

# 111年度氣候變遷創意實作競賽

## 決賽作品說明書

隊伍編號+名稱	17 yo 是渦卷搞的鬼
作品中文名稱	低熱快產電
作品英文名稱	WoW ORC

參賽學校：國立勤益科技大學

指導老師：謝瑞青

團隊成員：謝易騏、廖朕浩、陳彥勳

## 目錄

摘要.....	3
Abstract.....	3
一、設計構想及運作說明.....	4
(一)構想來源.....	4
(二)系統運作說明.....	6
1.工作原理.....	6
2.操作說明.....	7
二、作品說明.....	8
(一)作品展示.....	8
(二)作品材料說明.....	10
1.膨脹機.....	10
2.熱源與蒸發器.....	11
3.工作流體泵浦.....	13
4.冷源與冷凝器.....	14
5.發電機.....	14
(三)作品實驗數據.....	15
1.發電量.....	16
2.膨脹機等熵效率.....	16
3.系統效率.....	17
三、創作特點與創意說明.....	19

四、作品應用範圍及發展潛能 .....	26
(一)應用範圍 .....	26
(二)發展潛能 .....	26
1.商業模式 .....	26
2. 工程承包模式 (Engineering Procurement Construction, EPC).....	28
五、工作分配 .....	29
六、作品設計花絮 .....	30
七、作品實作展示 .....	31
八、參考資料 .....	32

## 摘要

為了提升能源使用效率及減緩氣候變遷對地球傷害，故建立低成本微型有機朗肯循環系統。本研究核心專利技術經實驗證實可提高不穩定熱源之發電量，最大發電功率2kW、每年 CO<sub>2</sub>減排8公噸，同時可符合 SDGs 目標7、12及13。

## Abstract

To improve the efficiency of energy and reduce the damage of climate change to the earth, a low-cost and micro-scale organic Rankine cycle system has been established. The core technology of the system has been proved by experiments that can increase the system performance under unstable heat sources. The results show that the maximum power generation is 2kW, the annual CO<sub>2</sub> emission reduction is 8 tons, and it can meet SDGs goals 7, 12 and 13.

## 一、設計構想及運作說明

### (一)構想來源

能源有效利用是長期受到關注的議題，據調查台灣有20~50%的能源會因為廢熱排放至外界[1]，其中以低溫廢熱( $<200^{\circ}\text{C}$ )占比最高達到55%，如圖 1台灣廢熱溫度分布圖[2]所示，由此可知低溫廢熱若能回收則可有效改善能源之利用率。有機朗肯循環(organic Rankine cycle, ORC)其原理與朗肯循環系統相同，但ORC係利用較低沸點之工作流體，故其可使用較低溫的熱源，並將低溫熱能轉換為電力，且適用於不同熱源，如太陽能[3]、生質能[4]與地熱能[5]等，是兼具環保、可靠且不須高溫能源即可發電之系統，發電過程中也是零碳排放，符合世界淨零(Net zero)目標之精神，為具有經濟效益的綠色及節能科技。臺灣位處板塊交界處，蘊藏豐富的地熱資源，地熱溫度一般介於 $90\text{-}200^{\circ}\text{C}$ ，正為 ORC 發電所適合溫度，國內以這四個區域擁有較豐富的地熱資源，分別為宜蘭地區、大屯火山群、花東地區及廬山地區，國內預估有33.64 GWe的地熱潛能分布，以及7,150 MWe 的發電裝置容量，相當於目前全國裝置容量的14.65%[6]，為一項相當具有潛力的能源。

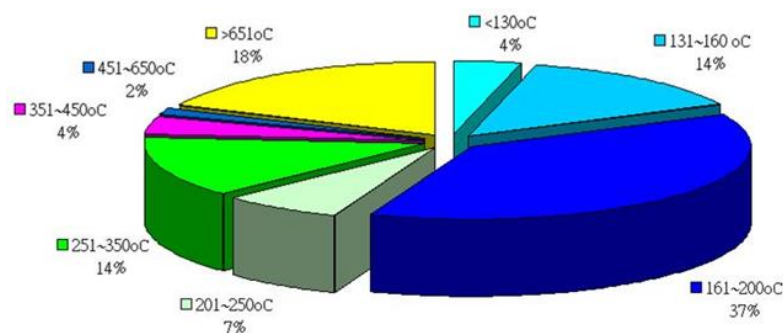


圖 1 台灣廢熱溫度分布圖[2]

目前大部分商用之ORC大多利用熱源溫度 $110^{\circ}\text{C}$ 以上之熱源進行回收發電(如表 1)[6]，因為ORC單位成本與熱源溫度成反比，熱源溫度越低、系統成本越高，此外ORC系統之單位成本又與系統容量有關，發電容量越大系統單位成本

越低，因此鮮少人開發低溫且微型之系統，若要全面推廣工業廢熱回收(如鑄造廠)及分散式電力(地熱與太陽能等)，具經濟價值之微型化系統則必須加緊開發。因此作品目的係開發一低成本、便利性高、具發電及經濟性的微型低階熱源發電系統。

但上述的技術困難度在於，低階熱源且微型系統兩者對於系統成本是巨大的挑戰，因此本作品在於如何利用國產且市面上可使用之零組件進行組裝，因為如此才有機會大幅降低成本。此外，市面上的ORC系統都是客製化，本作品將以模組化的方式進行設計，避免客製化系統以降低成本。最後不論是工業廢熱回收、內燃機廢熱回收或太陽熱能發電，最大的問題在於熱源的不穩定，因此本作品將使用專利技術(本實驗室之核心專利)，證明系統在不穩定熱源下具有維持高效能之能力。

表 1 國外商用 ORC 資訊[6]

Manufacturer (Country)	Applications	Power range	Heat source Temperature	Working Fluid	Expander Type
Pratt&Whitney (US)	CHP, Solar, Geothermal, WHR	220-260 kW <sub>e</sub>	91~149°C	R245fa	N/A
Electratherm (US)	WHR, Solar	50kW <sub>e</sub>	>93°C	R245fa	Twin screw
Bosch KWK (Germany)	WHR	65-325kW <sub>e</sub>	120~150°C	R245fa	N/A
Turboden PureCycle (US)	Geothermal, WHR	280kW <sub>e</sub>	91~149°C	R245fa	Radial Inflow turbine
GE CleanCycle (US)	WHR	125kW <sub>e</sub>	>121°C	R245fa	Single Stage radial Inflow turbine

## (二) 系統運作說明

### 1. 工作原理

本作品根據有機朗肯循環原理，運作原理如圖 2 所示，工作流體藉由吸熱與放熱的原理在系統中進行相態變化，膨脹機也因而轉動並帶動發電機發電，下列將針對各站點之作動進行解說。

1. 站點1至站點2：工作流體由工作流體泵浦進行加壓送至蒸發器
2. 站點2至站點3：液態工作流體於蒸發器內吸收熱量後成為過熱蒸氣後進入膨脹機
3. 站點3至站點4：此高溫高壓之氣態工作流體於膨脹機內降壓降溫膨脹，將壓力差轉換為膨脹機轉子之旋轉動能，並帶動發電機轉換為電力輸出
4. 站點4至站點1：將做功後之低壓氣態工作流體傳送到冷凝器，並於冷凝器內與外部冷源進行熱交換，將氣態工作流體放熱成液態後，輸送到工作流體泵浦，完成熱力循環。

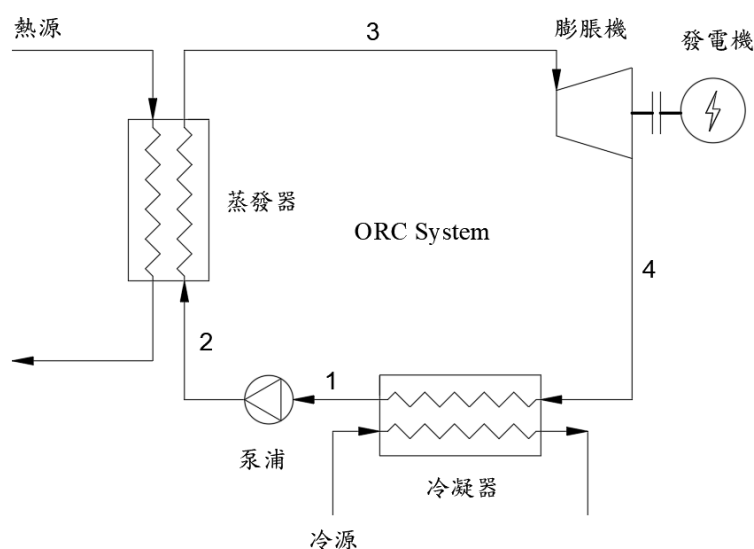


圖 2 ORC 運作原理圖

## 2.操作說明

本作品之操作流程由圖 3 所示，以下將針對各步驟進行詳細解說。

1. Step 1：開啟總電源
2. Step 2：開啟冷熱源水泵浦
3. Step 3：開啟鍋爐並設定目標溫度
4. Step 4：檢查電磁閥、泵浦進出口的角閥是否開啟
5. Step 5：確認系統中流體液位是否正常
6. Step 6：確認膨脹機之閥門是否開啟
7. Step 7：根據熱源溫度，在操作面板上調整變頻器至適合之頻率(如圖 4)
8. Step 8：監測系統

