中華民國第53屆中小學科學展覽會
作品說明書

高職組　機械科

090907

Stirling 引擎於綠能船舶之應用

學校名稱：國立東港高級海事水產職業學校

作者：	指導老師：
職三 鄭旭呈	洪嘉皇
職三 蔡汶錩	楊承哲
職二 陳宏洲	

關鍵詞：模型船、Stirling 引擎、直流發電機

作品名稱：Stirling 引擎於綠能船舶之應用

摘要

有鑑於全球暖化日益嚴重，「綠能」已成為船舶科技發展重點。身為未來海運職場的生力軍，促使本專題提出新型船舶廢熱回收概念，以期達成降低能源消耗、以減少 CO_2 排放之目的。

本綠能船舶利用 Stirling 引擎作為主要動力，並利用軸發電機系統之原理析出部分動力，作為軸發電機。此動力系統於綠能船舶應用時，實以增加船舶推進效率、減少船用柴油機負荷及回收更多排氣廢熱為主要目標，並透過改良 Striling 引擎增加其輸出馬力。經實驗證明後，柱狀氣缸之 Stirling 引擎較其原型氣缸及再生器型氣缸輸出馬力大，可析出最多動力作為軸發電機。期望將本系統等比例放大後，具足夠馬力可減少船舶柴油發電機之負荷及增加廢熱回收效率。

壹、研究動機

地球表面約有 70％為海洋，海洋是人類未來最重要的生活與活動的空間，國與國之間的貨物運輸貿易有 95％以上是倚靠海運航運的價值。隨著造船技術之提升，現今的海運船舶均朝向大型化發展，且為增進航運之效能，船舶航行速率與所需之推進馬力也一直上升，雖然全球大型之柴油主機製造廠無不致力於降低燃油耗油率，然而目前大型船用柴油主機之熱效率約為 50％，而其熱損失主要是以排氣熱損失以及冷損失為主要，兩者占極高之比例，若能在大型船舶的龐大耗油量之前提下，將其廢熱回收再利用則為極重要之節能措施，進一步達到節能減碳之環保需求。目前以技術先進之大型低速柴油的熱效率約為 49.3％而言，約有近五成之燃油熱量都可成為回收再利用之廢熱，而目前仍有相當大之比例的廢熱排放到大氣中，或直接間接地藉由海水冷卻而排入海中。因此大型船舶之廢熱回收(Waste Heat Recovery)再利用，已成為全球航運及輪機工程之重要議題。

根據研究船舶溫室氣體排放最為廣泛使用及最具權威性 IMO GHG5 之研究報告顯示：在 2007 年，全球海運業排放約 870 百萬噸溫室氣體，約占全球 CO_2 排放量約 3%。廢氣為船舶排放氣體主要來源。二氧化碳為船舶排放的氣體中最重要的溫室氣體。如果增加作業效率並減少氣體的排放量，達到低於目前排放水準 25%到 75%之間。在 2009 年 7 月。IMO 所屬海洋環境保護委員會 Marine Environment Protection Committee（MEPC）在第 59 次大會上，總結出許多減低國際船舶溫室氣體排放的技術及作業方法。其中，所有超過 400 噸之船隻，要求於 2013 年後製造者需提高能源效率 10%，於 2020~2024 年間製造者需提高能源效率 20%，2024 年後製造者需提高能源效率 30%；本規範預期至 2020 年減少 45~50 萬噸之溫室氣體。而現今歐盟委員會已修訂 MARPOL 公約(防止船舶污染海洋公約)之附錄五，納入強制性增加船舶能源效率之技術與措施。修訂內容主要為規範新船舶的設計者及建造者需遵守最低之能源效率標準-能源效率設計指

數(Energy Efficiency Design Index, EEDI)，及船舶能源效率管理計畫(Ship Energy Efficiency Management Plans, SEEMP)，以提高船舶的能源效率並進一步預防空氣污染。

貳、研究目的

Stirling 引擎是指利用空氣的熱脹冷縮作為動力輸出，因此擁有低污染、低造價、高效率、構造簡單、安全性高及靜音的特點，各項特點皆優於各種熱機，而且 Stirling 引擎的理論效能幾乎接近熱機的最大理論效能－卡諾循環（Carnot cycle）效能，換言之 Stirling 引擎相當接近理論值。本專題將 Stirling 引擎此項能提高船船之運轉效率及降低燃油消耗的因素加入模型船中，希望藉由 Stirling 引擎吸收廢熱帶動模型船，並有足夠的動力析出作為軸發電機之用，應用在商船上，以求減少船用主機、發電機的負荷及其燃油消耗，達到綠能船舶之構想。

參、研究設備及器材

一、研究設備及材料

設備清單如表 1 為所列，材料清單如表 2 所列。

表 1 設備清單

項目	設備、軟體名稱	應用說明	項目	設備、軟體名稱	應用說明
1	尖嘴鉗	夾鑷物品之用	16	潤滑劑	潤滑史特靈引擎機件
2	熱熔槍	物件之連結	17	轉速計	測量轉速
3	線鋸機	切割木板,製作龍骨、肋板	18	紅外線溫度計	遠距離測量溫度
4	剪刀、美工刀	剪紙或材料等等	19	酒精溫度計	接觸測量精準溫度
5	銼刀	細修不平面	20	水缸、水桶	裝水
6	手工鋸	切割	21	刮刀	抹平補土或批土
7	十字起子、一字起子	鎖螺絲	22	三用電表	測量電路或電器使用
8	筆	紀錄或劃記	23	攻牙器	攻外螺紋之用
9	鋼尺、捲尺	量測距離和長度	24	鑽床、虎鉗	鑽孔、固定欲加工材料
10	鐵鎚	敲釘子或敲擊之用	25	砂紙研磨機	細修補土表層或批土表層
11	毛刷	抹樹脂之用	26	手提式砂輪機	切削大量的材料
12	電鑽	鑽孔	27	照相機、錄影機	拍照、錄影
13	六角板手組	開或鎖六角螺絲	28	碼表	計算時間
14	瓦斯罐架	固定瓦斯罐	29	空氣壓縮機	清潔
15	瓦斯噴燈	加熱史特靈引擎	30	銑床、車床	機械加工

表 2 材料清單

項目	材料名稱	單位	數量	應用說明
1	桐木板	片	8	龍骨和肋骨的材料
2	噴漆	罐	24	船身外觀的顏色
3	樹脂、硬化劑	組	2	補強、防漏水
4	補土、硬化劑	組	8	美化、補強、塑形
5	AB 膠	組	1	塑形、補強、美化
6	鐵釘	支	40	固定
7	木螺絲	支	4	固定
8	六角螺絲	支	15	固定
9	熱溶膠條	包	1	固定
10	巴爾沙木板	片	10	船殼
11	木條	支	10	支架、船架
12	氬焊焊條	公尺	3	船的欄杆
13	有孔的鐵片	片	40	欄杆的支撐塊
14	批土	罐	5	表面處理
15	保麗龍	片	3	塑形
16	保麗龍膠	瓶	3	固定
17	伺服馬達	個	1	控制舵的方向
18	銅製螺旋槳	個	1	推進船前進
19	銅管	公尺	3	水冷式捲管
20	傘形齒輪	組	2	傳遞動力

21	散熱鰭片	個	1	散熱加熱缸溫度
22	RO 管	公尺	3	輸送冷卻水
23	RO 管接頭	個	10	控制冷卻水流向
24	塑膠管	條	2	輸送冷卻水
25	抽水馬達	個	1	抽取冷卻水
26	9V 電池	顆	3	備用電源
27	紙膠帶	捲	3	噴漆時定型用
28	舊報紙	張	10	防止噴漆四濺
29	回收飲料杯	杯	10	裝批土、補土、AB 膠的容器
30	三合木板	片	5	額外的木板需材
31	鑽頭	支	5	不同孔徑之用
32	絕緣膠帶	捲	1	固定電線或補強
33	止洩帶	捲	1	防止冷卻水閥接頭漏水
34	墊片	塊	5	墊高欲加工物
35	砂紙	張	10	磨平船殼表面
36	紀錄簿	本	1	紀錄實驗數據、明日工作
37	史特靈引擎模組	組	1	史特靈引擎運轉
38	小扁鐵	塊	1	柱狀氣缸元件
39	直徑 1mm 銅線	公尺	1	再生器氣缸製作
40	矽酸鈣板	平方公分	100	隔熱用

