

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

佳作

082802

廢熱不廢晶來電

學校名稱：臺南市東區復興國民小學

作者：	指導老師：
小六 曾苡軒	李孟娟
小六 黎恩妤	蔡佳錚
小六 張朝祐	
小六 鄭郁儒	
小六 葉晉瑋	
小六 陳禹叡	

關鍵詞：廢熱、溫差發電、致冷晶片

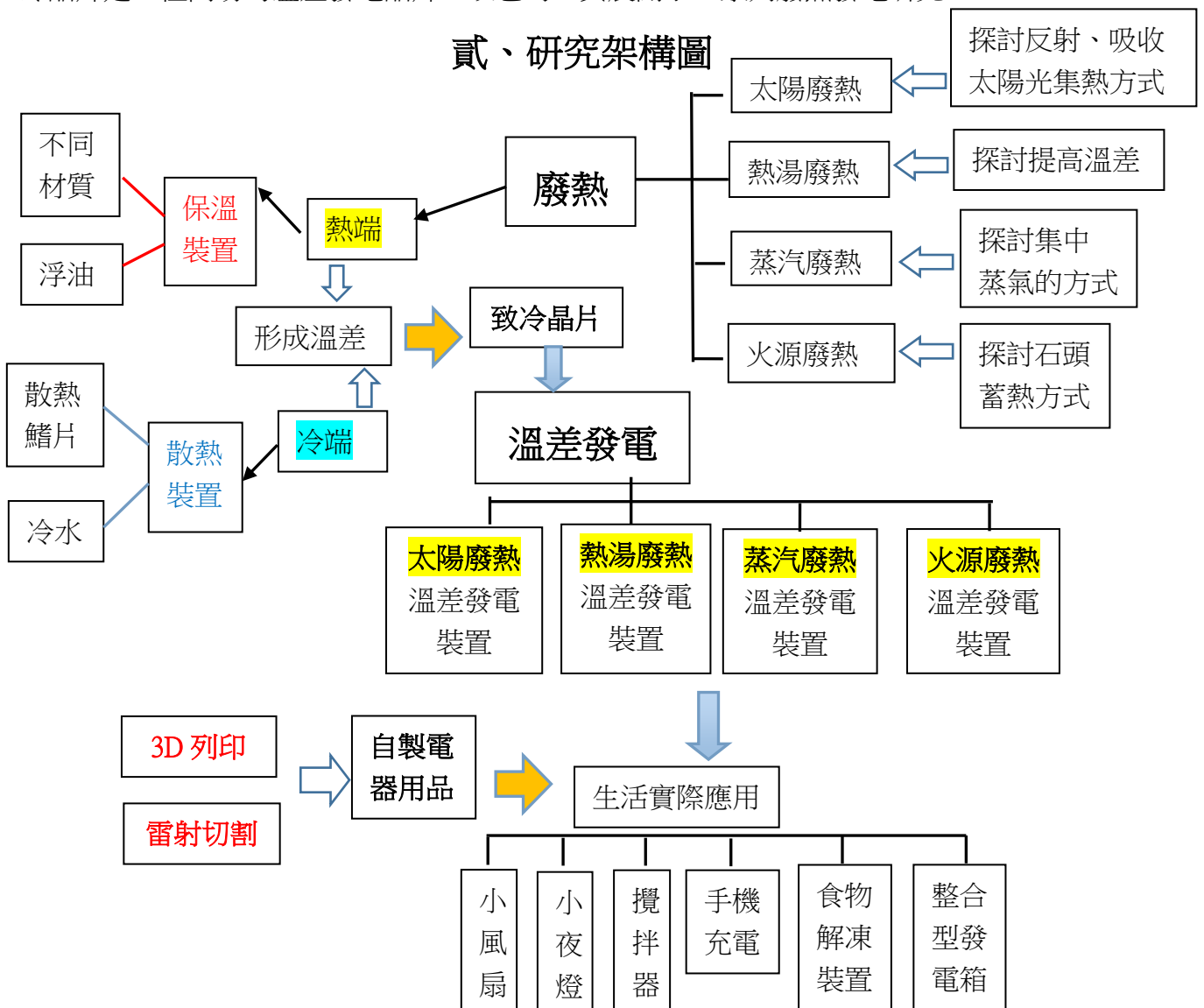
摘要

日常生活中有許多活動會產生熱能，這些熱大多直接散失掉，沒有被完全利用，例如：烹煮食物、烤肉等產生的熱。本研究在探討如何回收這些廢熱，以致冷晶片為工具進行溫差發電，並結合 3D 列印與雷射切割技術，自製發電箱與電器用品進行實際的生活運用。致冷晶片是利用熱端和冷端的溫度差來發電，針對熱端，探討了不同熱源的回收以及保溫的方式，包括材質和裝置；針對冷端，探討了散熱的方式和裝置。並依據不同廢熱的特性，研發出四種廢熱溫差發電裝置，包含太陽熱、熱湯熱、蒸汽熱、火源熱(以石頭蓄熱)等。最後更研發出整合型廢熱發電箱以驅動自製的電器用品，包括風扇、夜燈、攪拌器、食物解凍器，並可對手機充電，使廢熱不再廢而無用。

壹、研究動機

在自然課「綠色能源」的主題研究中，我們接觸到海洋能的溫差發電，覺得很新奇，便開始思考日常生活中進行的很多活動，例如：煮飯、烤肉...等，也都會產生一些熱，而這些熱大多會直接散掉沒有再利用，甚至因此造成環境的汙染，例如：形成溫室效應...等。因此我們開始去研究如何將這些生活中的廢熱保留並加以運用的方式，查詢資料後發現市售的致冷晶片是一種簡易的溫差發電晶片，以它為工具展開了一系列廢熱發電研究。

貳、研究架構圖



參、研究目的

- 一、研究測試溫差發電效益的方式
 - 一-1、探討自製溫差發電裝置的方式
 - 一-2、不同溫差對溫差發電裝置發電效益的影響
- 二、研究熱端熱源、冷端散熱方式對溫差發電裝置發電效益的影響
 - 二-1、研究不同熱源對溫差發電裝置發電效益的影響
 - 二-2、研究不同散熱方式對溫差發電裝置的發電效益影響
 - 二-2-1、探討自製測試散熱效果裝置的方式
 - 二-2-2、探討不同散熱方式對溫差發電裝置的發電效益影響
- 三、研究不同熱源的實際應用
 - 三-1、研究回收太陽廢熱的方式
 - 三-1-1、探討反射太陽光集熱提高溫差發電裝置效果的方式
 - 三-1-2、探討吸收太陽光集熱提高溫差發電裝置效果的方式
 - 三-1-3、自製【太陽廢熱】溫差發電裝置
 - 三-2、研究回收熱湯廢熱的方式
 - 三-2-1、探討提高熱湯廢熱溫差發電裝置保溫效果的方式
 - 三-2-2、探討提高熱湯廢熱溫差發電裝置散熱效果的方式
 - 三-2-3、自製【熱湯廢熱】溫差發電裝置
 - 三-2-4、自製【蒸汽廢熱】溫差發電裝置
 - 三-3、研究回收火源廢熱的方式
 - 三-3-1、探討不同種類石頭蓄熱的效益
 - 三-3-2、自製【火源廢熱】溫差發電裝置
- 四、日常生活中的實際應用
 - 四-1、自製適用廢熱溫差發電裝置的電器用品
 - 四-2、廢熱溫差發電裝置的實際應用