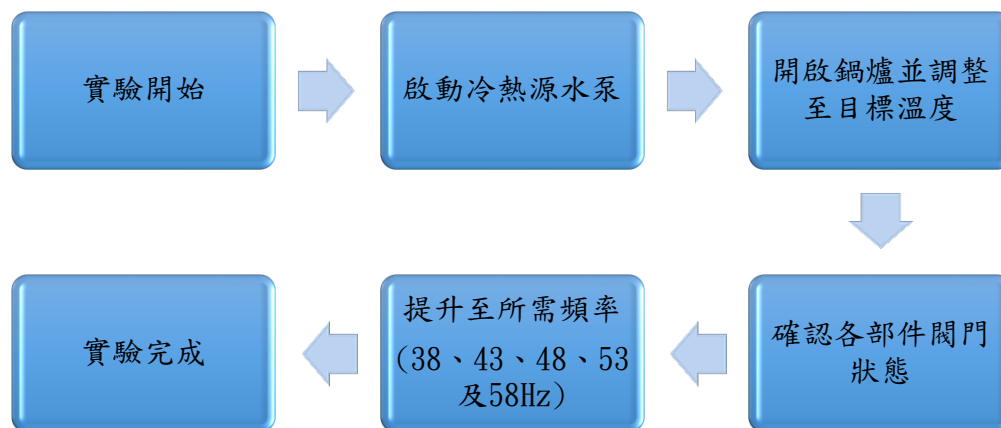


圖 3 ORC 系統之操作流程圖

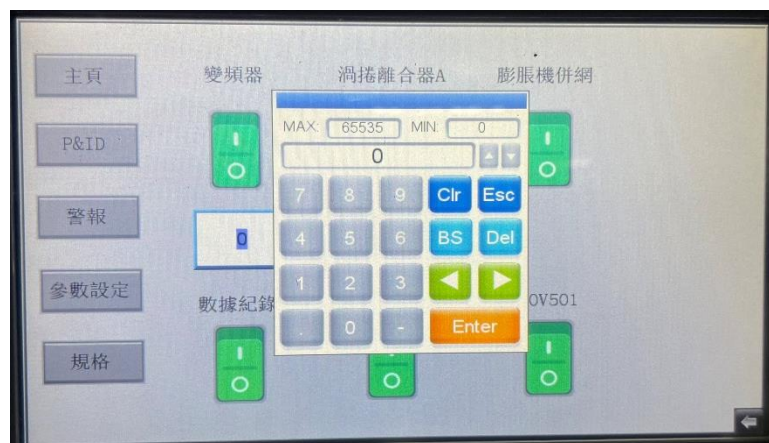


圖 4 變頻器之頻率調整介面



## 二、作品說明

### (一) 作品展示

根據設計條件選用相關零組件及感測器並進行系統建置，利用 Solidworks 繪製3D 系統模型(如圖 5(a))後，再依照所繪製之圖面進行零組件安裝與架設，整體系統尺寸為寬120cm、高248cm 及深165cm，系統照片如圖 5(b)所示，詳細零組件位置如圖 6所示。

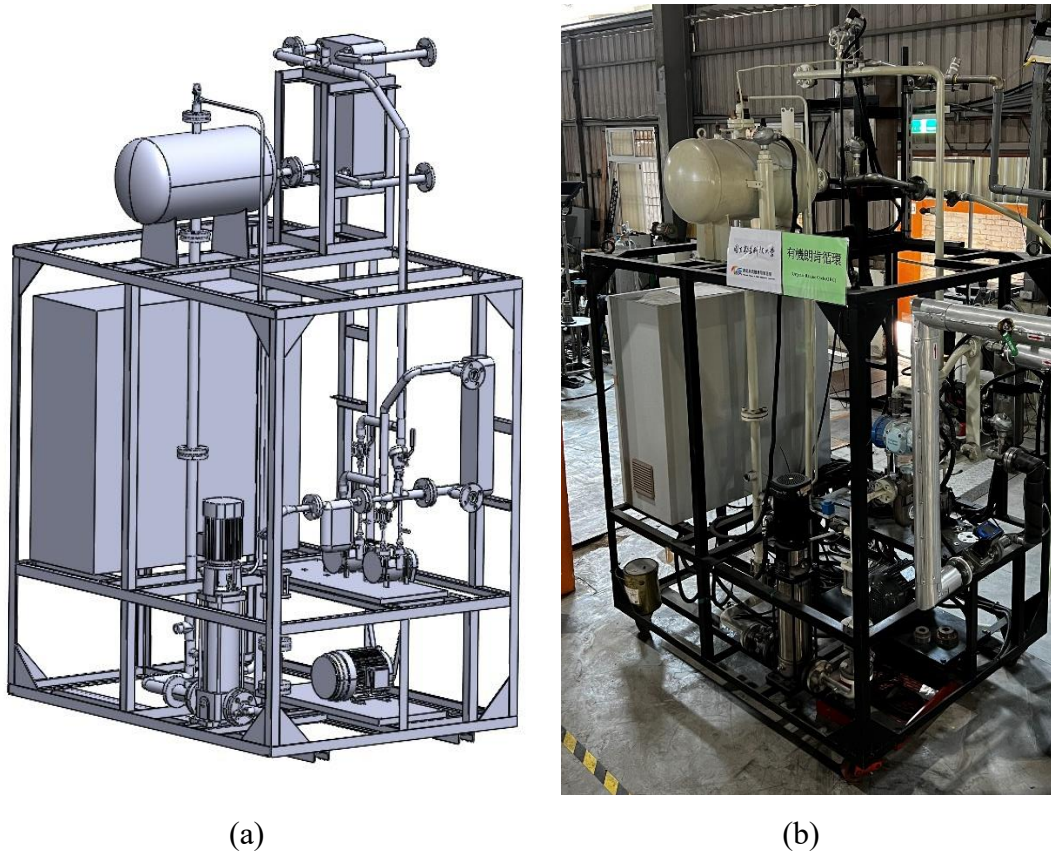


圖 5 本作品之(a)系統 3D 設計圖與(b)實際照片

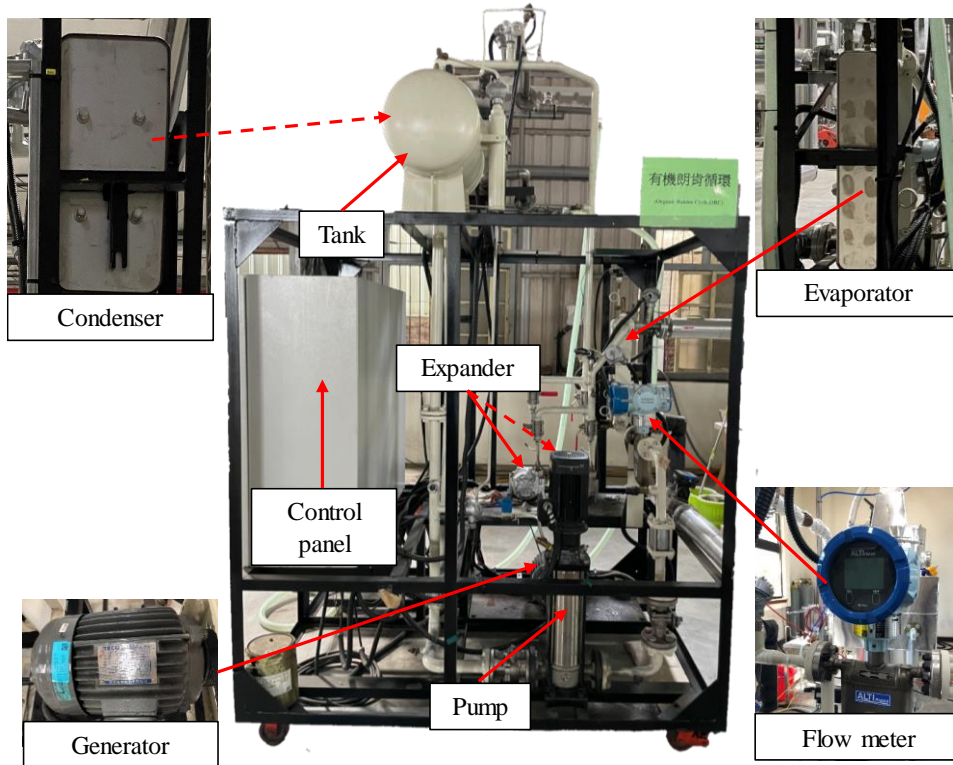


圖 6 ORC 系統各部件

本作品可即時顯示感測器所量測的資料(圖 7)並可在操作面板上控制膨脹機離合片開關、泵浦頻率...等操作，方便操作者能依照不同情況下進行不同的操作，且可將數據紀錄於 PLC 並輸出成檔案，以利後續數據分析與計算。