肆、研究過程或方法

一、專題製作流程圖

本專題之製作流程如圖 1 所示。

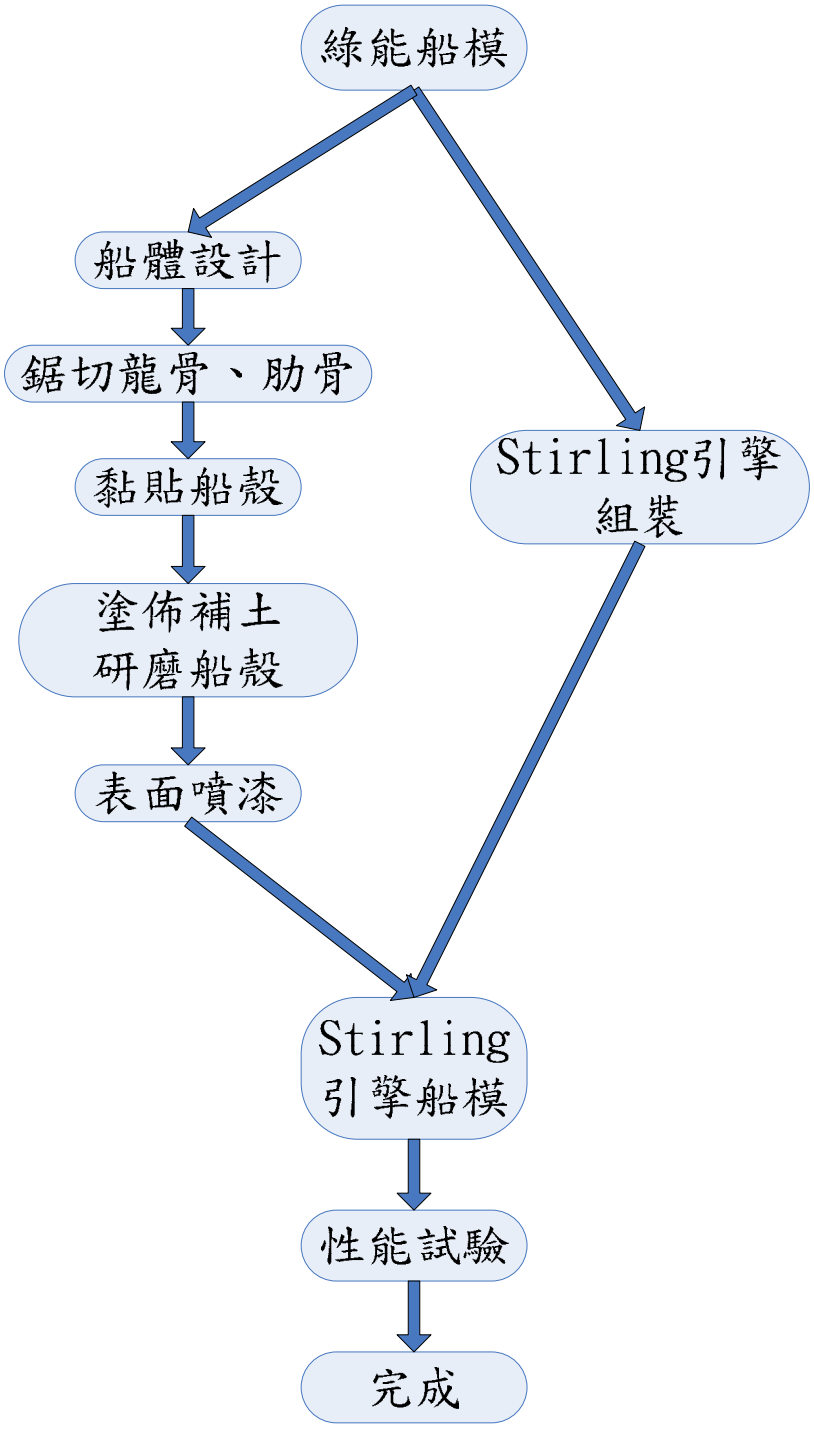


圖 1 專題製作流程圖

二、器具製作與組裝

(一) 自製船體模型

1.製作船形骨架

選定 200：1 船形並運用船圖的比例完成龍骨、肋骨，用線鋸機鋸下並在肋骨下方、龍骨上方挖槽，使其能互相嵌入。最後將其垂直度和水平度確定後用瞬間膠固定，如圖 2~5。

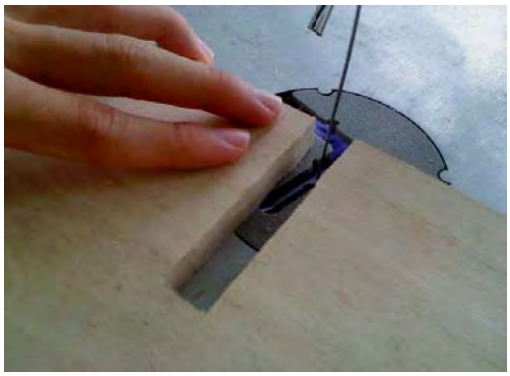


圖 2 鋸割龍骨鑲嵌凹槽

圖 3 測量樂版距離

圖 4 用銼刀修整不齊處

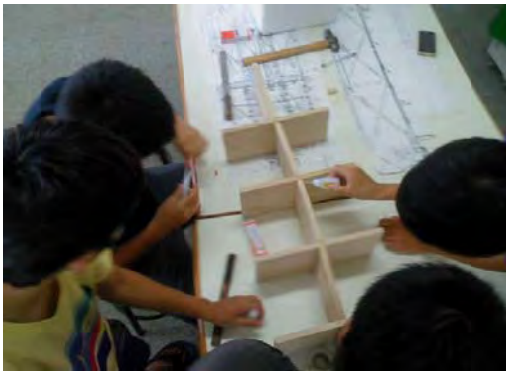


圖 5 用瞬間膠固定

2.貼皮

龍骨與肋骨皆固定後即可用巴爾沙木來進行船殼的貼皮。中間較平的部份我們用釘子將巴爾沙木和肋骨固定，而船艏和船艉有弧度的部分我們選擇使用保麗龍塊來塑形，如圖 6。將保麗龍塊裁成船圖的流線形並用保麗龍膠分別固定於船艏及船艉。另外船艏及船艉先用 AB 膠將最初的形狀先呈現出來，如圖 7。

圖 6 艏艉保麗龍塑型

圖 7 AB 膠定型

3.上批土和樹脂

將批土混入樹脂和硬化劑，對船的表面及內部進行第一次外部補強，如圖 8~9。

圖 8 模型船塗上批土

圖 9 模型船內部塗上樹脂

4.上補土並用砂紙研磨，AB 膠做球型艏

大致上將整艘船都補上汽車補土，因為汽車補土乾了比較好磨且磨完後也比較光滑。先上第一層，然後用砂紙或砂輪機研磨，結束後在凹凸不平處再上第二層，同樣研磨，重複以上動作，直至船的表面摸起來光滑為止。通常這會是最耗時間的階段，如圖 10。另外使用 AB 膠作為球型艏塑型，以求模型船減少破浪阻力，如圖 11。

圖 10 使用砂紙磨船身

圖 11 以 AB 膠塑型球型艏

5.噴漆

最後製作模型船的過程，將船噴上防水漆。首先先將船的上層用紙膠帶包覆，噴上噴漆，第一層乾後再噴第二層，約噴三四層左右，之後在等待乾後緩緩地撕下。接下來上層的部分，同樣下層也要包覆紙膠帶，但為了節省材料，所以在黏紙膠帶時一起將報紙黏上去，這樣就可以保護到下層已乾的漆，如圖 12~13。