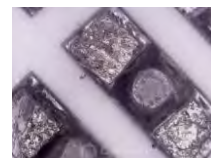
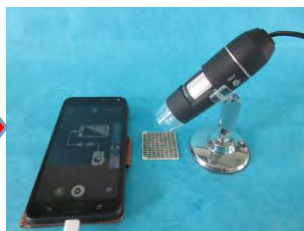
肆、研究原理

一、溫差發電：

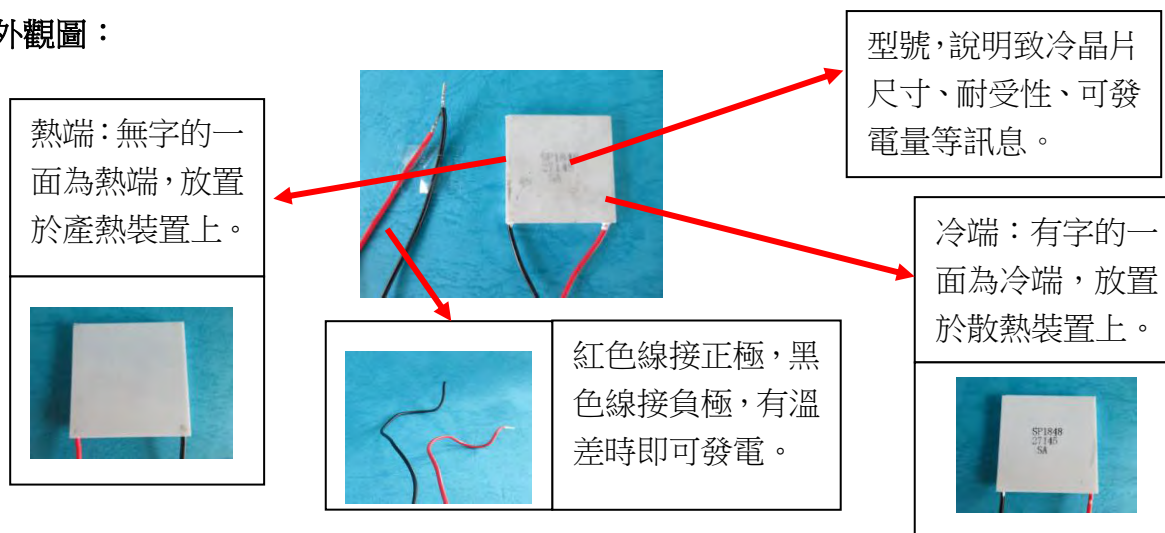
溫差發電為系統內有一處熱端、一處冷端，溫差就是指冷端和熱端溫度的差值，因為這形成的溫差讓兩端熱量會相互傳遞，利用這熱量間相互傳遞的能量來進行發電。

二、致冷晶片：

A 內部微觀：手機下載程式，利用顯微鏡頭進行拍攝。



B 外觀圖：



三、文獻探討：

研究歷屆科展作品，第 53 屆「綠焰重生—落葉碳質燃料在熱電晶片發電應用研究」，利用燃燒落葉來產生熱，讓 LED 燈亮起來。第 54 屆「日夜熱電共舞」，以太陽能熱水器所產生之熱水當熱源，驅動存電裝置。第 55 屆「能源再利用，遇火就來電」，必須點燃蠟燭來進行發電。第 58 屆「會發電的夾心餅乾」，更改致冷片，轉動小船。

本研究則嘗試利用生活中垂手可得的廢熱為熱源，自製可以應用多種廢熱的裝置，發揮創意設計出生活中實用的電器，最後組裝可攜帶的**整合型廢熱發電箱**，以驅動自製的電器用品。

伍、研究設備和材料

一、**實驗設備**：致冷晶片、電子式三用電表、顯微鏡頭、火鍋、3D 列印機、雷射切割機、風速計、溫度計、烤箱、手機。

二、**實驗材料**：鋁箔盤、熱水、冷水、冰塊、陽光、廢熱湯、油、牛奶、雞蛋、電線、塑膠板、珍珠板、反光紙、銅片、鋁片、鏡片、鋁箔紙、包裝紙、黑紙、黑色顏料、木頭。

三、**實驗用品**：蠟燭、酒精燈、LED 燈、散熱片、中空金屬管子、散熱鰭片、碼表、鋼杯、升壓片、鍋子、長尺、壓克力板、鐵鍋、鋁塊、鐵片、保麗龍、鋁箔、泡棉、軟木塞、木炭、砂岩、花崗岩、板岩、大理岩、沙子、磚塊、海石。

陸、研究過程與結果

研究一、研究測試溫差發電效益的方式

研究一-1、探討自製溫差發電裝置的方式

構思概念：

研究主要希望廢熱可以回收再進行利用，蒐集資料後，發現可以形成溫度差讓致冷晶片發電。以此為概念，著手組裝溫差發電的第一代裝置。

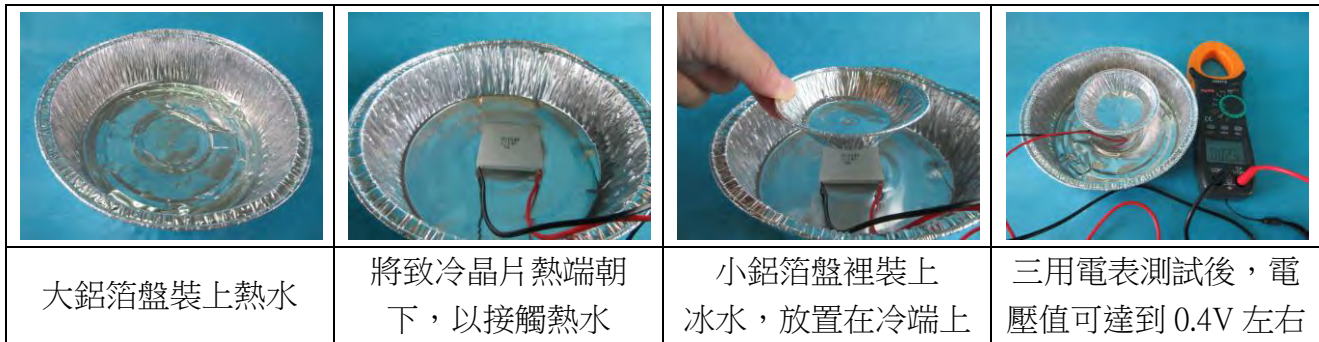
1. 討論設計溫差發電裝置的方式。

構思項目	方法	裝置方式
熱端提供熱源的方式	熱水	利用大鋁箔盤裝
冷端提供散熱的方式	冷水	利用小鋁箔盤裝

2.組裝第一代溫差發電裝置。

A.裝置材料：致冷晶片、大鋁箔盤裝熱水為熱端、小鋁箔盤裝冰水為冷端。

B.使用方式：



3.致冷晶片型號：

在購買致冷晶片時發現它有不同名稱，包含致冷晶片、溫差發電片、熱電致冷晶片…等，有的還會註記適合致冷或發電，蒐集不同樣式致冷晶片進行比較，如下表。

表一-1-1 不同型號的致冷晶片(大小皆為長 4cm×寬 4cm)

編號	A	B	C	D
型號	TEC-12706	TEC1-12715	SP1848-27145	TEG1-199-1.4-0.5
電壓值(V)	0.36	0.21	0.4	0.24