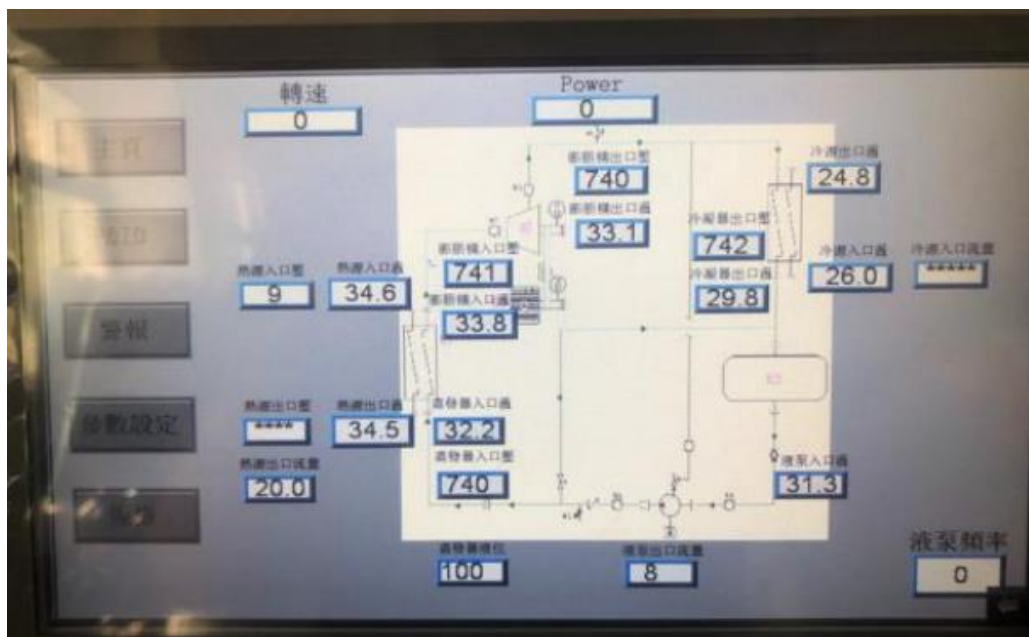


圖 7 ORC 系統之操作面板

## (二) 作品材料說明

根據系統細部設計結果，挑選適合之零組件，其中包含：膨脹機、蒸發器、泵浦、冷凝器及發電機等，將於本節詳加介紹。

### 1. 膨脹機

本作品選擇使用容積式之渦卷膨脹機，容積式膨脹機具有構造簡單、購入成本低，符合本企劃建置低成本 ORC 系統之目標，且選用之膨脹機係以報廢之車用壓縮機改造而成，具有回收再利用的綠色價值。

圖 8(a)顯示渦卷膨脹機係由一組開線齒型之靜、動渦卷組成，因結構緊湊故具有體積小、重量輕等優點，利用兩共軛「漸開線型」的渦卷件相互嚙合達到極高的壓縮功率且不互相碰撞，並可減少磨擦以增加使用壽命，由於扭矩變化較小，噪音與震動大幅降低。零件部分比起活塞式減少許多，保養成本也大大降低，耐用度亦大大增加，在實驗過程中亦會添加冷凍油 PAG-100，其功能可減少摩擦損失並具有密封與冷卻功能，添加量為環路中冷媒總質量之2%[8]。渦卷式膨脹機運作流為吸氣(su1-su2)、膨脹(su2-ex2)及排出(ex2-ex1)[8]，如圖 8(b)所示。

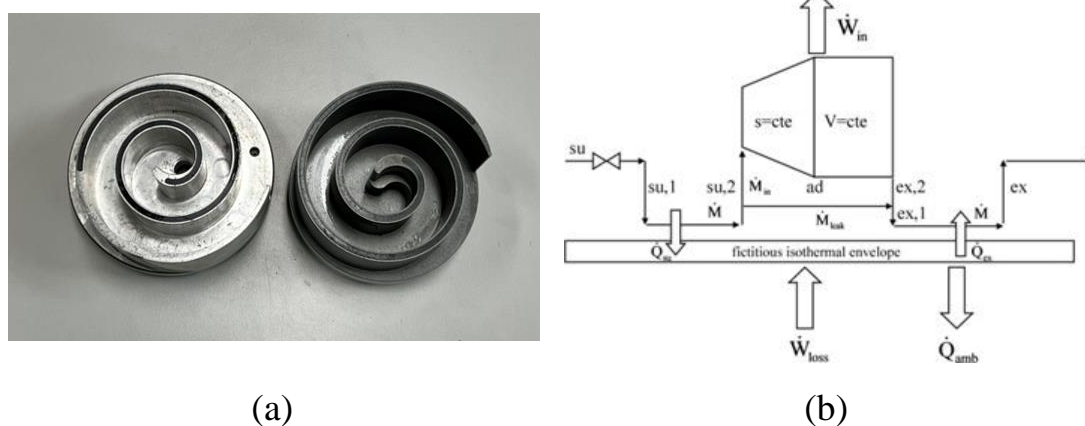


圖 8 渦卷膨脹機之(a)動渦卷與靜渦卷及(b)運轉原理[8]

而本作品所選用之膨脹機進出口原是配合汽車引擎內部構造，由於車體內空間有限，高低壓管路因閃避內部零件而呈現不規則形狀。在本系統中並無空

間問題，可依照原高低壓側接頭孔位尺寸並自行設計，如圖 9所示。原進出口設計為 PT 1"管牙及 PT 3/4"管牙，因需配合本系統之壓力問題，故將尺寸設計為 PT 3/4"管牙及 PT 1/2"管牙，整體而言進行膨脹機開發時，應減少變更膨脹機內部構造，避免對效率產生負面影響。

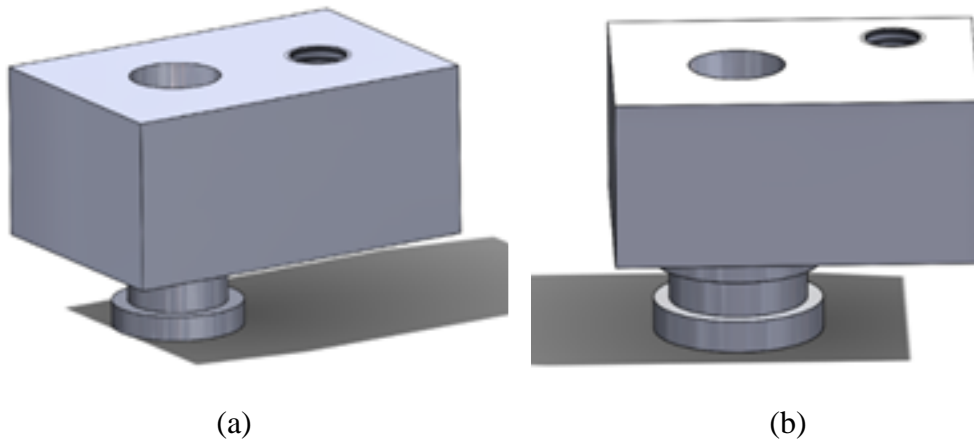


圖 9 自行設計之膨脹機(a)高壓接頭及(b)低壓接頭

## 2. 熱源與蒸發器

熱源之功能係透過蒸發器加熱工作流體，使工作流體達到過熱蒸汽狀態並進入膨脹機做功。圖 10為本研究所使用之熱源，由鼎堅綠能科技股份有限公司所開發之模擬工業廢熱場域鍋爐，可產生高達800kW 之熱量，內部由不鏽鋼盤管組成並通以純水作為加熱媒介，其加熱方式為天然氣加熱，可透過面板調整溫度模擬實際廢熱之熱源，亦可調整加熱功率。此外，內部設有管路可將熱源引導至培燒爐，爐內可進行生質燃料培燒，為一多功能型之鍋爐。




圖 10 本實驗所使用之鍋爐與操作面板

本作品所使用之蒸發器為硬焊板式熱交換器，其內部構造如圖 11 所示。板式熱交換器乃由數片金屬板所製造而成，工作原理為液體利用金屬的熱傳導性質將熱源透過金屬板上設計之流道提供給冷端工作流體，將工作流體提升至所需求的溫度，其過程無須供電，是近代中相當環保的一種熱交換器，而板式熱交換器具有適應性高、結構緊湊而體積小、耐高壓、價格低及傳熱係數高等優點。實驗系統所使用之蒸發器由浦力特有限公司所生產製造，其規格詳列表 2。



圖 11 板式熱交換器內部構造[9]

表 2 蒸發器詳細規格

	廠牌	浦力特有限公司
	尺寸(mm)	W522×H106×T71
	型號	HC52×26
	傳熱面積(m <sup>2</sup> )	1.140

### 3. 工作流體泵浦

ORC 系統原理係將工作流體加壓與加熱後進入膨脹機做功，因此工作流體泵浦功能為將低壓工作流體加壓並送入蒸發器，用以建立蒸發壓力。泵浦一般區分為立式與臥式，其中立式之優點為節省空間及可建立較高之壓力適合使用在 ORC 系統之中。

本作品所使用之工作流體泵浦為 Grundfos 公司所生產，型號為 CRN 3-2，其額定流量與揚程為 1.1m<sup>3</sup>/h 及 120m，可使用溫度範圍為 -20°C~120°C。另外，此泵浦可加裝變頻器控制流量，適合使用於 ORC 系統中，如圖 12 所示。



圖 12 工作流體泵浦(CRN 3-2)