圖 12 下層噴漆

圖 13 上層噴漆結束

6.完成品

再加上內部冷卻水系統，上甲板以及甲板裝飾，一艘模型船便完成了，如圖 14。

圖 14 完成品

(二) Stirling 引擎各部零件組裝

Srirling 各部零件與組裝順序如圖 15~22 所示。

圖 15 加熱缸、活塞、散熱鰭片

圖 16 飛輪、飛輪連桿、冷缸活塞

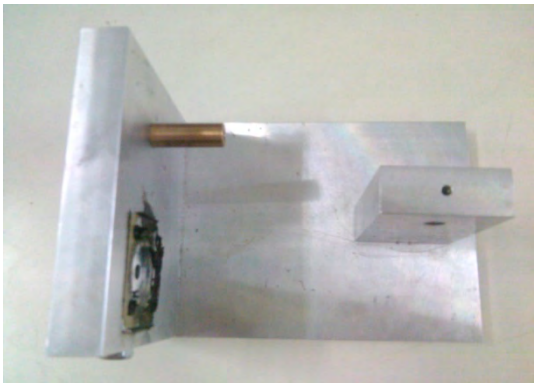


圖 17 基座、固定支架

圖 18 飛輪端氣缸

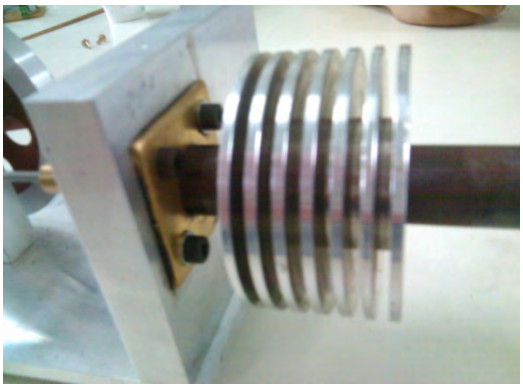


圖 19 散熱鰭片、加熱缸

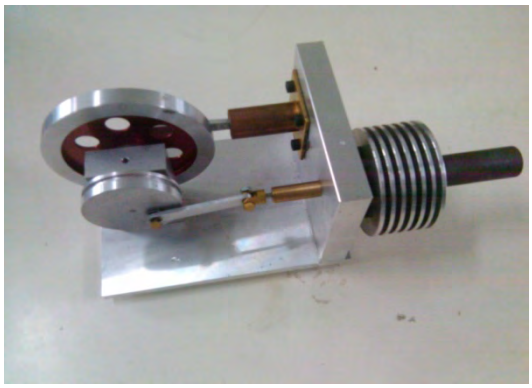


圖 20 引擎本體組裝完成

圖 21 固定支架裝入傘形齒輪

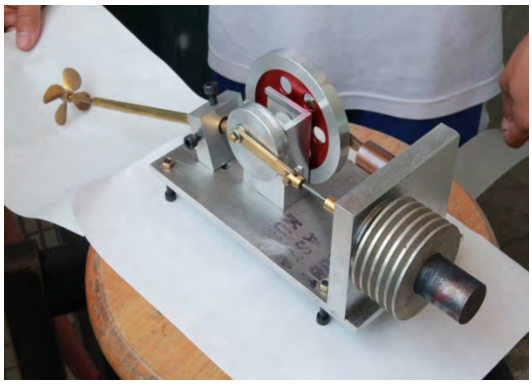


圖 22 齒輪連接推進器

(三) Stirling 引擎發電機模組組裝

1.選擇直流馬達及製作基座

我們使用有刷直流馬達作為發電機，並於量其尺寸後運用銑床量身訂做一基座，並用螺絲與引擎本體固定，如圖 23~24 所示。

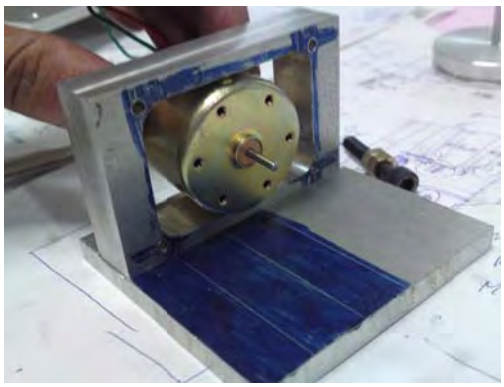


圖 23 馬達基座測試

圖 24 基座加工中

2.製作皮帶輪

基於大輪帶動小輪，小輪會轉的比較快的原理，我們製作直徑分別為 6mm 與 10mm 的皮帶輪，以求得更高轉速帶動發電機，如圖 25 所示。

圖 25 皮帶輪加工以及發電機模組

3.完成品暨模組測試

我們在模組裝置完成後進行發電機模組的實驗，如圖 26 所示。

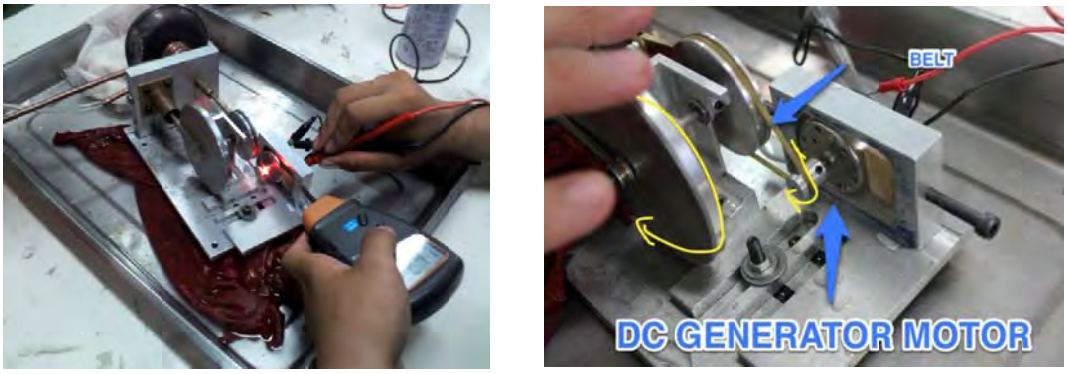


圖 26 實驗過程

(四) Stirling 引擎模組置入模型船

1.清除空間

使用手提式砂輪機及線鋸，將後方的肋板與龍骨清除，並在餘料處使用木條加以固定，最後在塗上樹脂做最終補強以防模型船結構過於脆弱。

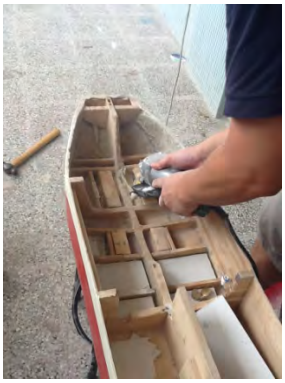


圖 27 磨削肋板和龍骨的空間讓引擎置入

2.固定及校正

清除空間後即可安裝引擎。使用螺絲將引擎固定，之後再對艉軸進行校正以求最大馬力輸出，如圖 28 所示。

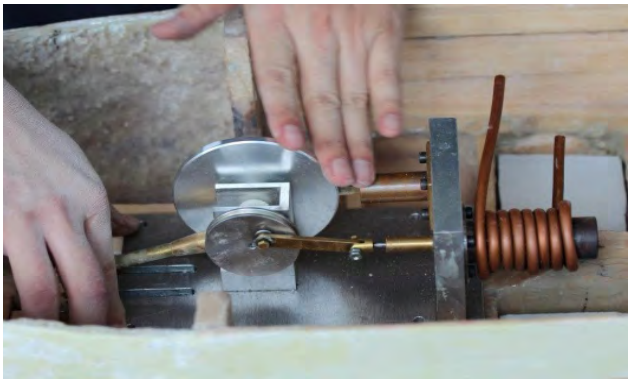


圖 28 對艉軸進行校正

3.完成

綠能船模組裝完成。

圖 29 綠能船模組裝完成

(五)再生器氣缸、柱狀氣缸製作

1.再生器氣缸

使用直徑 1mm 銅線隔著散熱鰭片由內至外纏繞而出，纏繞 2 層 50 匝，最後再以矽酸鈣板中間挖孔，套在銅線最外圍以防止高溫將銅線融化。

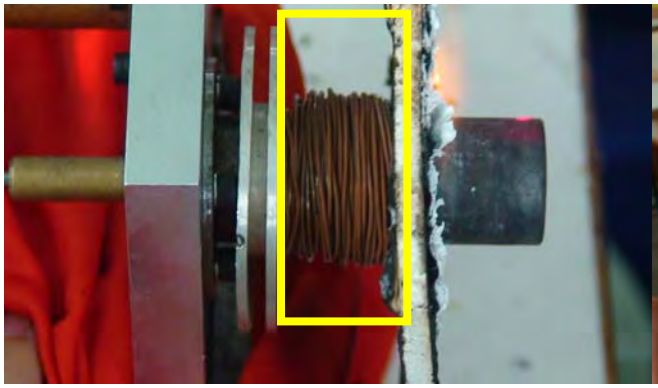
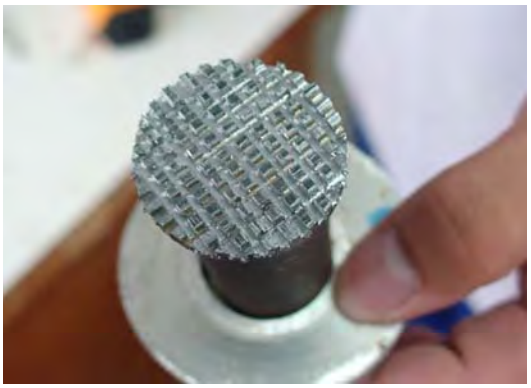


圖 30 再生器與氣缸的相對位置

圖 31 實驗過後的矽酸鈣板

2.柱狀氣缸

將直徑 32mm、厚度 5mm 的小扁鐵用電焊的方式銲接在氣缸尾端，再使用鋸條鋸切小扁鐵，深度 2mm 垂直鋸切，得到若干支柱狀氣缸結構。



32 柱狀氣缸完成品(左圖為氣缸正視圖，右圖黃圈內為扁鐵與氣缸銲接處)

圖 33 柱狀汽缸實驗

伍、研究結果

一、整合功能測試

(一) Stirling 引擎扭力測試

統一運轉條件：

加熱缸外徑	25mm
加熱缸內徑	23mm
冷缸外徑	18mm
冷缸內徑	16mm
散熱鰭片長度	9mm
散熱鰭片間距	5mm
活塞直徑	22mm
活塞長度	38mm

此項實驗以 Stirling 引擎為主要動力，分別以引擎空轉、引擎加螺槳下水負載二項不同的環境因素，搭配三種不同的氣缸：原型氣缸、再生器氣缸、柱狀氣缸，分別探討其轉速與加熱缸溫度、冷缸之關係。以下為二種不同環境的測試：

1.空轉無負載

三種氣缸實驗方式，如圖 34 所示。飛輪轉速與加熱缸溫度之關係，如圖 35~36 所示。飛輪轉速與冷缸溫度之關係，如圖 37~38 所示。

圖 34 空轉(由左而右依序為原型氣缸、再生器氣缸以及柱狀氣缸)