結果：利用第一代溫差發電裝置測試後，發現型號 SP1848-27145 的製冷晶片可以讓熱轉電的效果最佳，以此為主要實驗用的致冷晶片。

研究一-2、不同溫差對溫差發電裝置發電效益的影響

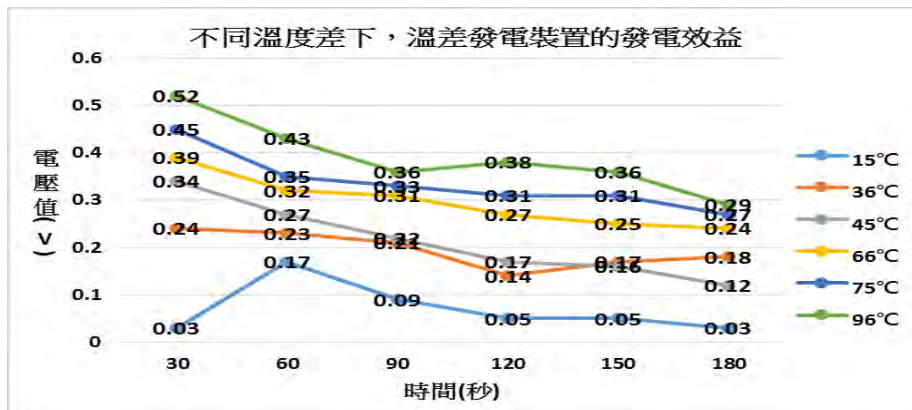
(一)、實驗步驟：利用第一代溫差發電裝置進行實驗。

- 1.準備不同溫度的熱水 30ml，放置在致冷晶片的熱端。不同溫度的冰水 30ml，放置於冷端。
- 2.利用電子式三用電表測量 180 秒內，各個間距 30 秒時間點所產生的電壓值。

(二)、實驗結果：

表一-2-1 不同溫度差對溫差發電裝置發電效益的影響

熱水溫度	22°C	30°C		60°C		90°C	
冷水溫度	22°C	15°C	-6°C	15°C	-6°C	15°C	-6°C
溫度差	0°C	15°C	36°C	45°C	66°C	75°C	96°C
平均電壓(V)	0.0076	0.07	0.20	0.21	0.30	0.34	0.39



(三)、發現與討論：

- 1.發現溫度差異越大所形成的電壓值會越高，電壓值變化較穩定。相對的差異越小所形成的電壓值較低，電壓值變化較為不穩定。
- 2.發現沒有持續散熱或提供熱源，過一段時間後，兩邊的溫度就會漸漸一樣，因此會造成所形成的電壓值變得很低，因此拉大保持溫差很重要。
- 3.發現電壓值不會和溫度差成正比相關，推測第一代溫差發電裝置無法很穩定的供電。
- 4.進行討論後，有以下的疑問，

問題一：什麼樣的熱源是可以回收的熱，這些熱可以讓致冷晶片有較佳的發電效益呢？

問題二：測試過程中，發現冷端的溫度很快就會提高，除了利用冰水，有什麼其它的散熱方式嗎？

問題三：在測試過程中，發現隨著熱端溫度的下降，發電效益明顯下降，如何針對熱端進行保溫呢？

研究二、研究熱端熱源、冷端散熱方式對溫差發電裝置發電效益的影響

研究二-1、探討不同熱源對溫差發電裝置發電效益的影響









構思概念：

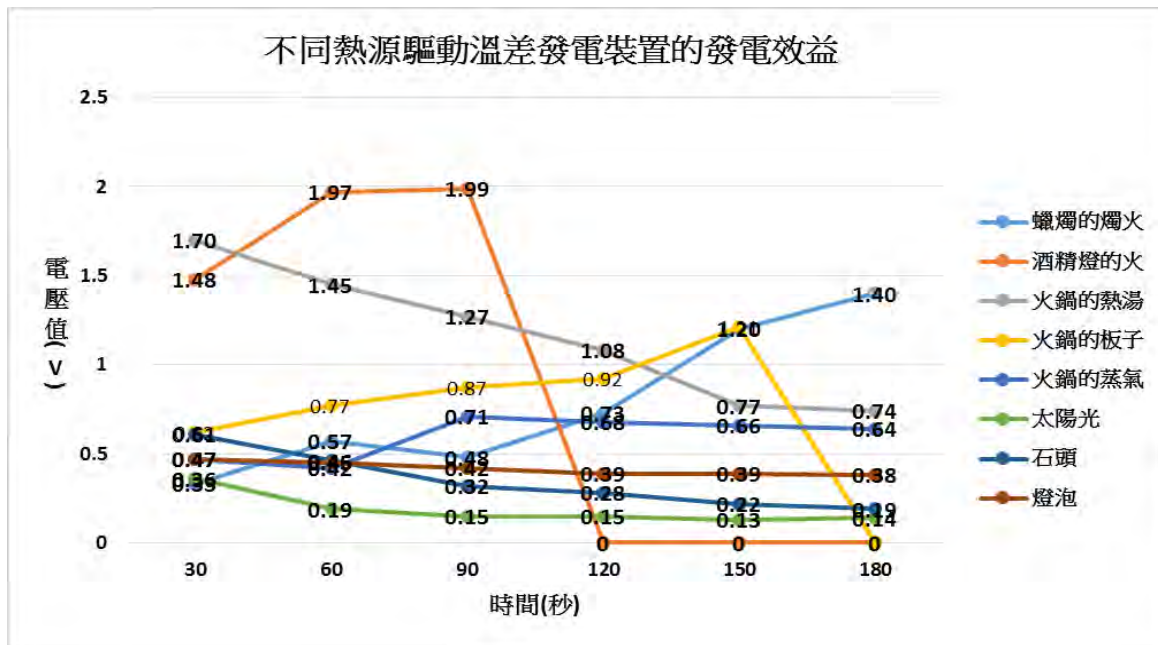
前面的實驗設計中，利用熱水做為熱源，那有沒有其它可以替代的熱源呢？且是可回收的熱源，以達到環保經濟的目的。

(一)、實驗步驟：改良第一代裝置的冷端，將小鋁箔盤裝入的水結成冰(30ml)，進行實驗。測試記錄不同的熱源每 30 秒的發電效益。

(二)、實驗結果：

表二-1-1 不同熱源對溫差發電裝置發電效益的影響

熱源名稱	蠟燭的燭火	酒精燈的火	火鍋的熱湯	火鍋的板子
溫度	(250°C)	(350°C)	(95°C)	(120°C)
照片				
平均電壓(V)	0.79	1.81	1.17	0.88
說明	無	90 秒時爆掉	無	150 秒出現焦味
熱源名稱	火鍋的蒸氣	太陽光	石頭	燈泡
溫度	(85°C)	(30°C)	(40°C)	(80°C)
照片				
平均電壓(V)	0.60	0.19	0.35	0.42



(三)、發現與討論：

1.將測試結果統整如下：

熱源名稱	熱源溫度	平均電壓	說明	熱源名稱	熱源溫度	平均電壓	說明
蠟燭的燭火	250°C	0.79	受熱地方為單一點	火鍋的蒸氣	85°C	0.60	蒸氣會散掉
酒精燈的火	350°C	1.81	爆掉	太陽光	30°C	0.19	無
火鍋的熱湯	95°C	1.17	水不可高過晶片	石頭	40°C	0.35	無
火鍋的板子	120°C	0.88	3分鐘後會有焦味	燈泡	80°C	0.42	無