#### 4. 冷源與冷凝器

實驗系統中，冷源係提供做功完後之過熱蒸汽冷凝成飽和液態工作流體。本作品使用排熱量20RT之冷卻水塔進行散熱，如圖 13所示。而冷凝器與蒸發器相同，使用板式熱交換器，由高力熱處理公司所生產，詳細規格列於表 3。



圖 13 冷卻水塔

表 3 冷凝器詳細規格

	廠牌	高力熱處理
	尺寸(mm)	W528×H246×T158
	型號	K205×60
	傳熱面積(m <sup>2</sup> )	6.374

#### 5. 發電機

本作品所使用之發電機為三相感應式發電機，由東元電機所生產製造之馬達(型號為 AEHF 3HP-4P)逆轉使用為發電機，如圖 14所示。發電機是運用電流

磁效應原理將電能轉換功的裝置，透過電流入內部線圈產生磁場而形成電磁鐵，電磁鐵之間以磁力作用推動而做功，當線圈轉動時，使線圈內的磁場改變，因而發出感應電流。系統使用三相感應式發電機進行發電時，轉速需高於額定轉速，三相感應式發電機則會由馬達模式轉換成發電模式，即膨脹器轉速須高於併網轉速才可正常發電，實驗所使用之發電機極數為4極，因此額定轉速為1800rpm。



圖 14 東元電機生產之馬達

### (三) 作品實驗數據

本作品 ORC 上可進行單顆膨脹機及並聯膨脹機之實驗，針對發電量、膨脹機等熵效率及系統淨效率進行分析，實驗系統包含熱源及 ORC 系統，其示意圖如圖 15 所示。

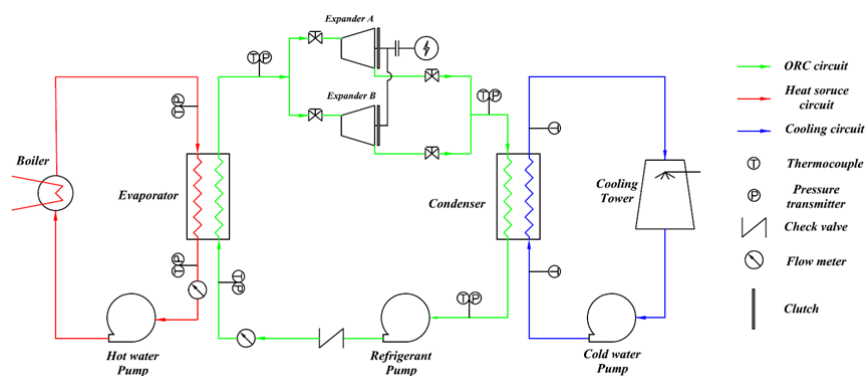


圖 15 ORC 實驗系統示意圖



## 1. 發電量

本實驗圖 16 (a)及圖 16(b)分別為熱源溫度 $95^{\circ}\text{C}$  及 $105^{\circ}\text{C}$  發電功率與時間關係圖，系統在五種不同的工作流體泵浦頻率下進行測試，隨著頻率的提升，蒸發壓力也隨之增加，蒸發壓力提升使系統工作流體流量及壓比提升。從圖中得知在熱源溫度 $95^{\circ}\text{C}$  與 $105^{\circ}\text{C}$  之條件下，並聯膨脹機之發電量皆高於單膨脹機，其中單膨脹機最大發電量為 $1.2\text{ kW}$ ，雙膨脹機模式下可達到 $2\text{ kW}$ ，本作品可在設計之低溫熱源下運行且證實所提出之專利可帶來較高的發電量。

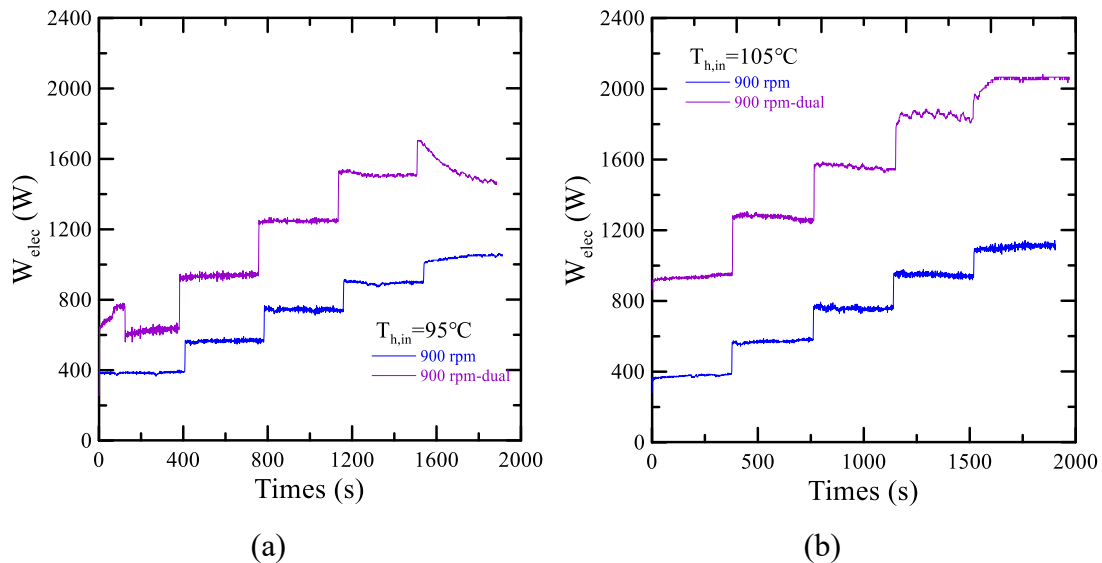


圖 16 蒸發壓力對發電量的影響，熱源溫度：(a)95 及(b)105 $^{\circ}\text{C}$

## 2. 膨脹機等熵效率

為了解由車用壓縮機改製成膨脹機對效率之影響，因此對膨脹機等熵效率進行分析，如圖 17 所示，實驗結果顯示在熱源溫度 $95^{\circ}\text{C}$  或 $105^{\circ}\text{C}$  條件下，單膨脹機及並聯膨脹機等熵效率皆在48%至65%之間，Bianchi 等人[10]及 Lin 等人[11]針對了渦卷膨脹機進行實驗，所測得等熵效率分別為40%及60%，由此可知本研究改製的膨脹機其效能與國外所使用的性能相當。

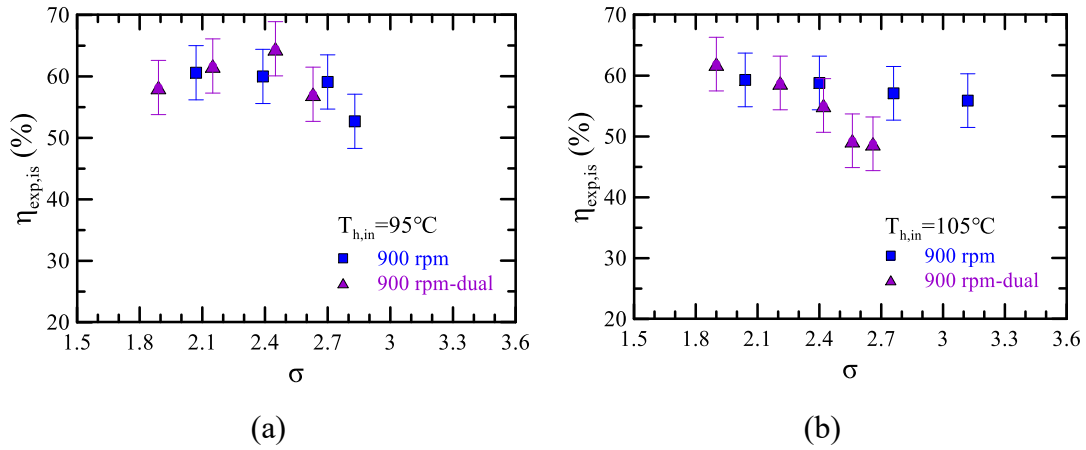


圖 17 壓比對膨脹機等熵效率之影響，熱源溫度：(a)95 及(b)105°C

### 3. 系統效率

由圖 18(a)及圖 18(b)可得知單膨脹機與雙膨脹機之系統效率在3.5至6%之間，文獻 Qiu 等人[12]及 Wang 等人[13]針對 ORC 實驗系統進行系統效率的分析，所測得之系統效率分別為1.41及5.9%，證實了本作品之系統效率與國外系統相當。另外，圖 18也顯示在取熱量(熱交換量)低於22.5kW 時適合使用單顆膨脹機，在 22.5kW 以上即可使用雙膨脹機，由此可看出在不穩定熱源下可自由切換單雙膨脹機操作模式。