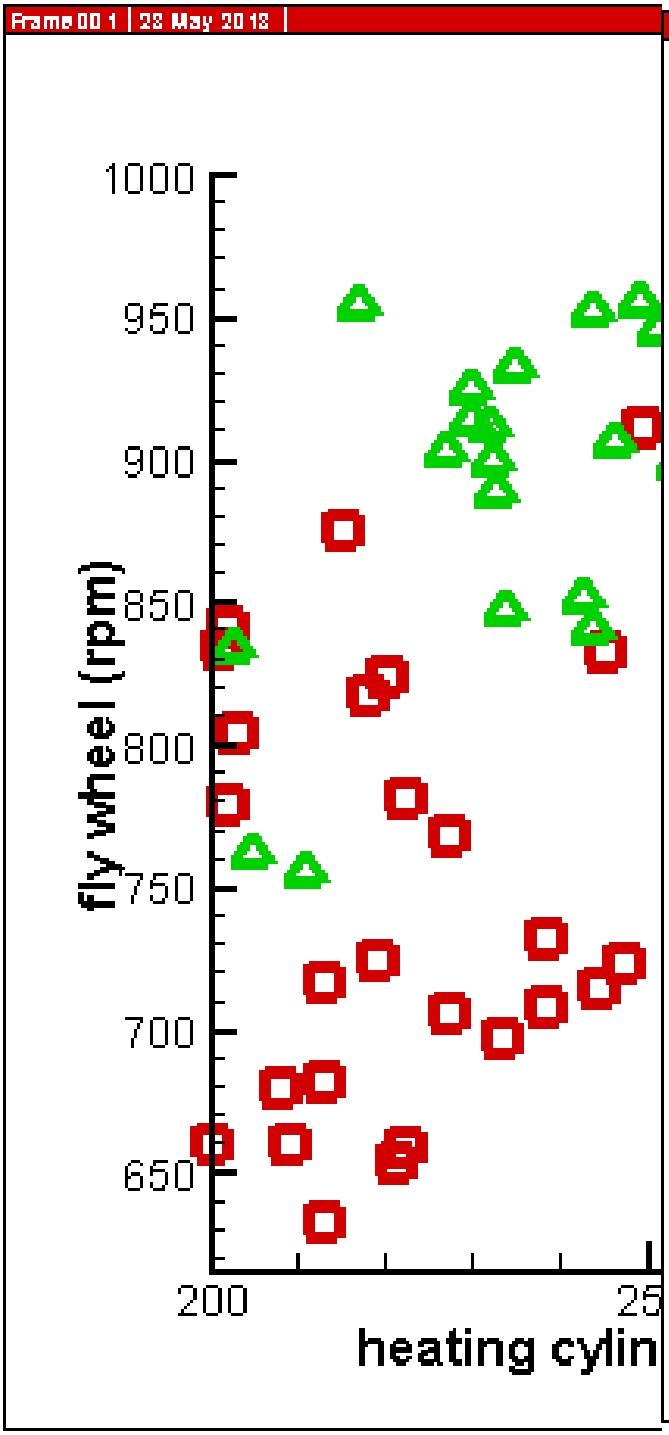


圖 35 三種氣缸飛輪轉速與加熱缸溫度分布圖係圖

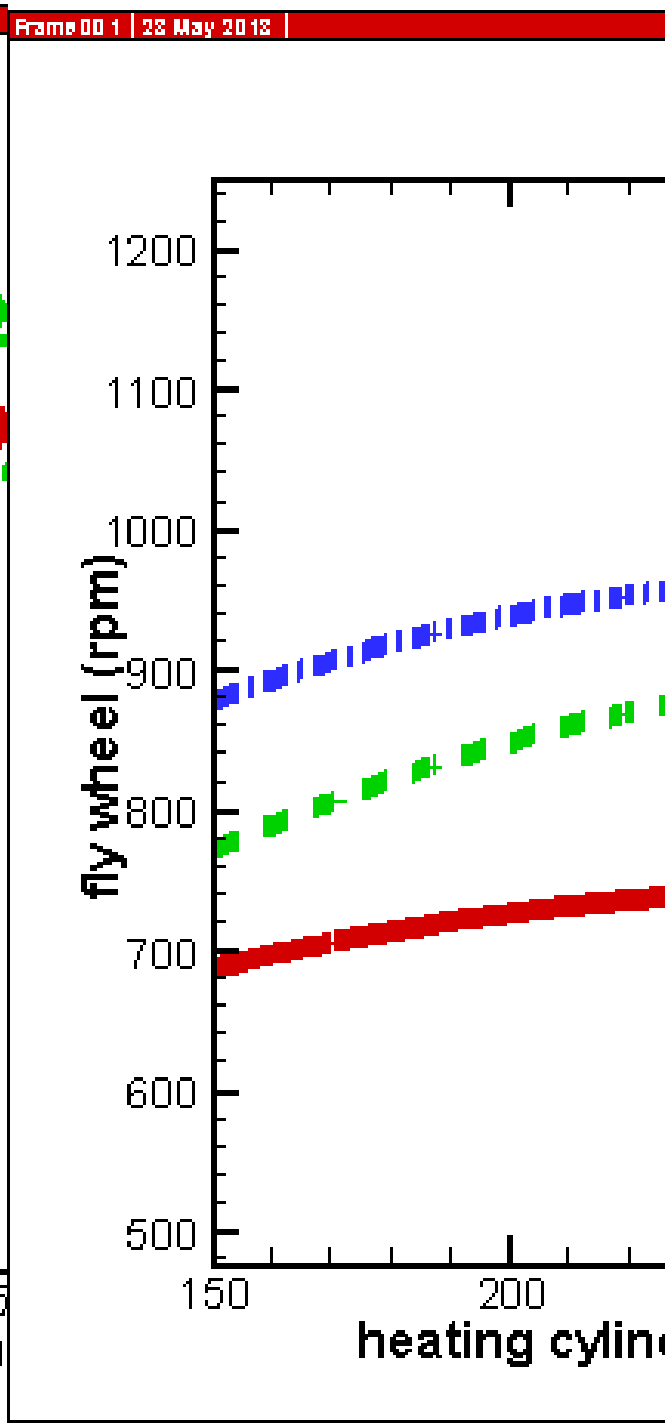
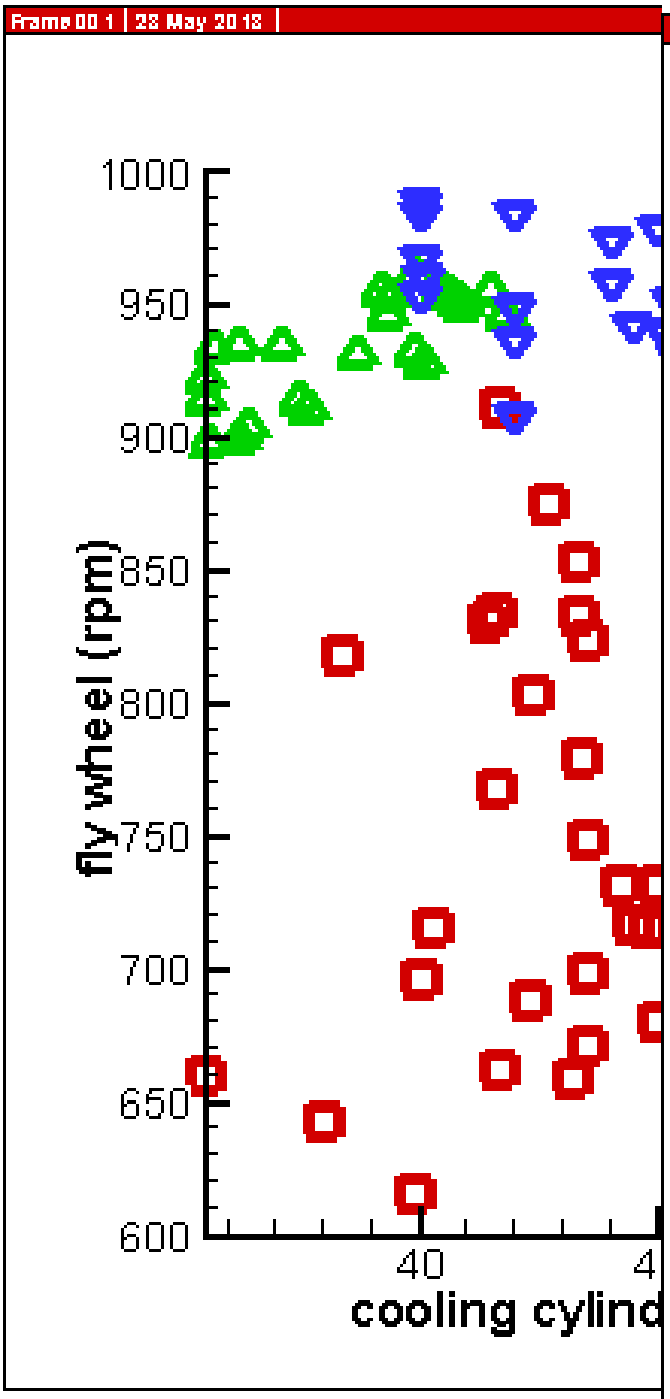