2.發電效益較高的是酒精燈的火、火鍋的熱湯，最差的太陽光產生的熱。

3-1.酒精燈的火、蠟燭的燭火、火鍋的板子，產生的電壓值會持續上升，推測這些熱源可以持續提供一定的高溫給發電裝置。

3-2.火鍋的熱湯、太陽光、石頭等熱源提供給發電裝置的溫度不夠高，因此發電效果也較不佳。

3-3.火鍋的蒸氣電壓值會上升再下降，推測蒸氣會飄散無法很固定提供熱給致冷晶片，所以電壓值不穩定。

4.當冷端冰塊漸漸融化無法提供較佳的散熱時，電壓就會下降。如熱水一開始可以有很不錯的電壓值，但無法持續形成較佳溫差，最後電壓值會變低。

5.疑問與需要改良的地方如下：

- (1).發現溫度很高不一定可以產生很高電壓，可能裝置集熱的方式不是很適合，需要改良。
- (2).太陽光可以持續產生熱源，經濟實惠，符合環保，但產生的電壓值偏低，如何進行運用呢？
- (3).火鍋的熱湯、蒸氣也是可以考慮的方式，尤其熱湯可以產生很高的電壓值。但是致冷晶片不適合浸泡在熱湯中，如何進行改良呢？
- (4).發現直接利用火烤或者貼在熱板子上，致冷晶片會爆掉，但是可以產生很高的電壓，這要如何進行運用呢？

研究二-2、研究不同散熱方式對溫差發電裝置的發電效益影響

研究二-2-1、探討自製測試散熱效果裝置的方式

構思概念：

在研究二-1 中發現如果沒有讓溫差發電裝置適時的散熱以形成溫差，致冷晶片兩端的溫度會很快一致，發電效益就會不佳。那還可以利用什麼方式加強散熱呢？進行下面實驗。

一、自製測試散熱效果的裝置：利用燈泡為熱源。

測試裝置外觀圖：在暗箱內進行測試，避免外在干擾所形成誤差。



研究二-2-2、探討不同散熱方式對溫差發電裝置的發電效益影響

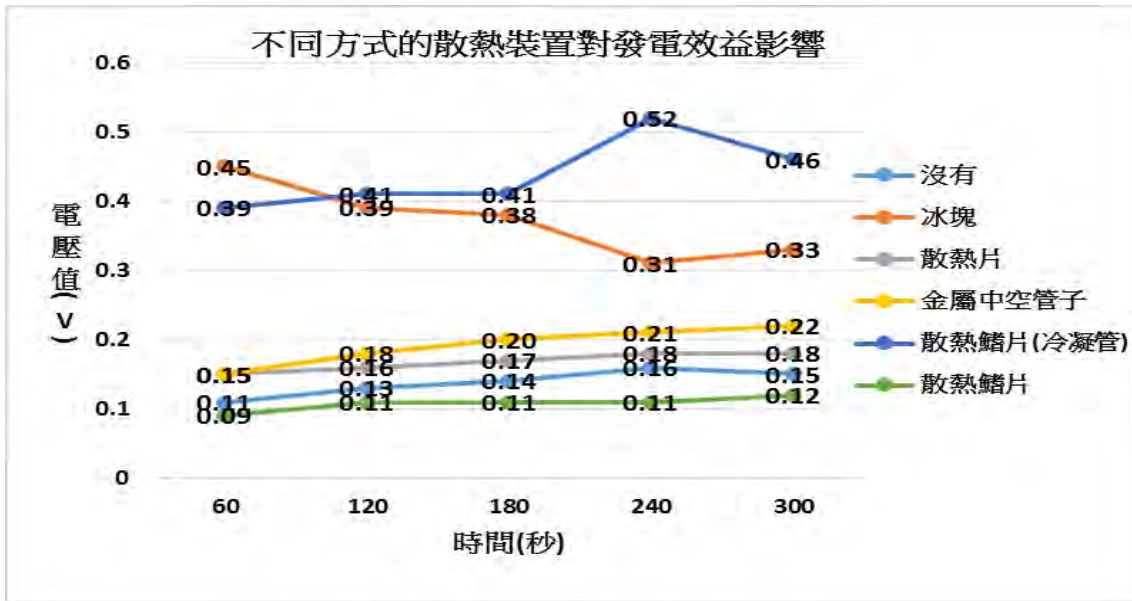
(一)、實驗步驟：

- 1.準備不同的散熱裝置，如表二-2-2-1。
- 2.利用二-2-1 研究中測試散熱效果的裝置，測試不同方式散熱裝置所產生的發電效益。

(二)、實驗結果：

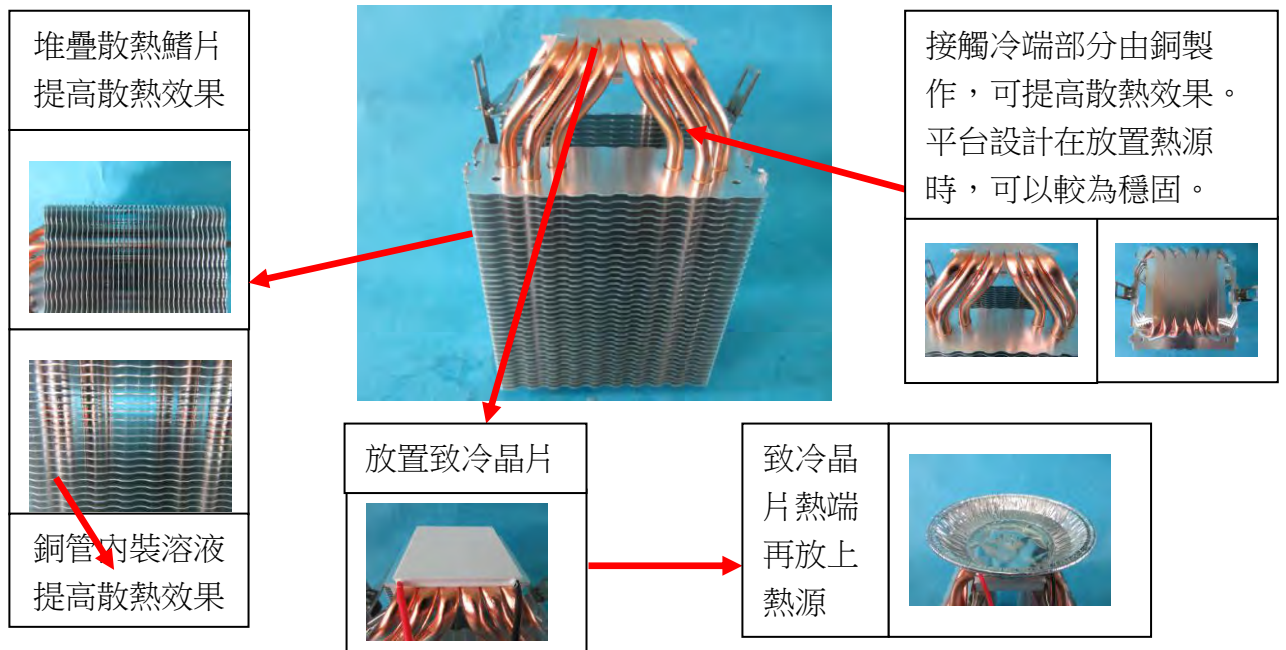
表二-2-2-1 不同散熱裝置對溫差發電裝置發電效益的影響

散熱方式	沒有	冰塊	散熱片	金屬中空管子	散熱鰭片(冷凝管)	散熱鰭片
照片						
說明	冷端未加上任何散熱的裝置	冷端放置冰塊來散熱	冷端黏貼散熱片	冷端裝置在中空金屬管子上	冷端放在散熱鰭片(冷凝管)上	冷端裝置在散熱鰭片上
測試照片						
平均電壓(V)	0.14	0.37	0.27	0.19	0.44	0.11

