 = \dot{m}_{18}$$

$$\therefore Q_{AR} = \dot{m}_8(h_8 - h_{18}) = 0.058 \times (2716.3 - 417.4)$$

$$= 133.34 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

假設溫熱水出入口溫度分別為 20°C 和 45°C

$$Q_{AR} = \dot{m}_{16} h_{16} - \dot{m}_{17} h_{17} \quad (18)$$

$$\therefore \dot{m}_{16} = \dot{m}_{17}$$

$$\therefore Q_{AR} = \dot{m}_{16}(h_{16} - h_{17})$$

$$133.34 = \dot{m}_{16} (188.42 - 83.94)$$

$$\dot{m}_{16} = 1.276 \left(\frac{kg}{s} \right) \text{ 得到溫熱水量}$$



得到微型氣渦輪機 (MGT) 廢熱和吸收式冷凍機廢熱回收製造溫熱水總量為

$$0.294 + 1.276 = 1.57 \text{ (kg/s)}$$

3. 吸收式冷凍機輸入熱源

$$Q_{AR,in} = \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_8 h_8 \quad (19)$$

$$\therefore \dot{m}_7 = \dot{m}_8$$

$$\begin{aligned} \therefore Q_{AR,in} &= \dot{m}_7 (h_7 - h_8) = 0.558 \times (3014 - 2716.3) \\ &= 166.12 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right) \end{aligned}$$

4. 吸收式冷凍機製冷量

$$Q_{AR,out} = \dot{m}_9 h_9 - \dot{m}_{10} h_{10} \quad (20)$$

$$\therefore \dot{m}_9 = \dot{m}_{10}$$

$$\begin{aligned} \therefore Q_{AR,out} &= \dot{m}_9 (h_9 - h_{10}) = 5 \times (104.9 - 29.4) \\ &= 377.5 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right) \end{aligned}$$

5. 吸收式冷凍機性能係數 (COP)

$$COP_{AR} = \frac{Q_{AR,out}}{Q_{AR,in}} = \frac{377.5}{166.12} = 2.27 \quad (21)$$

6. SOFC 輸出電力之性能係數 (COP)

$$\begin{aligned} COP_{SOFC} &= \frac{\text{SOFC 電力輸出}}{\text{輸入燃料}} \quad (22) \\ &= \frac{250}{0.0142 \times 51863 + 0.476 \times 298.2} = 0.285 \end{aligned}$$

7. 微型氣渦輪機 (MGT) 輸出電力之性能係數 (COP)

$$\begin{aligned} COP_{MGT} &= \frac{\text{MGT 電力輸出}}{\text{輸入燃料}} \quad (23) \\ &= \frac{50}{0.0142 \times 51863 + 0.476 \times 298.2} = 0.057 \end{aligned}$$

8. 全系統之性能係數 (COP)

$$\begin{aligned} COP_{SYSTEM} &= \frac{\text{系統總能量輸出}}{\text{輸入燃料}} \quad (24) \\ &= \frac{250 + 50 + 377.5}{0.0142 \times 51863 + 0.476 \times 298.2} = 0.771 \end{aligned}$$

5-4 SOFC 型生質能燃料電池汽電共生系統元件性能係數

經由系統性能計算得知各元件之性能係數 (COP)。吸收式冷凍機性能係數 (COP) 為 2.27、熔融碳酸鹽燃料電池 (MCFC) 性能係數 (COP) 為 0.285、微型汽渦輪機 (MGT) 為 0.057、系統整體性能係數 (COP) 為 0.771，如圖 9 所示。使用冷凍機和微型汽渦輪機廢熱製造溫熱水量為 1.57 (kg/s)。