圖 36 三種氣缸飛輪轉速與加熱缸溫度之關



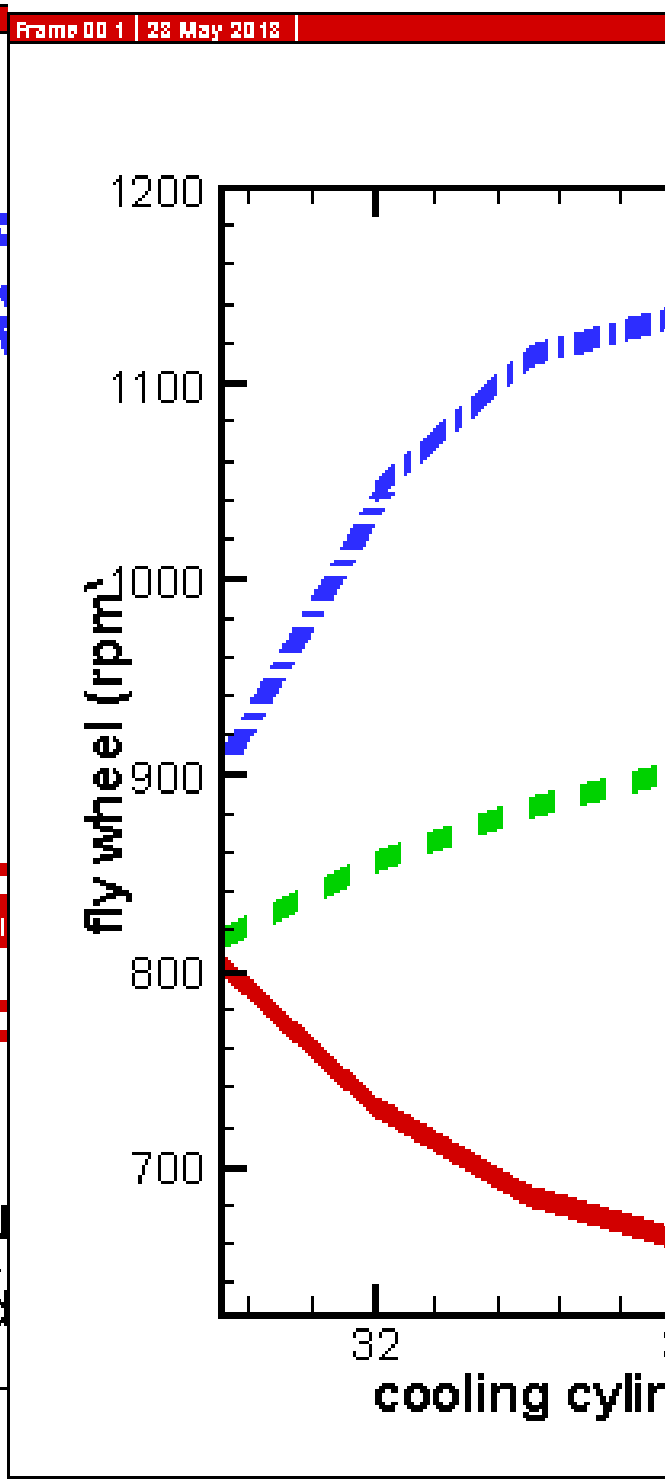


圖 37 三種氣缸飛輪轉速與冷缸溫度分布圖

圖 38 三種氣缸飛輪轉速與冷缸溫度之關係圖

2.螺槳下水負載

三種氣缸實驗方式，如圖 39 所示。飛輪轉速與加熱缸溫度之關係，如圖 40~41 所示。飛輪轉速與冷缸溫度之關係，如圖 42~43 所示。

圖 39 螺槳下水負載（由左而右依序為原始氣缸、再生器氣缸以及柱狀氣缸）

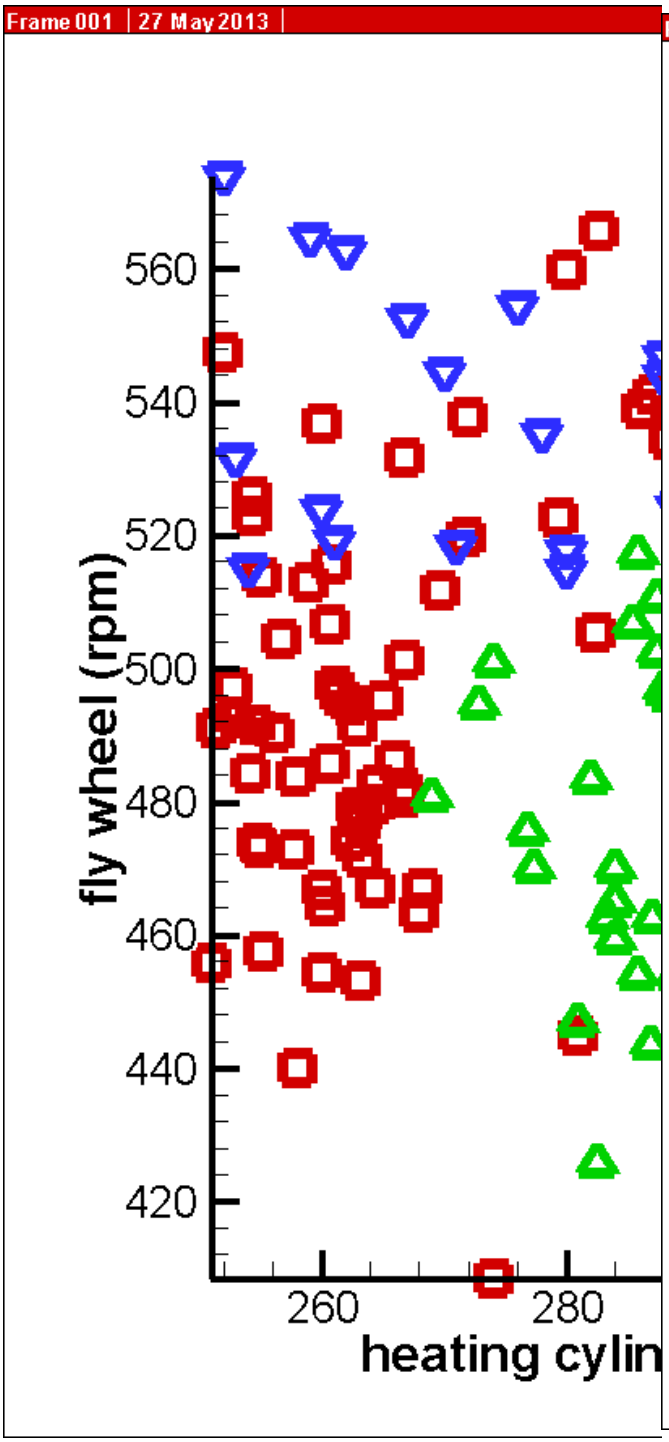


圖 40 三種氣缸飛輪轉速與加熱缸溫度分布圖

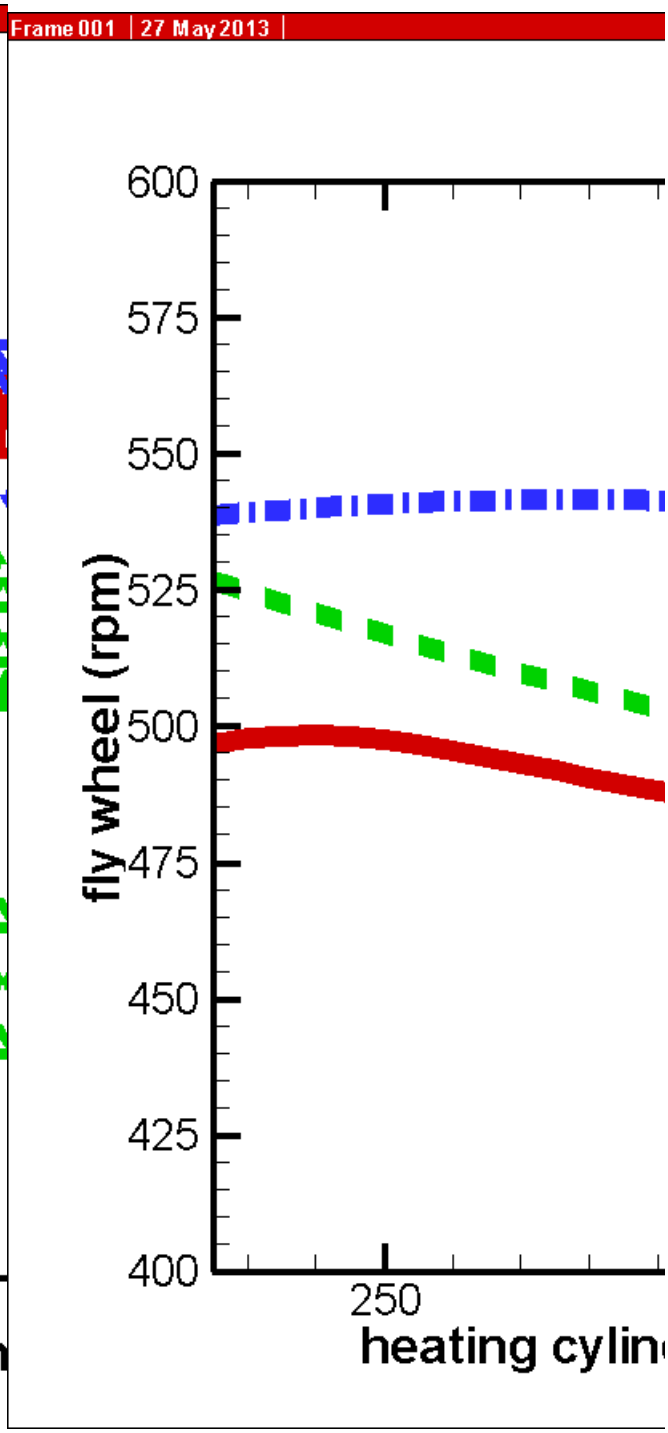