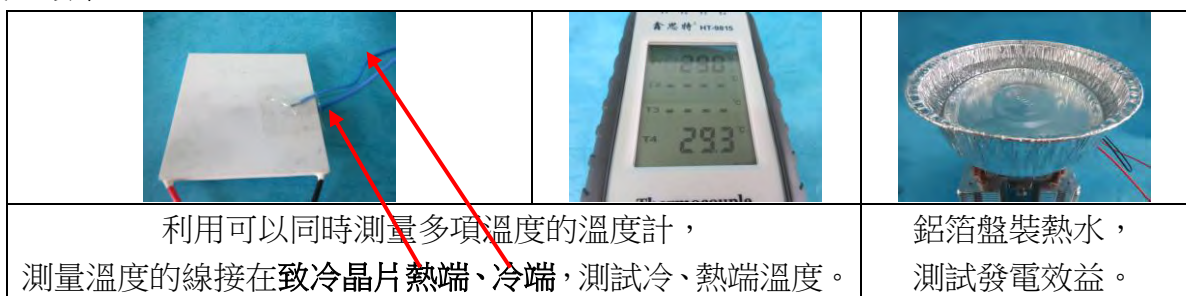


(三)、發現與討論：

- 1.發現效果較佳的是有冷凝管的散熱鰭片和冰塊，但是冰塊會融化，無法長時間使用。
- 2.金屬中空管子、無冷凝管的散熱鰭片散熱效果皆不佳，無冷凝管的散熱鰭片甚至比沒有裝置散熱的效果還差。
- 3.散熱效果最佳的是有冷凝管的散熱鰭片，以此將裝置更改成**第二代溫差發電裝置**，如下。

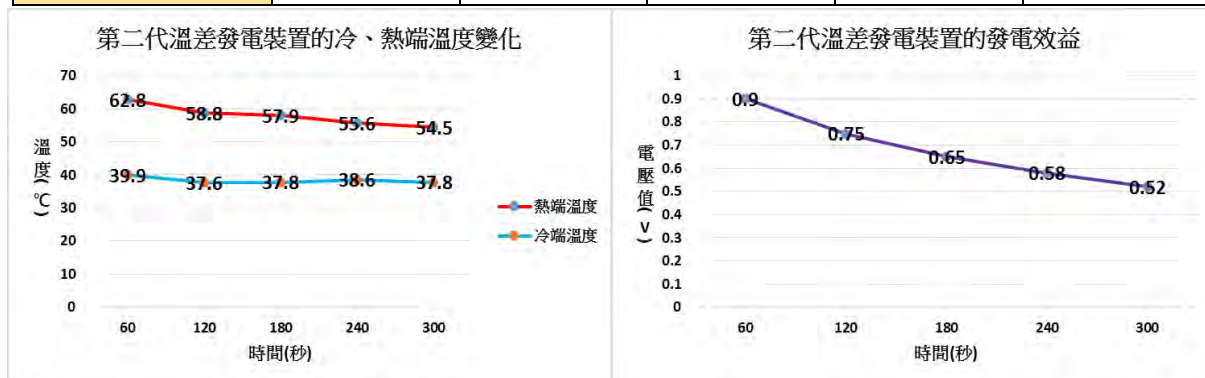


4.裝置效果：



表二-2-2-3 第二代溫差發電裝置的發電效益

時間	60 秒	120 秒	180 秒	240 秒	300 秒
熱端溫度(°C)	62.80	58.80	57.90	55.60	54.50
冷端溫度(°C)	39.90	37.60	37.80	38.60	37.80
溫度差(°C)	22.90	21.20	20.10	17.00	16.70
電壓值(V)	0.90	0.75	0.65	0.58	0.52



(三)、發現與討論：

1. 第二代溫差發電裝置因為有較佳的散熱裝置，因此發電效益比第一代效果佳。
2. 冷端的溫度下降的速度較熱端緩慢；熱端的溫度下降的速度較冷端快，接著以第二代溫差發電裝置為主要裝置方式，針對熱端提供的熱源進行更進一步的研究。

研究三、研究不同熱源的實際應用

研究三-1、研究回收太陽熱的方式

研究三-1-1、探討反射太陽光集熱提高溫差發電裝置效果的方式

構思概念：

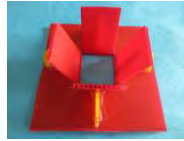
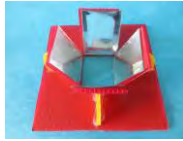


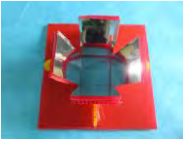
研究二中發現回收太陽熱效果不佳，嘗試在第二代溫差發電裝置上，設計提高回收太陽熱效益的裝置。包含反射太陽光、吸收太陽光以集熱在裝置上。

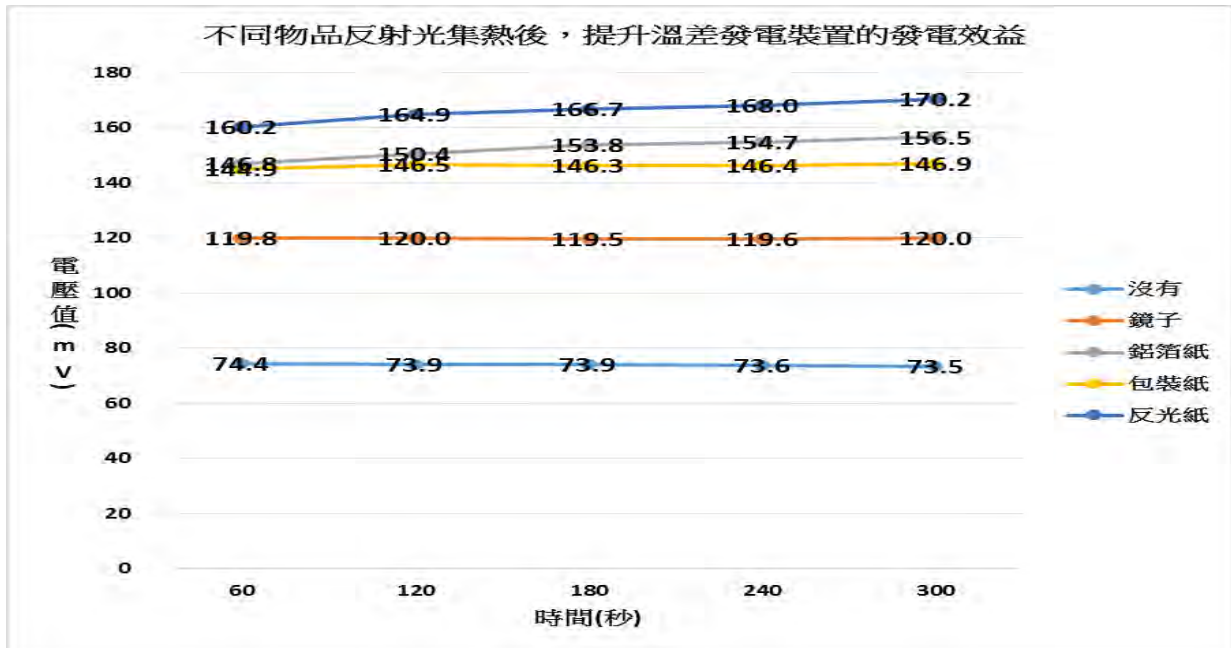
(一)、實驗步驟：以第二代溫差發電裝置，設計測試提升溫差發電效益的方式，如下：



(二)、實驗結果：

表三-1-1-1 不同種類物品反射光集熱後，提升溫差發電裝置發電效益的影響

裝置方式	沒有	鏡子	鋁箔紙	包裝紙	反光紙
照片					
平均電壓(V)	0.07	0.12	0.15	0.15	0.17



(三)、發現與討論：

- 1.發現不同材質反射光集熱之後，都會提高發電效益。效果由高到低，反光紙 > 鋁箔紙 > 包裝紙 > 鏡子。
- 2.發現反光紙反射光集熱的效果最佳，鋁箔紙和包裝紙的效果差不多，鏡子的效果最差。
- 3.反光紙將光反射再集中之後，提高發電效益達到兩倍多。