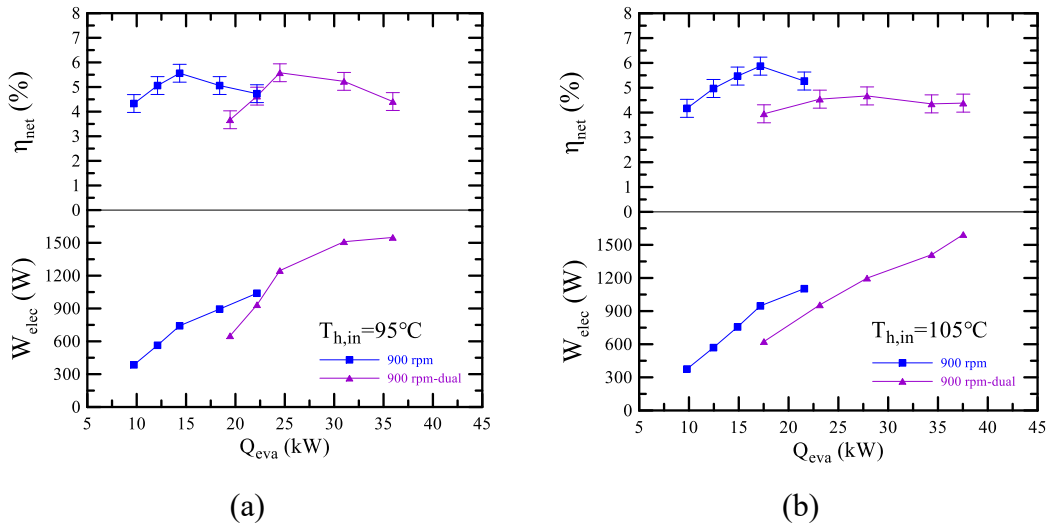
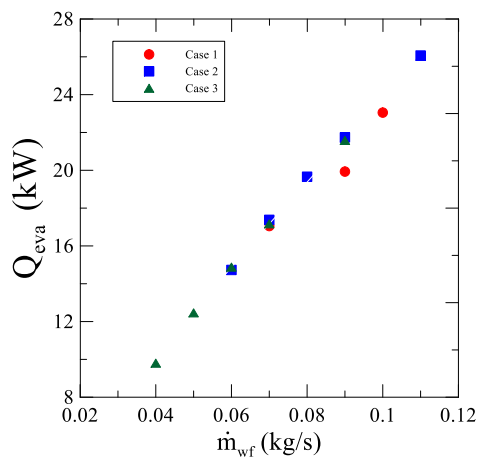


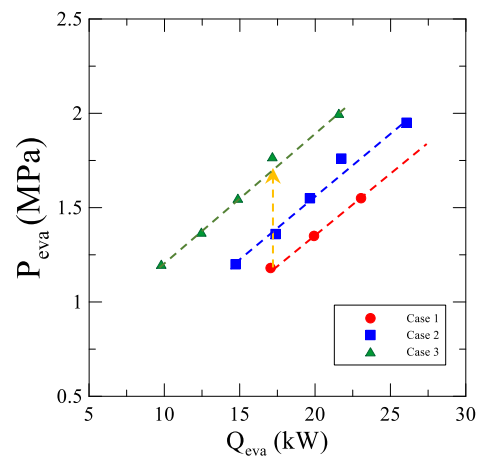
圖 18 取熱量對系統效率及發電量之影響，熱源溫度：(a)95 及(b)105°C

為了探討在較低的熱源下系統如何應變才能有較大的效能，本實驗透過不同的皮帶輪尺寸設計三種不同膨脹機轉速(發電機轉速維持於1800rpm)，膨脹機

轉速分別為1800rpm (Case 1)、1350rpm (Case 2)及900rpm (Case 3)。圖 19 (a)和圖 19(b)顯示，由於  $P_{eva}$  (蒸發壓力)的影響，當 $\dot{m}_{wf}$ 增加時，取熱量( $Q_{eva}$ )呈線性增加，在  $P_{eva}$  不變的情況下， $Q_{eva}$  明顯受到膨脹機轉速的影響。值得注意的是，比較圖 19 (b) 和圖 19 (c) 發現，當  $Q_{eva}$  約為17 kW 時，Case 1、2和3的  $\eta_{th}$  值分別為2.5%、3.8%和4.8%，它們相應的  $P_{eva}$  值分別為1.18、1.36和1.77 MPa (圖 19 (b))。Case 1、2和3的相對等熵效率 ( $\eta_{exp,is}$ ) 分別為48%、58%和56% (圖 19)。 $\eta_{exp,is}$  受  $P_{eva}$  的影響不大，除非膨脹機的轉速為1800rpm。然而，在較低  $Q_{eva}$  條件下，當  $P_{eva}$  從1.36 MPa (Case 2) 增加到1.77 MPa (Case 3) 時， $\eta_{th}$  和  $\dot{P}_{net}$  分別增加了1.0 %和204.7W。因此在 $\dot{m}_{wf}$ 和  $Q_{eva}$  固定條件下，透過降低膨脹機的轉速來提高  $P_{eva}$ ，可以提高系統性能。當傳熱率低於設計條件時，可透過降低膨脹機的轉速減少 $\dot{m}_{wf}$ (冷媒質量流率)，以維持及提高  $P_{eva}$ 。



(a)



(b)

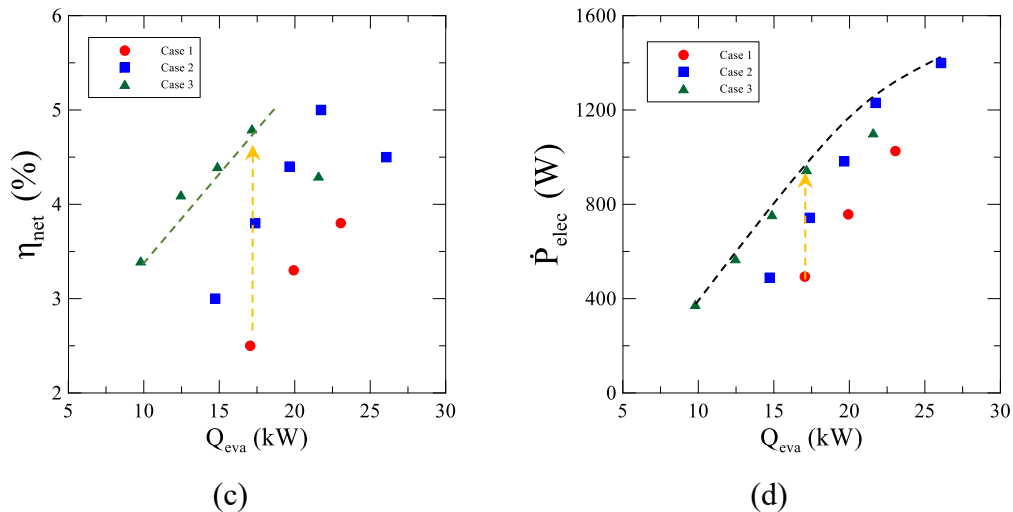


圖 19 有機朗肯循環實驗結果，(a) 熱交換量、(b) 蒸發壓力、(c) 熱效率和 (d) 輸出電力。

### 三、創作特點與創意說明

在全球暖化影響日漸嚴重下，地球上各種有限能源也持續被消耗，如天然氣、石油及煤礦等，為了減少對化石能源之依賴及氣候變遷之影響，各國政府及學者將綠色能源及改善能源使用效率作為首要任務，其中地熱發電、生質能與回收工業廢熱能是一個可行的方案，與部分發電方式相比可減少碳排放，更能有效的利用能源。本作品所開發之 ORC 系統秉持著「低成本、便利、經濟、零碳排」的目標進行設計之外，也提出本作品六大創意特點，將於本章加以介紹。

#### (一) 減少系統成本，降低建置門檻

如前章節提到，市場上之 ORC 系統以大型發電容量及較高之熱源為主流，以國內漢力能源公司產品為例，ORC 發電容量涵蓋 50kW-1000kW，但卻無對應低溫熱源發電之系統。本實驗之零組件皆以規格件為主，如表 4 所示。ORC 所需零組件市面上都有其對應零件，可降低開發成本及零件成本，若日後需替換零件，也能方便的在市場找到適合的零件，其中膨脹機係利用報廢之車用壓縮機進行改造，符合「綠色設計」[14]的概念。

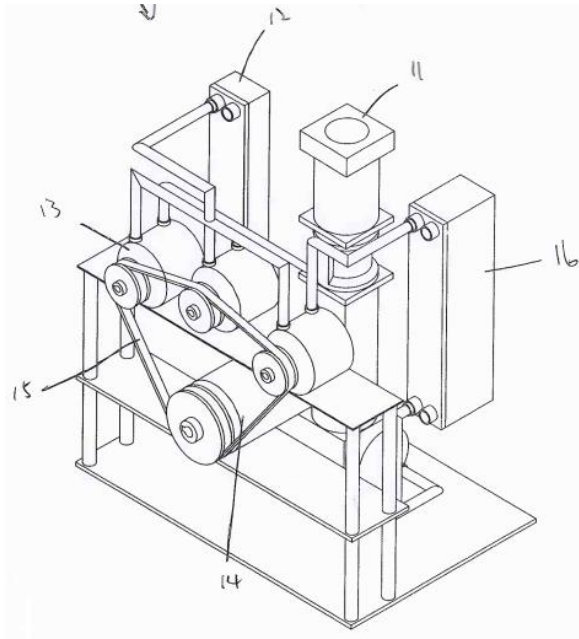
本作品發電功率為2kW，每月(720 小時)發電量為1440kWh，可供四個小家庭使用一個月。每年可節省電費6 萬元(不包含碳稅)，預計4年可回收系統成本。若以全球環境信息研究中心(Carbon Disclosure Project)公布之碳定價[15]每公噸750元若以台幣計算，每台每年可再多省下6400元，將回收年限縮短至3.6年。