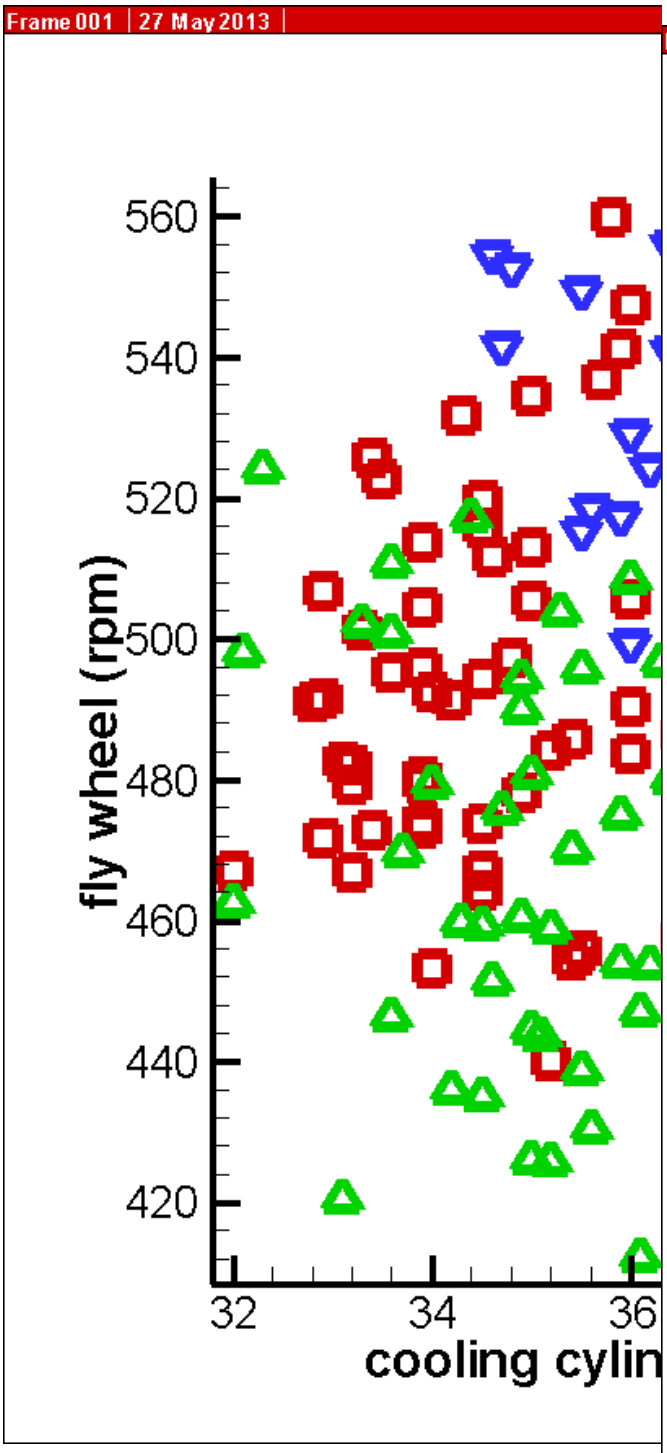


圖 41 三種氣缸飛輪轉速與加熱缸溫度關係圖



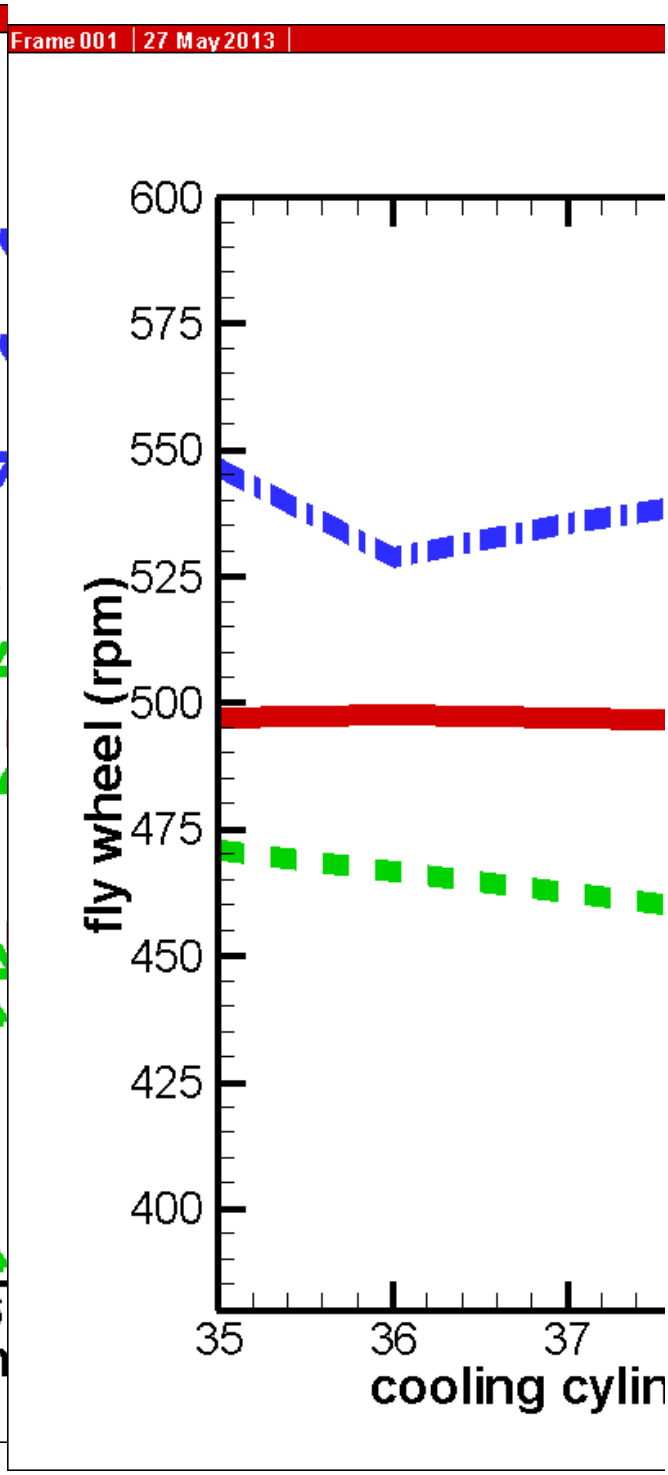


圖 42 三種氣缸飛輪轉速與冷缸溫度分布圖

圖 43 三種氣缸飛輪轉速與冷缸溫度關係圖

(二) Stirling 引擎發電機模組測試

將做好的直流發電機模組安裝上 Stirling 引擎，並使用直徑 6mm 的皮帶輪裝於發電機軸上，同樣以三種不同的氣缸做測試：原型氣缸、再生器氣缸、柱狀氣缸，如圖 44 所示。根據轉速愈高發電電壓愈高之原理，探討其發電電壓與加熱缸溫度、冷缸溫度之關係，測試其發電效能。發電電壓與加熱缸溫度之關係，如圖 45~46 所示。發電電壓與冷缸溫度之關係，如圖 47~48 所示。