結論：

反光紙是不錯的反射光集熱的材質，提高發電效益達到兩倍多，推測它亮度高且可以很服貼的黏貼在裝置上，因此反射效果最佳。

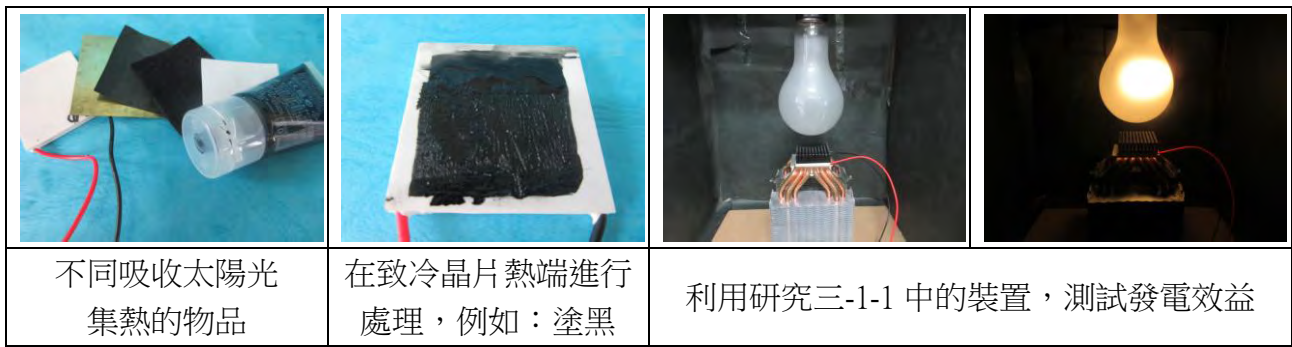
研究三-1-2、探討吸收太陽光集熱提高溫差發電裝置效果的方式

構思概念：

利用太陽熱發電效益不高，推測另一個原因是因為致冷晶片無法有效的吸收太陽熱。蒐集資料發現黑色物品、一些金屬物品都可以提高效果，接下來利用此原理進行實驗。


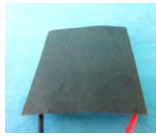

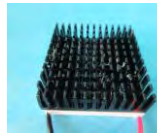
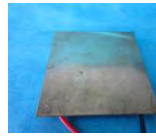
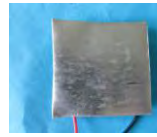
(一)、實驗步驟：

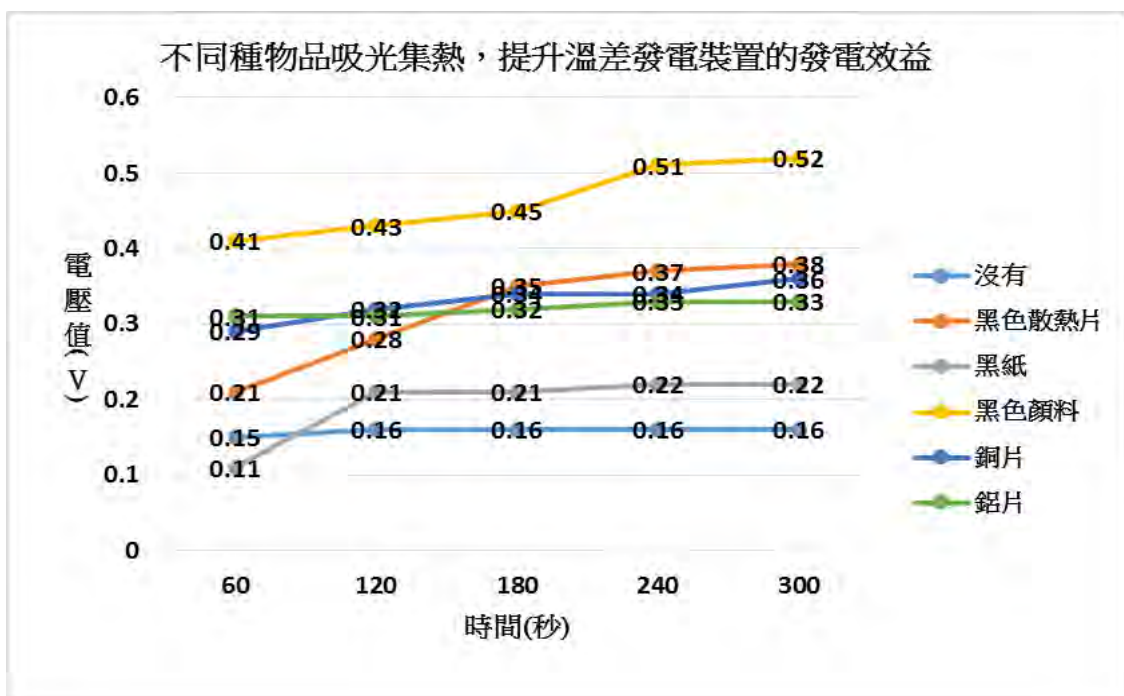
- 1.在致冷晶片的熱端上塗黑，加黑紙、黑色散熱片、銅片和鋁片，用未加當做對照組。將各物品放入上一個實驗的測試裝置中，進行實驗。



(二)、實驗結果：

表三-1-2-1 不同種類物品吸收光集熱後，提升溫差發電裝置發電效益的影響

裝置方式	沒有	黑紙	黑色顏料	黑色散熱片	銅片	鋁片
照片						
平均電壓(V)	0.16	0.19	0.46	0.32	0.33	0.32



(三)、發現與討論：

- 1.發現集熱效果最佳的是塗上黑色顏料，最差的是加上黑紙，且塗上黑色顏料的電壓高出其它方式很多。
- 2.銅片、鋁片、黑色散熱片也都有不錯集熱的效果，可以提升溫差發電裝置的發電效果。

結論：

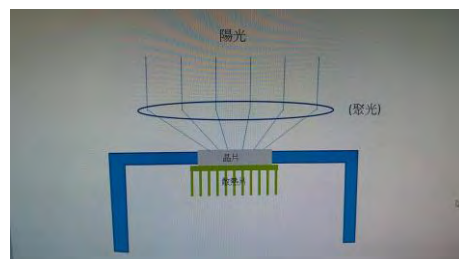
在致冷晶片上可以利用塗黑或加上銅片等物品來達到集熱的效果，以提升太陽廢熱溫差發電裝置的發電效果。