表 4 ORC 零組件對應現有產品

	ORC關鍵零組件	市面上現有產品	市面價格NTD
1.	膨脹機	車用壓縮機	8,000
2	冷媒泵浦	水幫浦	25,000
3	感應式發電機 (2.25kW)	馬達(3馬)	7,000
4	控制器	PLC控制器	15,000
5	蒸發器+冷凝器	板式熱交換器、殼管熱 交換器	30,000

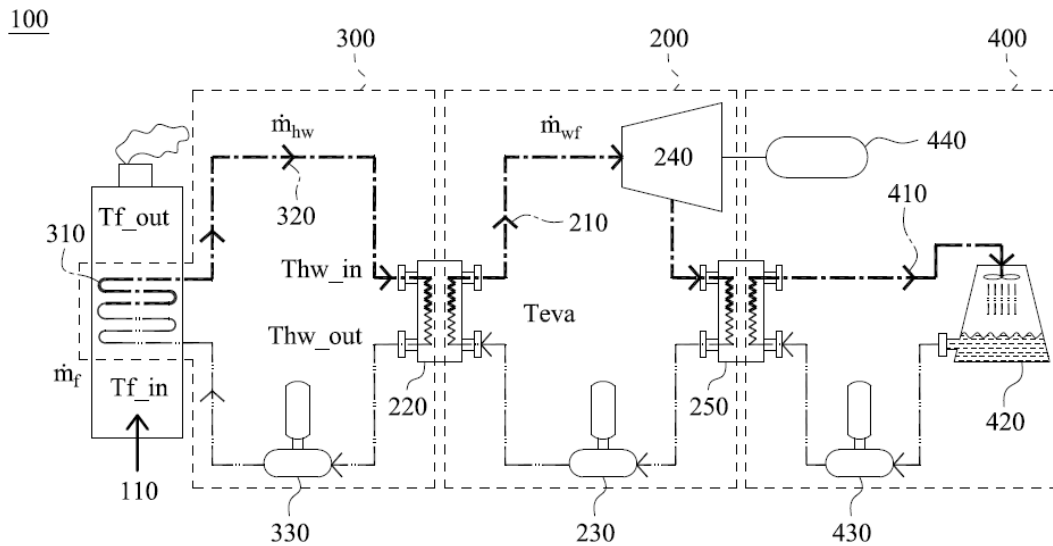
## (二) 專利機構與控制方法，發電彈性大

本作品使用發明專利(具多個膨脹機之有機朗肯循環系統，專利申請號111203530) 可因應熱源量的增加，以並聯的方式增加膨脹機增加發電量(如圖20(a)與圖 20(b))，其優勢在於多顆膨脹機帶動一個發電機，發電量可隨熱源彈性增減，可視熱源的變動調整膨脹機運轉的數量。此外，在較低熱源量下可維持高蒸發壓力，提升膨脹機之等熵效率及系統熱效率，此控制方法已申請台灣與中國專利(廢熱回收系統及其控制方法，申請號110119392(台灣)及202110588362.7(中國)，如圖20(c)所示)。



(a)

(b)



(c)

圖 20 本作品之核心專利技術，(a)具多個膨脹器之有機朗肯循環之專利實施例 (專利申請號 111203530)、(b)並聯膨脹機照片、(c)廢熱回收系統及其控制方法之專利實施例(申請號 110119392(台灣)及 202110588362.7(中國))

### (三) 系統縮小化，貼近生活需求

市場上之ORC發電產品皆針對較高熱源及較大發電量，微型化的產品卻付之厥如。本設計透過使用市場規格件及針對結構進行設計，可將ORC系統體積

縮小化，設計成類似家電般(如圖 21與圖 22所示)的系統以利深入家庭、工廠甚至溫泉飯店，對國家而言可提供分散式能源，增加系統之能源使用效率及對氣候變遷有其助益。

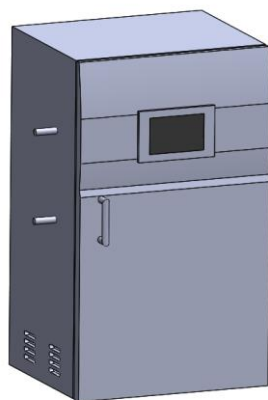


圖 21 商品化 ORC 外觀設計圖

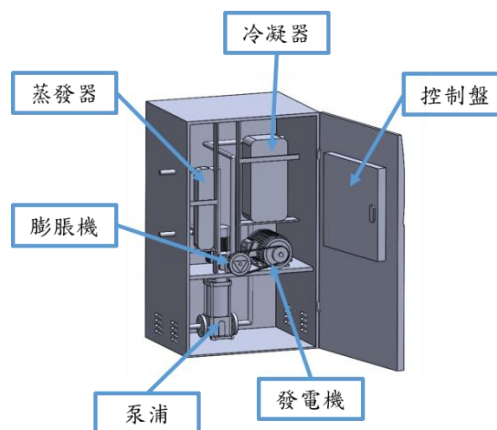


圖 22 商品化 ORC 內部構造設計圖

#### (四) 核心技術應用廣泛

本作品適用於低階熱能之熱源，例如地熱、工業廢熱及生質能等，其中涵蓋再生能源與節能，其優勢如下：

**地熱：**屬再生能源領域，能源使用狀況下不會增加二氧化碳，具有碳平衡作用。

**工業廢熱：**屬節能領域，可提高能源使用效率，對於每單位kWh的電力來說可降低二氧化碳當量。

**生質能：**屬再生能源領域，將農業廢棄物作為燃料，燃燒提供熱能進行發電，燃燒後之灰燼可應用於肥料的製作，再重新作為農作物養分，農作物吸收二氧化碳後成長，此為循環經濟的範疇，能有效地達碳平衡。

#### (五) 提升能源使用效率，減少熱污染又顧荷包

本作品希望可以配合行政院推動分散式能源政策，在有低階熱源之家庭、工廠內安裝本產品，能讓任何人都成為能源的生產者。不只可以將轉換來的電

力自給自足，若將ORC裝設於溫泉區也可將電力回售給台電(政府)賺取躉購費用，配合政府政策打造一個永續發展的綠色社會。

## (六) 永續發展

本作品每台每年之減碳量為8噸，相當於0.5公頃面積之大安森林公園的吸附量(389噸)，可減少碳排放帶來的氣候變遷影響。本作品也符合聯合國永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)(如圖 23)，說明如下：

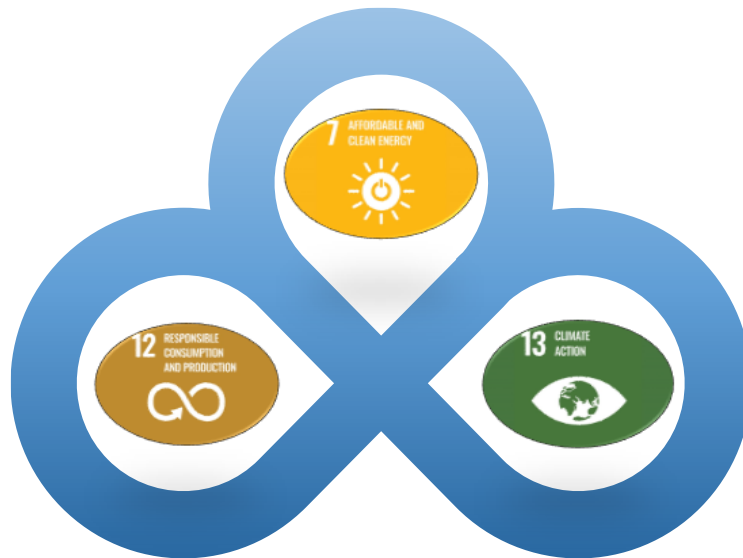


圖 23 本作品符合之 SDGs 規範

### 1.SDGs 7 (Affordable and Clean Energy)：

本作品之關鍵零組件膨脹機大致分成兩種類：速度式及容積式，本作品所使用之渦卷膨脹機即屬於容積式。速度式膨脹機優點在於等熵效率較高且轉動噪音較小，擺放位置與發電機為同軸擺放，做功無須經過皮帶或其他傳動件輸出，減少傳動損失，故常用於發電量需求高之場所，也因為輸出功率較高，故較常應用於大型ORC系統。未來若能設計微型渦輪並整合本作品，更能運用於有空間限制卻需要大發電量之場域，又因目前國內並無人針對微型渦輪ORC進行研究，大多都以國外學者居多，例如芬蘭學者Antti Uusitalo[16]及波蘭學者L. Witanowski[17]於微型渦輪機設計方面深受肯定，未來若能與上述學者進行國際