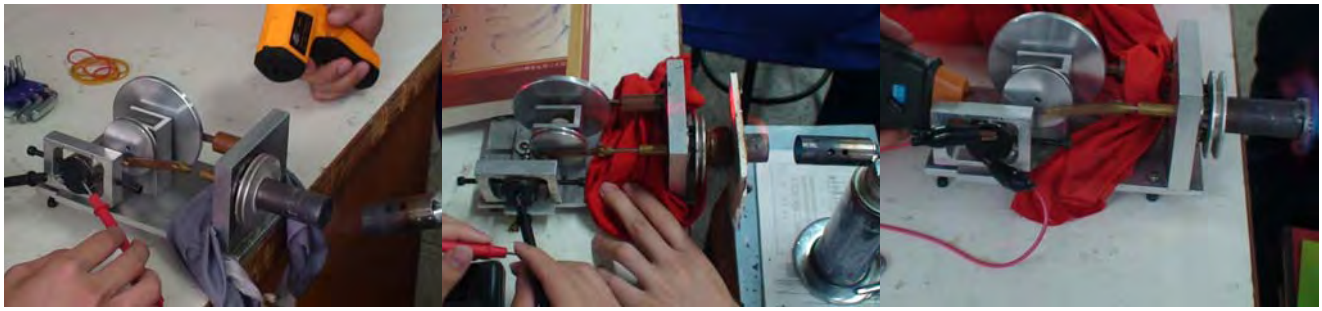
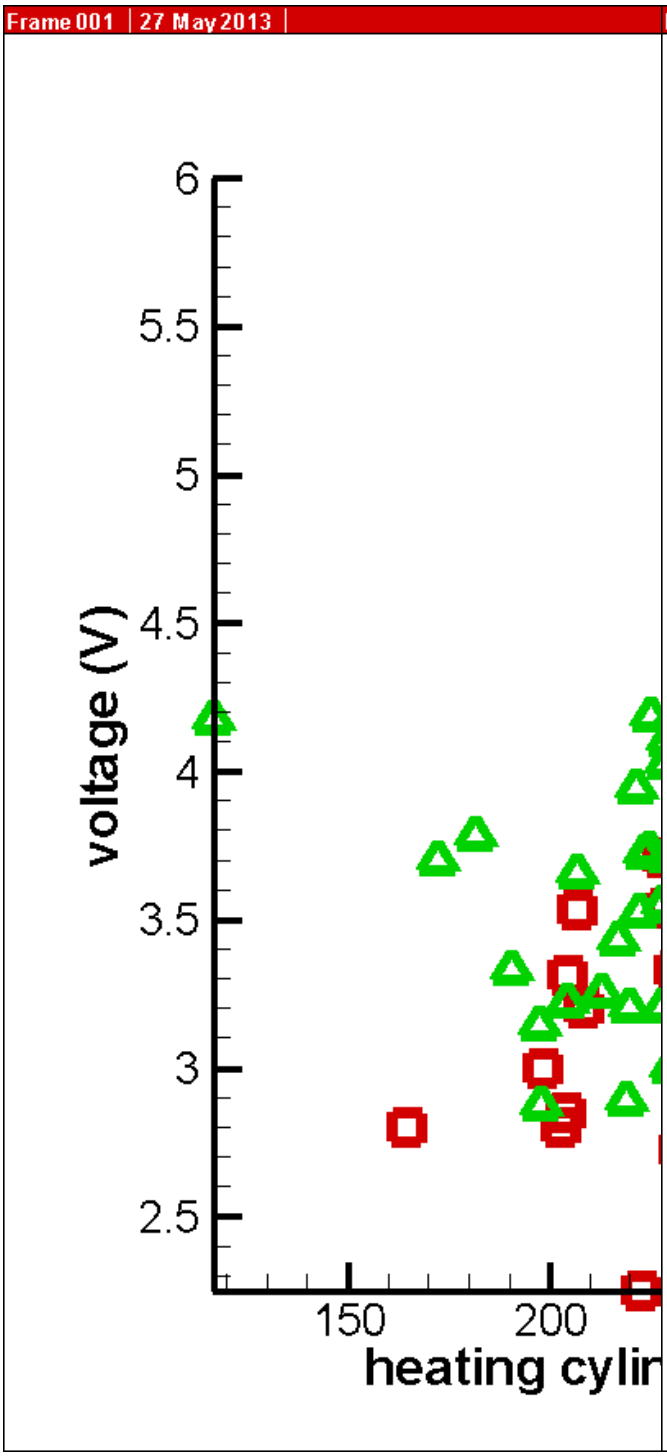


圖 44 發電機測試(由左至右依序為鰭片式氣缸、再生器氣缸、柱狀氣缸)



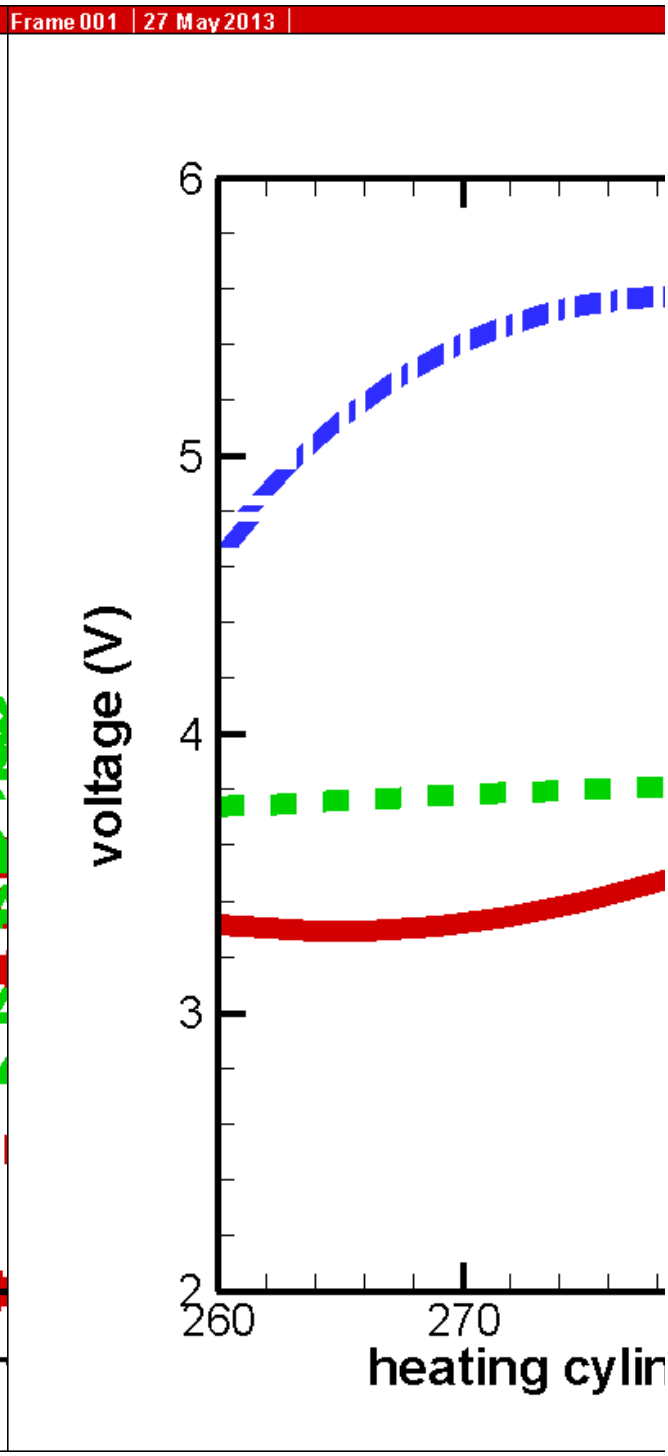
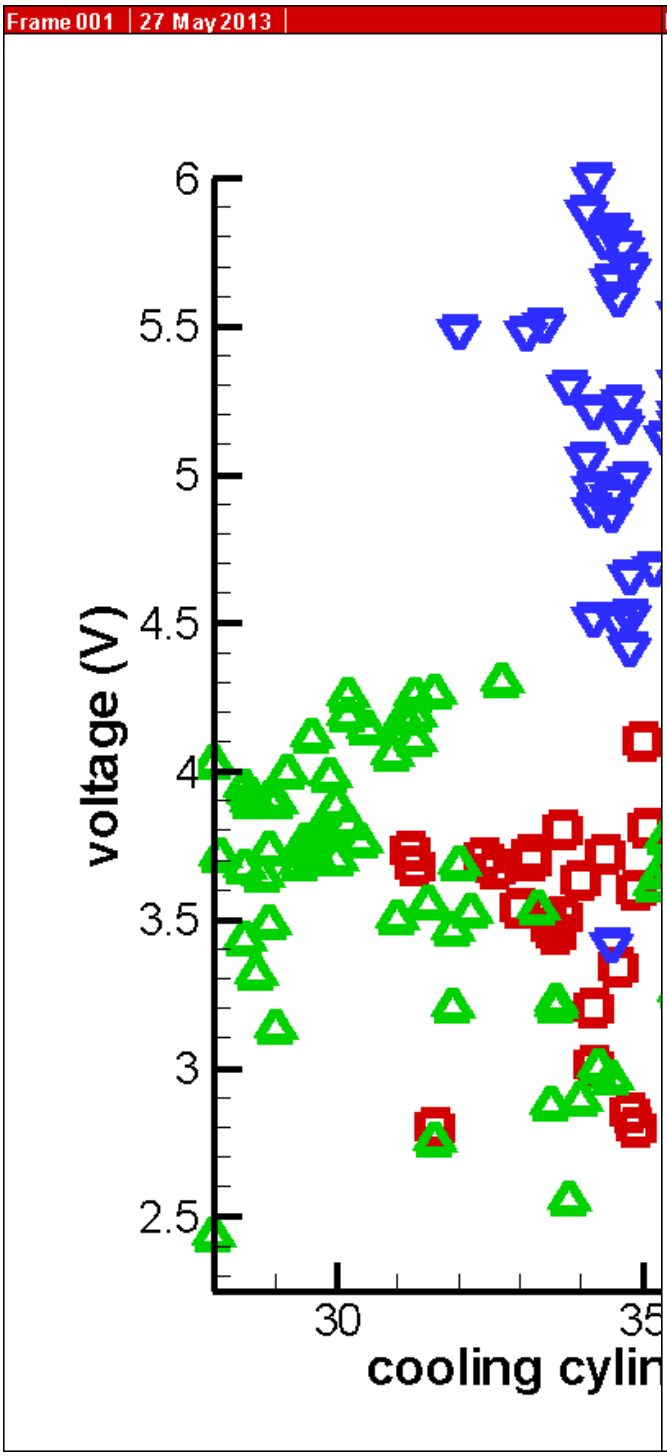