研究三-1-3、探討自製【太陽廢熱】溫差發電裝置的方式
構思概念：



利用研究三-1-1 和三-1-2 中的發現，設計【太陽廢熱】溫差發電裝置。嘗試利用反光紙作為集熱的裝置，如右圖。

發現效果有限，蒐集資料後，發現得做出曲線與抓到焦點，將它製作成拋物面以增加集中熱的效果，如右圖。



(一)、自製太陽廢熱溫差發電裝置：

1-1.計算自製拋物面數據：

拋物面算式： $Y^2 = 4CX$ 。

X 是高度、Y 是半徑、C=7。

焦距在中心 $y=0$ 且高度 $x=7$ 的地方。

1-2.將數據轉化、製作成板子。

<p>利用 Excel 計算數據，將所得數據各點畫成圖形</p>	<p>設計曲面板</p>


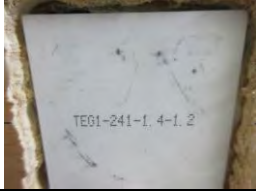






1-3.太陽廢熱溫差發電裝置製作方式：

<p>裁剪曲面板，固定在底板上</p>	<p>利用珍珠版和長尾夾固定各個板子</p>		<p>骨架完成圖</p>	
<p>黏貼反光紙， 反射太陽光</p>	<p>鋁塊高 7 公分， 讓鋁塊吸收熱</p>	<p>黏貼反光紙(反射) 和裝置鋁塊(吸收)</p>	<p>下方支架，可以依據太陽更改方向</p>	

1-4.太陽廢熱溫差發電裝置外觀圖：

<p>正面</p>	<p>側面</p>	<p>背面</p>

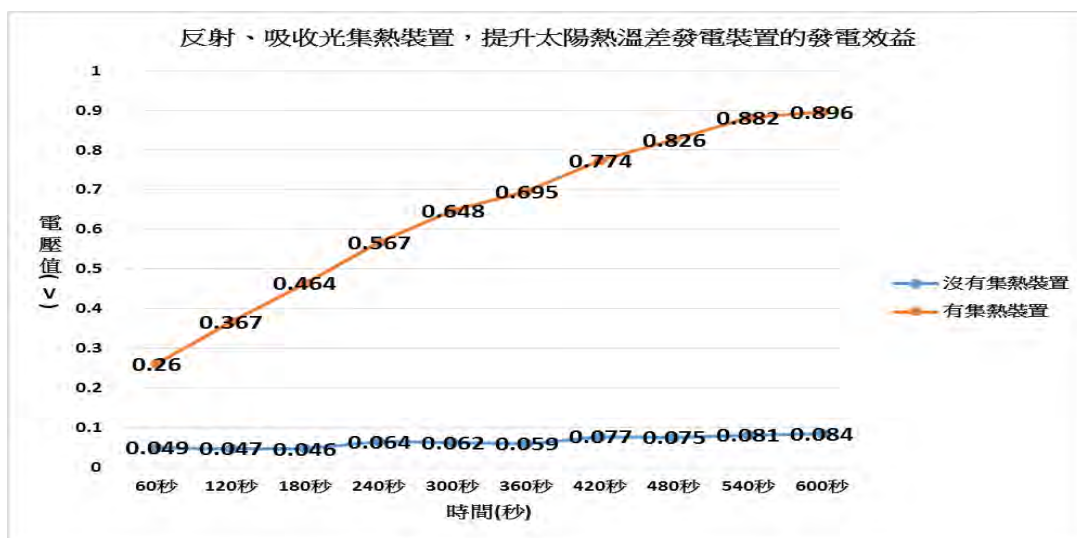
(二)、太陽廢熱溫差發電裝置**操作方式**：

			
在底部(鋁塊下方)，裝置上致冷晶片		接著固定散熱裝置	放置在太陽底下
			
調整裝置角度		讓光反射在鋁塊上	測試所產生發電效益

(三)、太陽廢熱溫差發電裝置**測試結果**：

表三-1-3-1 有(沒有)反射、吸收太陽熱裝置對太陽廢熱溫差發電裝置發電效益的影響

裝置方式	電壓值(V)									
	60s	120s	180s	240s	300s	360s	420s	480s	540s	600s
沒有反射、吸收太陽熱裝置	0.048	0.046	0.046	0.064	0.061	0.059	0.077	0.075	0.081	0.084
有反射、吸收太陽熱裝置	0.260	0.370	0.464	0.567	0.648	0.695	0.774	0.826	0.882	0.896



結果：發現利用反射、吸收太陽光集熱裝置，將太陽熱反射、吸收、集中之後，比沒有的效果提高 10 倍左右，且可以讓 LED 燈亮起來。

研究三-2、研究回收【熱湯廢熱】的方式

研究三-2-1、探討提高熱湯廢熱溫差發電裝置**保溫效果**的方式

構思概念一：發現廚房烹煮食物的過程中會產生一些溫度高達 100℃ 的廢熱水，例如：燙青菜、水煮蛋、煮水餃、煮麵條、川燙肉片、消毒抹布…等，這些沸騰的熱水通常會被丟棄，這些廢熱又可以如何再運用呢？



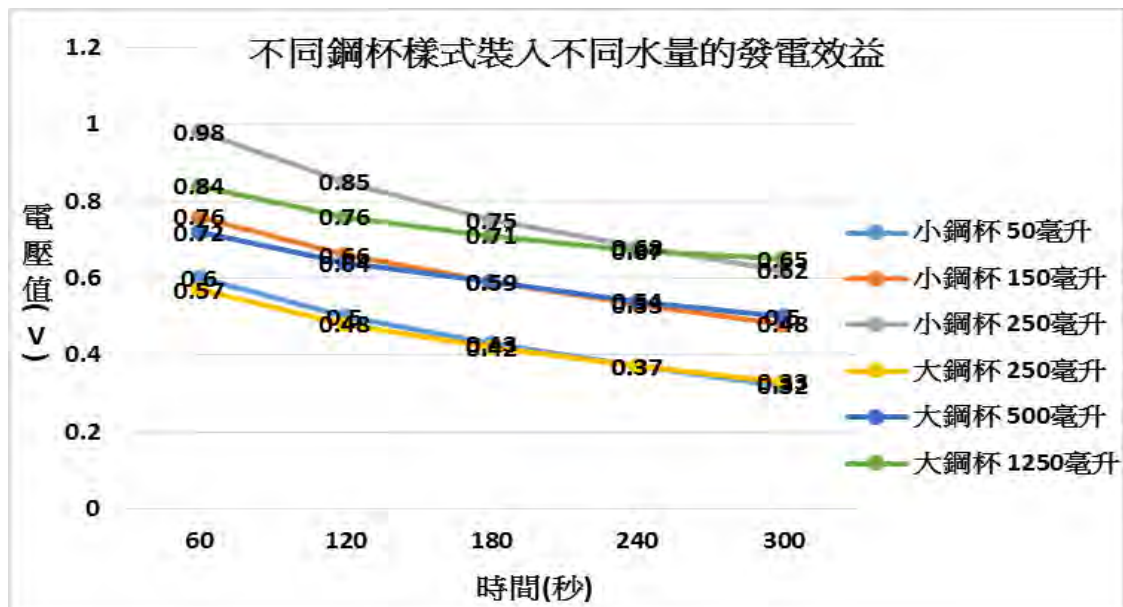
(一)、裝置方式：



(二)、裝置效果：

表三-2-1-1 不同樣式鋼杯裝入不同量 90°C 的水，對溫差發電裝置發電效益的影響

鋼杯的樣式	小鋼杯			大鋼杯		
水量(mL)	<u>50</u>	<u>150</u>	<u>250</u>	<u>250</u>	<u>500</u>	<u>1250</u>
平均電壓(V)	0.44	0.60	0.78	0.43	0.60	0.72



(三)、發現與討論：

- 1.發現不論是小鋼杯或大鋼杯，水裝的量越多，所產生的發電效益就越高。
- 2.發現等量的增加水，發電效益卻沒有等量的增加。
- 3.發現大鋼杯裝的水量比小鋼杯多，但是沒有較高的發電效益，推測因為鋼杯表面積太大，把熱都散掉了。