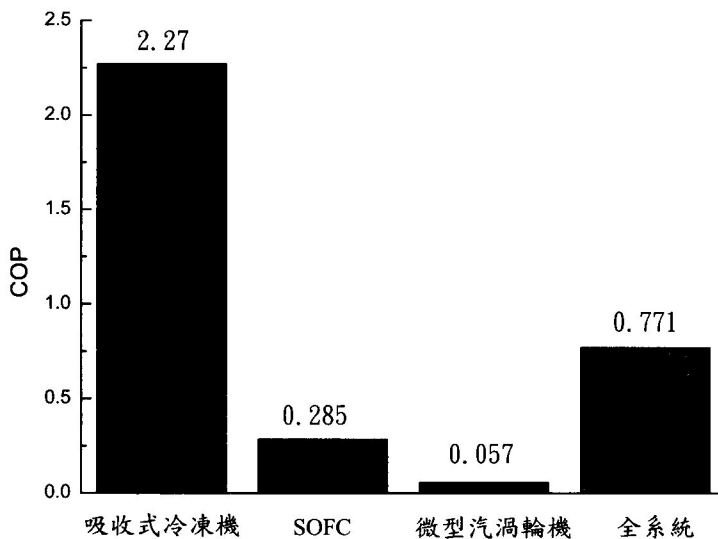


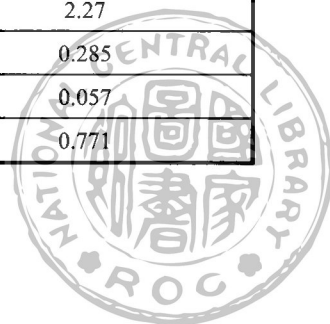
圖 9 生質能 SOFC 型燃料電池汽電共生系統元件 COP (本文計算結果)

六、MCFC 型/SOFC 型生質能燃料電池汽電共生系統性能比較

MCFC 型汽電共生系統輸入燃料極燃料為生質氣和水蒸氣，輸入空氣極燃料為空氣；SOFC 型汽電共生系統輸入燃料極燃料為生質氣，輸入空氣極燃料為空氣。兩生質能燃料電池汽電共生系統之燃料電池皆為內部重組改質，所以外部不需加入重組改質器。MCFC 型和 SOFC 型燃料電池本體電力輸出皆為 250kW，吸收式冷凍機製冷水量用於空調系統皆為 5kg/s。MCFC 型系統之微型渦輪機輸出電力為 35kW，SOFC 型系統之微型渦輪機輸出電力為 50kW；MCFC 型系統/SOFC 型系統廢熱用於製造溫熱水量分別為 13.84 kg/s 和 1.57 kg/s。兩系統元件差異為 MCFC 型汽電共生系統需使用鍋爐用於加熱水為水蒸氣，其鍋爐熱量需求為 20 kW。兩生質能燃料電池汽電共生系統之組成元件性能係數 (COP) 和全系統性能係數 (COP) 值和性能參數比較，分別如圖 10 和表 6 所示。

表 6 生質能 SOFC 型/MCFC 型燃料電池汽電共生系統 COP 值比較 (本文計算結果)

得到溫熱水量 (kg/s)	13.84	1.57
吸收式冷凍機輸入熱源 (kJ/s)	174.94	166.12
吸收式冷凍機製冷量 (kJ/s)	377.5	377.5
吸收式冷凍機性能係數 COP_{AR}	2.16	2.27
燃料電池性能係數 $COP_{MCFC/SOFC}$	0.226	0.285
微型渦輪機性能係數 COP_{MGT}	0.032	0.057
全系統性能係數 COP_{SYSTEM}	0.618	0.771