圖 45 三種氣缸發電電壓與加熱缸溫度分布圖　圖 46 三種氣缸發電電壓與加熱缸溫度關係圖



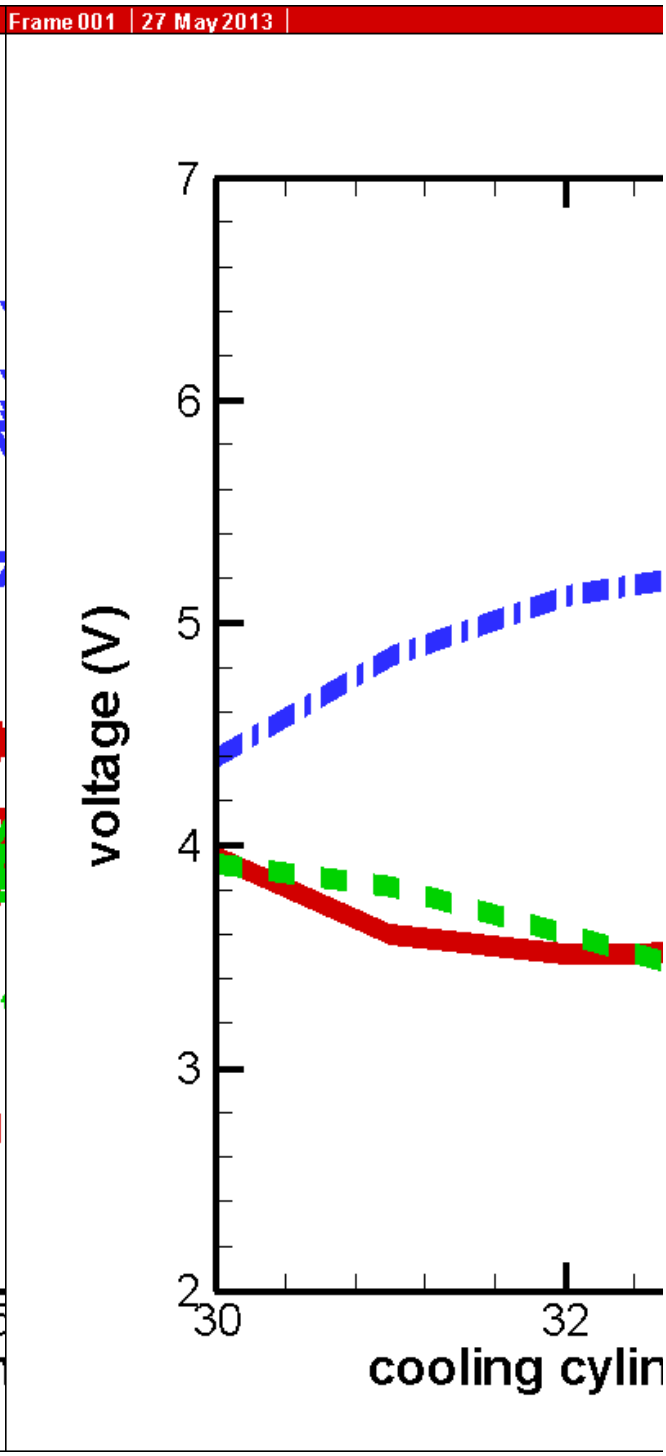


圖 47 三種氣缸發電電壓與冷缸溫度分布圖　　圖 48 三種氣缸發電電壓與冷缸溫度關係圖

陸、討論

一、Stirling 引擎扭力測試

模型船的製作是模擬 Stirling 引擎裝置在船上時的模擬狀況。因為模型船，因此 Stirling 引擎得不到任何排氣廢熱，因此為充分展現此專題之構想與成果，利用接近排氣廢熱之外部熱源供應 Stirling 引擎，以三中不同的氣缸來測試其動力輸出效果。經過實驗測試過後，三種氣缸飛輪轉速隨著負載增加轉速亦隨之減緩，但仍保有一定馬力輸出，其中又以柱狀氣缸效果最為明顯。引擎於加熱缸溫度 200~300℃之間其飛輪轉速為其最高且穩定值，超處此範圍者引擎呈現不穩定運轉狀況，時快時慢。溫度過高引擎活塞因熱膨脹而出現摩擦氣缸壁的現象，且在散熱效果有限下，引擎溫度過高導致冷缸溫度攀升，破壞引擎熱脹冷縮的運作原理，引擎轉速都漸漸下降；溫度過低，氣缸內部空氣熱脹冷縮不活躍，引擎無法以最大馬力輸出。另外，在冷缸 30~40℃之間引擎也保有最大且穩定的馬力輸出，於是我們得到在溫差 170~260℃時引擎馬力輸出最大也最穩定。

二、Stirling 引擎發電機模組測試

經由 6mm 皮帶輪測試後，如圖 44~48 所示。以柱狀氣缸發電電壓為最，不過離我們期望的電壓值有些落差，推估如果再嘗試其他直徑 6mm 以下的皮帶輪，可能會得到更高的電壓，但倘若引擎的馬力輸出不夠大也無法帶動直徑更小的皮帶輪，所以目前增加 Stirling 引擎的馬力是我們致力的目標。

柒、結論

現階段之模型引擎之輸出效能，並無法等比例地與實際尺寸之引擎對應，而在三種氣缸的實驗中得到柱狀汽缸的輸出馬力遠較於另外二者大，未來將著重於柱狀氣缸的改良，而後預估依尺寸放大，應有能力析出動力供發電機使用，降低柴油發電機的耗油量及負荷。

Stirling 引擎必須要在引擎的散熱和吸熱方面進行深入研究，才能在得到更大的馬力輸出。散熱端要快速散熱，吸熱端要吸熱快速並且保熱，如此增加其溫差才能增強熱脹冷縮的能力，提高扭力。另外在實驗的過程中，我們發現要穩定的控制火源供應似乎不容易，且外部熱源有危險之虞，但現在我們已有了將外部熱源改成內部熱源的想法，將瓦斯噴燈改成引擎用預熱塞，如此便可以以電源來控制預熱塞所散發的溫度，而重新設計氣缸，無論是外型、缸徑、行程等等，均是以增大馬力為目標，另一方面，面對要快速冷卻的冷缸，我們也另外想出了銅管水冷式降溫，此種在商船上常用的作法，是將源源不絕的海水抽進船內並經由管路來冷卻，預計效果會較散熱鰭片佳。

藉由此次的專題，我們發現將 Stirling 引擎運用於船舶且達到節能的目的是有可能的，船舶有將近 200~300℃的排氣廢熱，將其用來發電就可以達到節能之效，而在全世界講求環保意識、船舶相關國際公約修改愈趨嚴格下，更安靜、維修更為低廉且管理更加容易的 Striling 引擎能提供航商另一個可以節能減碳又能兼顧經濟效益的船舶輔助設備。兼具航商需要的利潤與環保間取得平衡，Stirling 引擎提供一個可以參考的選擇，該引擎只需熱源即可作動，僅需稍加改良，相信又是一個帶動綠色趨勢的劃時代代表。

捌、參考資料及其他

[1]吳怡萱、華健（2010）：船舶大氣排放物減量決策模式。船舶科技。第 38 期。

[2]曾玉泉（2006）：急速引擎的魅力 – 史特靈引擎（Stirling Engine）的介紹、製作與教學活動設計。生活科技教育月刊 39 卷，第五期。

[3]楊世安、周明賢、張瀚文、黃正清（2009）：海洋新契機 – 船舶環保節能減碳之研究。高雄市政府海洋局。

[4]劉柏廷、張簡伯威：Stirling 引擎（Stirling Engine）。全國中學生小論文。

[5]周鑑恆（2008/08）：能源之星 – Stirling 引擎。物理雙月刊(卅卷四期) 。

[6]李雅榮（2005）：FRP 船體結構力學之探討。中國造船暨輪機工程學刊第二十四卷第四期。

[7]陳祉君、廖俊超（2009）：船體設計課 PPT。台灣國際造船股份有限公司。

[8]李建佳：船舶推進大軸發電應用感應發電機之實用性。海員月刊第 674 期。

[9]陳柏汎、辛敬業（2012/07）：打造綠色船舶。科學發展第 475 期。

【評語】090907

本作品研究 Stirling engine 在綠能船舶上的應用，探討不同 Stirling 引擎設計的效能。

此作品完成三種 Stirling 引擎製作，測試不同操作溫度的輸出轉速或發電電壓，並且展示安裝於船舶上的可能性。此創作構想相當不錯，符合節能減碳的綠能發展趨勢，值得進一步探索發展。建議未來能專注於引擎本身的效能研究，以更嚴謹的方式比較不同設計的能量轉換效率，配合研究者的實作能量，應有機會獲得更具體成果。