合作，聯合開發微型渦輪ORC發電系統，則將有助於改善目前本系統之缺點，系統精進後將能改善系統效率、發電量及經濟性。

## 2.SDGs 12 (Responsible Consumption and Production)：

台灣一年菇類產值將近百億，在民眾享用美味菇類的同時，廢棄的香菇太空包成了燙手山芋。香菇太空包的組成為木屑及木竹工廠的下腳料製成，其中還會添加營養素使菇類成長，但這些香菇太空包往往只能使菇類成長二至三次後，便無利用價值，處理這些廢棄物對於菇農也是一大挑戰。以台中新社為例，每年丟棄2.5億個太空包，重量達15至20萬噸，但現行法規對於堆肥場的設立非常嚴格，因此菇農無法就地置放將太空包廢棄物處理成堆肥。這幾年環保意識抬頭各地政府與企業更以 COP26會議之「零碳經濟」為核心，達成多項承諾。目前處理廢棄太空的方式有置放堆肥、乾燥後製成生質燃料棒及熱處理使木質素與半纖維素生呈無煙碳，其中生質燃料棒是最熱門的研究主題，透過這些廢棄太空包的木屑，乾燥達到可以造粒的水分後，進行造粒製程。這些生質燃料相較化石燃料產生極小的污染物，且燃燒後的灰份回歸土壤作為肥料完成一個循環，也是循環經濟的核心精神(圖 24)。我們將這些由太空包製成之生質燃料進行燃燒，提供給有機朗肯循環系統(ORC)作為熱源進行發電。此外，本作品之關鍵零組件：渦卷膨脹機，亦可採用報廢車用壓縮機進行改造，此做法可以大幅減少廢棄物，回收再利用。

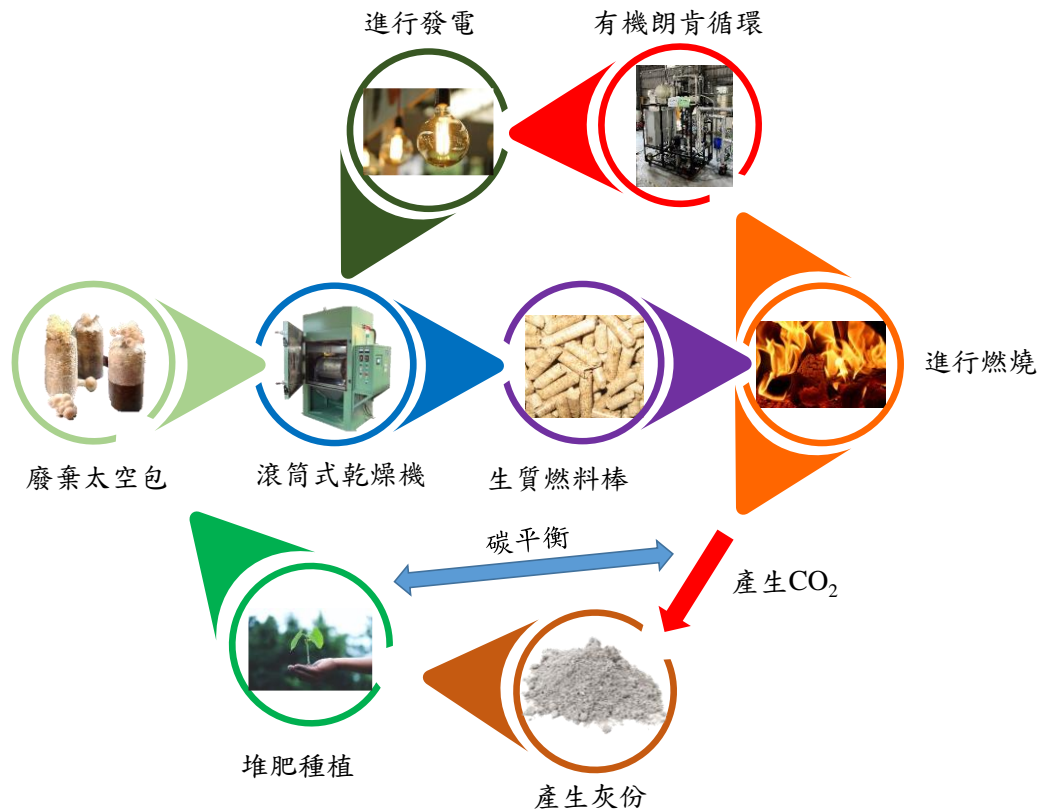


圖 24 香菇太空包應用於 ORC 生質能系統之循環經濟模式

### 3.SDGs 13 (Climate Action) :

本作品之ORC發電系統可運用於廢熱[18]、地熱[19]及生質能[20]等之場域，而根據經濟部能源局公布之廢熱廢冷回收補助要點[21]、地熱能發電系統示範獎勵辦法[22]及中華民國111年度再生能源電能躉購費率及其計算公式[23]中，便有針對各場域回收發電進行補助及躉購費率計算，本作品能配合政府之政策，針對不同應用場合進行推廣ORC發電裝置，在零碳排的情況下產生可用能源。然而我國政府針對廢熱及地熱皆有對相關發電裝置進行立法補助。本作品能應用於廢熱、地熱及生質能等低階熱源之場域，未來若能針對生質能發電進行推廣，並配合政府推動生質能發電相關補助法案，正如前所述，成功達成循環經濟的目標，改善氣候變遷問題，減少人類活動為地球帶來的影響，符合本作品之核心價值，本創作之核心價值如圖 25所示。

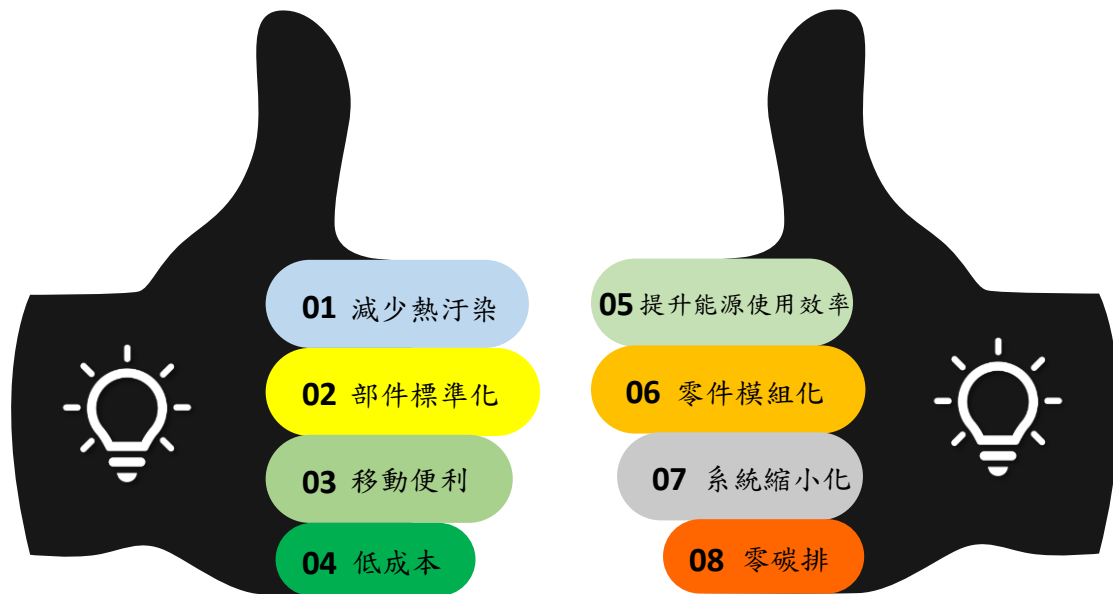


圖 25 本作品之核心價值

#### 四、作品應用範圍及發展潛能

##### (一)應用範圍

ORC 系統應用非常廣泛，只要有低階熱源皆可使用，如圖 26 所示：

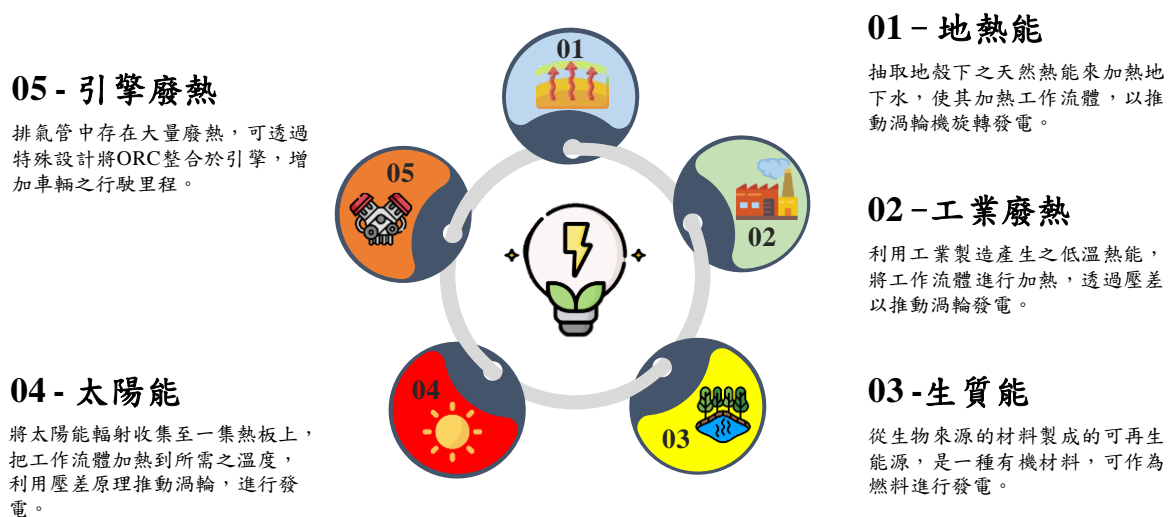


圖 26 ORC 系統之應用範圍

##### (二)發展潛能

###### 1.商業模式

本作品針對不同客群規畫了兩種不同商業模式，將在本節加以介紹。

###### 商業模式1：租賃

租賃之商業模式如表 5 所示，客群為 5000kW 以上且具有廢熱源之用電大戶，如中鋼、台肥、中石化等公司，可以用來節稅且發電後減少的碳排量可用於轉售碳權或轉移至其他製程中，減少購買碳權的成本又可以有效減少碳排，達成客戶及政府的要求。