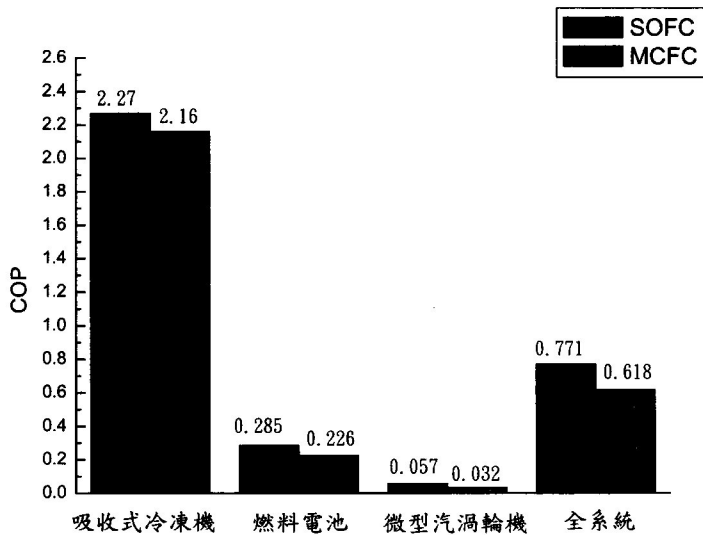


圖 10 生質能 MCFC 型/SOFC 型燃料電池汽電共生系統 COP 比較 (本文計算結果)

結 論

綜合本文內容所述，可歸納其結果為下列諸項：

1. 氣化是一種多方面熱化學轉化製程，可製造 CH_4 、 CO 和 H_2 的氣體混合物，其成分比例由使用空氣、氧氣或蒸氣氣化媒介來決定，氣化器有兩種主要種類，固定床和流體化床，每個種類和其個別特質有不同的變化，用以決定原料準備/前置作業的需要和範圍。使用簡單、堅固耐用的氣化技術，可藉著當地生質物來源所提供的電力來幫助經濟發展，同時也可幫助國家廢棄物處理之環境問題。
2. 在相同燃料電池輸出電力和相同製冰水量情況下，經由性能計算結果指出 MCFC 型生質能汽電共生系統組成元件包含吸收式冷凍機、微型汽渦輪機和熔融碳酸鹽燃料電池，其性能係數 (COP) 分別為 2.16、0.032 和 0.226，整體系統性能係數 (COP) 為 0.618。SOFC 型生質能汽電共生系統組成元件包含吸收式冷凍機、微型汽渦輪機和固態氧化物燃料電池，其性能係數 (COP) 分別為 2.27、0.057 和 0.285，整體系統性能係數 (COP) 為 0.771。
3. 比較兩系統性能參數得知，SOFC 型生質能汽電共生系統比 MCFC 型生質能汽電共生系統較具效率，原因為 SOFC 型燃料電池排出溫度較高，故可提高熱電效率，進而提升整體系統性能係數 (COP)，所以採用本文規劃之 SOFC 型生質能汽電共生系統可輸出熱/電/冷能、達到高燃料利用效率、降低環境污染等優點。



八、參考文獻

1. Peter McKendry, "Energy production from biomass : conversion technologies", Applied Enviromental Research Ceneter Ltd, 47-54, 2001.
2. Peter McKendry, "Energy production from biomass : gasification technologies", Applied Enviromental Research Ceneter Ltd, 55-63, 2001.
3. Tuna CE, Silveira JL. "Thermoeconomic analysis method for optimization of combined heat and power systems". In: Proceedings of 5th ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference. San Diego, CA: ASME, OH, 1999:1- 7.
4. Jose Luz Silveira, Elisangela Martins Leal, Luiz F. Ragonha Jr. "Analysis of a molten carbonate fuel cell : cogeneration to produce electricity and cold water". Energy 2001;26891-904.
5. A.O. Omosun, A. Beauen, N.P. Brandon, "Modelling system efficiencies and costs of two biomass-fuelled SOFC systems, Department of Chemical Engineering and Chemical Technology, Imperial College, 96-106, 2004.
6. Roberto Bove, Piero Lunghi, "Experimental comparison of MCFC performance using three different biogas types and methane", University of Perugia, Industrial Engineering Department, 588-593, 2005.
7. 黃克修, 莊嘉琛, 「商業建築混元型空調系統應用研究」, 台北科技大學碩士論文, 民 91。
8. 林儀泰, 莊嘉琛, 「燃料電池排熱利用在 LiBr/H₂O 吸收式熱泵系統效益模擬分析」, 台北科技大學碩士論文, 民 92。
9. 丘聖生, 莊嘉琛, 「MCFC 型燃料電池在商辦大樓自宅用型汽電共生系統應用特性研究」, 台北科技大學碩士論文, 民 94。

冷凍空調期

樣業界，不一樣的活