表 5 租賃之商業模式

<b>Key Partners</b> <b>關鍵夥伴</b> 壓縮機製造商 冷凝器製造商 蒸發器製造商 泵浦製造商 冷媒製造商 其他零件供應商 控制器製造商	<b>Key Activities</b> <b>關鍵活動</b> 市場行銷 技術研發  <b>Key Resources</b> <b>關鍵資源</b> 製程技術 機構專利	<b>Value Proposition</b> <b>價值主張</b> 低成本發電 能源利用率高 零件模組化 系統縮小化 永續發展	<b>Customer Relationship</b> <b>顧客關係</b> 會員等級  <b>Channels</b> <b>通路(廣告)</b> 官方專頁 服務經銷商	<b>Customer Segments</b> <b>目標客群</b> 租賃-5000kW 以上 用電大戶，如科技公司...等								
<b>Cost Structure</b> 成本結構 <table border="0"> <tr> <td>行銷成本 (5%)</td> <td>材料成本 (30%)</td> </tr> <tr> <td>技術研發成本 (10%)</td> <td>設備維護成本 (20%)</td> </tr> <tr> <td>運輸成本 (5%)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>人力成本 (30%)</td> <td></td> </tr> </table>		行銷成本 (5%)	材料成本 (30%)	技術研發成本 (10%)	設備維護成本 (20%)	運輸成本 (5%)		人力成本 (30%)		<b>Evenue Streams</b> 收入來源 租賃收入		
行銷成本 (5%)	材料成本 (30%)											
技術研發成本 (10%)	設備維護成本 (20%)											
運輸成本 (5%)												
人力成本 (30%)												

## 商業模式2：買賣

買賣之商業模式如表 6 所示，上述租賃客戶同樣可以使用此方式，但此商業模式還有另外的客群，例如個人家庭或小企業，如溫泉業者、菇農...等業者。此類客群大多主要在生產時會產生低溫熱能或為了將廢棄物更有效的利用(例如：種植香菇產生之太空包)，若購入本作品，便可將低溫熱能進行回收發電，或將廢棄物進行燃燒進行發電，不只能發電自給自足，又能為環境盡一分心力，減少浪費，符合永續經營的精神。

表 6 買賣之商業模式

<b>Key Partners 關鍵夥伴</b> 壓縮機製造商 冷凝器製造商 蒸發器製造商 泵浦製造商 冷媒製造商 其他零件供應商 控制器製造商	<b>Key Activities 關鍵活動</b> 市場行銷 技術研發  <b>Key Resources 關鍵資源</b> 製程技術 機構專利	<b>Value Proposition 價值主張</b> 低成本發電 能源利用率高 零件模組化 系統縮小化 永續發展	<b>Customer Relationship 顧客關係</b> 會員保固 會員等級  <b>Channels 通路(廣告)</b> 自有零售商店 官方專頁 經銷商	<b>Customer Segments 目標客群</b> 買賣-個人家庭用 、鑄造廠、焚化 爐、菇農及溫泉 業者...等
<b>Cost Structure 成本結構</b> 行銷成本 (10%)      材料成本 (30%) 技術研發成本 (15%)      保固成本 (10%) 運輸成本 (5%) 人力成本 (30%)		<b>Evenue Streams 收入來源</b> 銷貨收入 保固延長金		

## 2. 工程承包模式 (Engineering Procurement Construction, EPC)

本團隊利用 EPC (Engineering Procurement Construction) 工程承包模式針對本作品進行規劃，根據客戶端提供之參數進行發電系統最佳化及經濟性分析並於場內組裝、施工及試運行，亦提供現場安裝指導、人員訓練及維修保固...等服務，於圖 27 中詳細列出並且加以解說，讓消費者能一目瞭然，放心購買本產品。



圖 27 本作品之 EPC 圖

## 五、工作分配

組員姓名	工作事項
謝易騏	設計發想、系統測試、作品書撰寫、機構製圖
廖朕浩	設計發想、系統測試、部件加工、影片製作
陳彥勳	設計發想、系統測試、部件加工、海報製作、數據分析

## 六、作品設計花絮



(a)

(b)

圖 28 (a)指導老師與小組討論與(b)小組成員討論與實作

## 七、作品實作展示



(a)



(b)



(c)



(d)

圖 29 ORC 系統作品展示(a)作品全景圖、(b)操作面板、(c)並聯膨脹機、(d)膨脹機暫壓測試



## 八、參考資料

1. Reported new record temperature of 38°C north of Arctic Circle. World Meteorological Organization(WMO).
2. 固態熱電材料節電研究計畫，2010，經濟部能源局。
3. Tchanche BF, Papadakis G, Lambrinos G, Frangoudakis A. Fluid selection for a low-temperature solar organic Rankine cycle. Appl Therm Eng 2009;29:2468-76.
4. Prananto LA, Zaini IN, Mahendranata BI, Juangsa FB, Aziz M, Soelaiman TAF. Use of the Kalina cycle as a bottoming cycle in a geothermal power plant : Case study of the Wayang Windu geothermal power plant. Appl Therm Eng 2018;132:686-96
5. Shokati N, Ranjbar F, Yari M. Exergoeconomic analysis and optimization of basic, dual-pressure and dual-fluid ORCs and Kalina geothermal power plants : A comparative study. Renew Energ 2015;83:527-42.
6. 陳宏宇，劉佳玫(2013)。臺灣地熱潛能之發展。臺灣能源期刊.1(1),85-103
7. 張仁傑，2015，微型有機朗肯循環發電系統建立，國立臺北科技大學，博士論文
8. Lemort V, Quoilin S, Cuevas C, Lebrun J. Testing and modeling a scroll expander integrated into an Organic Rankine Cycle. Appl Therm Eng 2009;29(14-15):3094-3102.
9. 台灣派斯特有限公司，板式熱交換器產品展示。
10. Bianchi M, Branchini L, Casari N, De Pascale A, Melino F, Ottaviano S. Experimental analysis of a micro-ORC driven by piston expander for low-grade heat recovery. Appl Therm Eng 2019;148:1278-91.

11. Lin CH, Hsu PP, He YL, Shuai Y., Hung TC, Feng YQ, Chang YH. Investigations on experimental performance and system behavior of 10 kW organic Rankine cycle using scroll-type expander for low-grade heat source. *Energy* 2019;177:94-105.
12. Qiu G, Shao Y, Li J, Liu H, Riffat SB. Experimental investigation of a biomass-fired ORC-based micro-CHP for domestic applications. *Fuel* 2012;96:374-82.
13. Wang F, Gao W, Li G, TianZ, Wang X. Experimental study on power generation plant of a 1 kW small-scale Organic Rankine Cycle system using R290. *Energy Sci Eng.* 2022.
14. U.S. Congress, Office of Technology Assessment, “Green Products by Design : Choices for a Ž .Cleaner Environment,” U.S. Government Printing Office, OTA-E-541, Washington, DC 1992.
15. PUTTING A PRICE ON CARBON The state of internal carbon pricing by corporates globally. Carbon Disclosure Project.
16. Uusitalo A, Turunen-Saaresti T, Honkatukia J, Dhanasegaran R. Experimental study of small scale and high expansion ratio ORC for recovering high temperature waste heat. *Energy*, 2020;208:118321.
17. Klonowicz P, Lampart P, Suchocki T, Zaniewski D, Klimaszewski P. Optimization of an axial turbine for a small scale ORC waste heat recovery system. *Energy*, 2020;205:118059.
18. Ilona J, William C, Amber D. Waste Heat Recovery. Technology and Opportunities in U.S. Industry. 2008, U.S. Department of Energy.
19. Eyerer S, Dawo F, Wieland C, Spliethoff H. Advanced ORC architecture for geothermal combined heat and power generation. *Energy* 2020;205:117967.

20. Carraro G, Bori V, Lazzaretto A, Toniato G, Danieli P. Experimental investigation of an innovative biomass-fired micro-ORC system for cogeneration applications. *Renew Energ* 2020;161:1226-43.
21. 廢熱廢能回收補助要點. 經濟部能源局
22. 地熱能發電系統示範獎勵辦法. 經濟部能源局
23. 111年度再生能源電能躉購費率正式公告. 經濟部能源局