構思概念二：

由上一個實驗可以發現把熱保留很重要，如何將鋼杯內的熱水產生的熱保留呢？市面上有很多保溫的物品，蒐集後進行實驗。

A 鋼杯套不同保溫材質物品對發電效益的影響

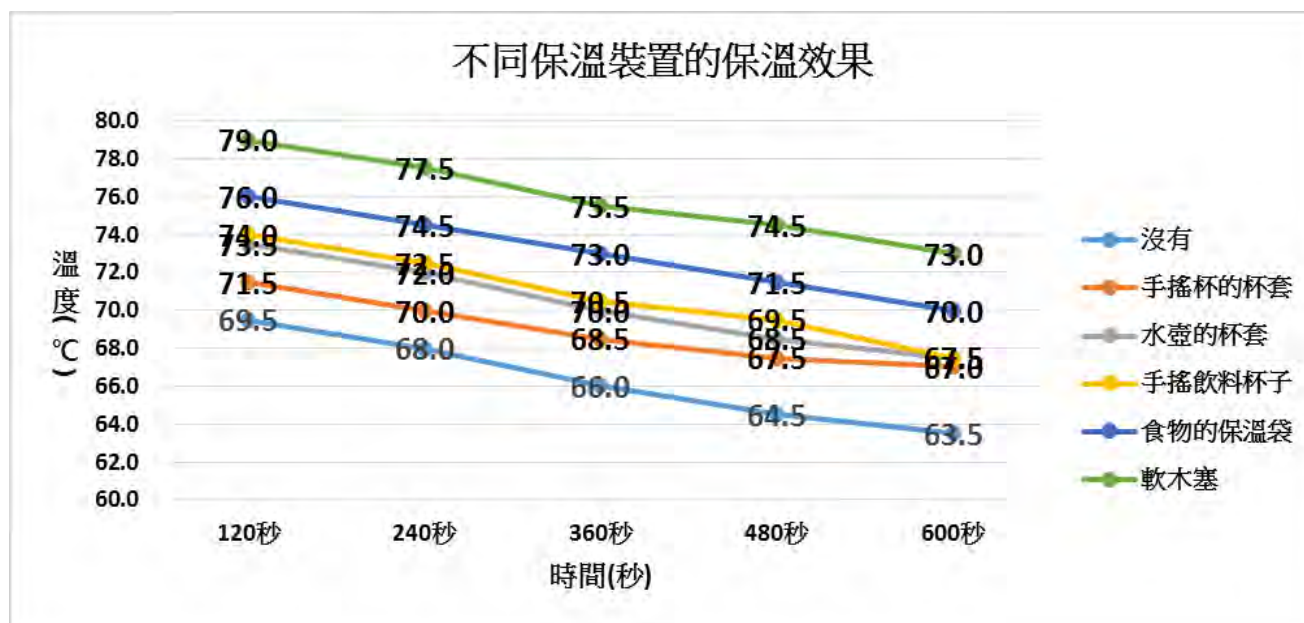
(一)、實驗步驟：

1.準備不同種類的保溫物品，包含沒有保溫、手搖杯的杯套(泡棉)、水壺的杯套(潛水衣材質)、手搖飲料的杯子(保麗龍)、食物的保溫袋(鋁箔)、軟木塞，最後在上方加上蓋子。

			
準備鋼杯	套上材質不同的保溫裝置	裝入 150 mL 90°C 的熱水	計算溫度變化

表三-2-1-2 不同保溫裝置的保溫效果

保溫裝置	沒有	手搖杯的杯套	水壺的杯套	手搖飲料的杯子	食物的保溫袋	軟木塞
材質	沒有	泡棉	潛水衣	保麗龍	鋁箔	軟木塞
600 秒	63.5	70.0	67.5	67.5	67.0	73.0
排名	6	2	3	3	5	1



(三)、發現與討論：

1.發現溫度變化由小到大，軟木塞、手搖杯的杯套、手搖飲料的杯子、水壺的杯套、食物的保溫袋。保溫效果較佳為軟木塞、手搖杯的杯套。

B 廢熱水上滴油對發電效益的影響

構思概念：

煮水餃的水，上層會浮一層油，這層油對發電效益會有所影響嗎？利用油進行實驗。








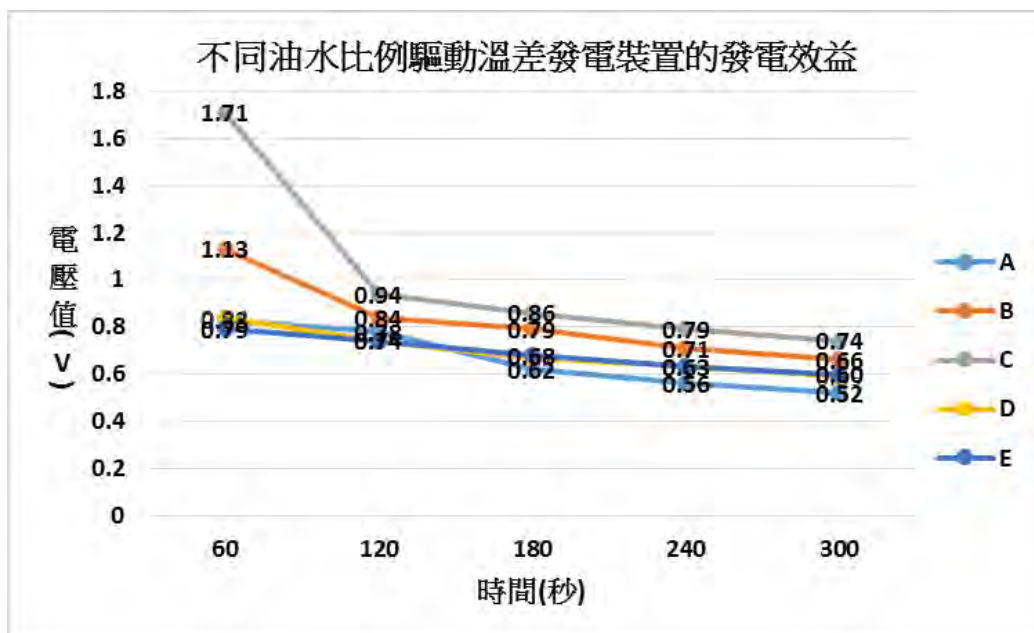
(一)、實驗步驟：

- 1.在鋼杯裡分別裝入不同油水比例的溶液，進行編號 A-E，將各個油水比例溶液加熱到 90°C 後，利用第二代溫差發電裝置測試所產生的發電效益。

(二)、實驗結果：

表三-2-1-3 不同油水比例對溫差發電裝置發電效益的影響

編號	A	B	C	D	E
水量	150mL	145mL	140mL	130mL	0mL
油量	0mL	5mL	10mL	20mL	150mL
照片					
平均電壓值(V)	0.67	0.83	1.00	0.69	0.69



(三)、發現與討論：

- 1.發現電壓值由高到低是，編號 C>B>D=E>A。
- 2.發現水面有一些浮油，就有保溫效果，可以提高電壓，但油剛好蓋滿水的發電效益最佳。
- 3.發現油蓋滿水的油量太多時，發電效果不佳，推測因為油太多反而干擾水的對流。熱無法順利傳遞，所以效果不佳。

結論：

在廢熱水上加一層浮油、且剛剛蓋住水的量，如此可以有最佳的發電效益，大概有提高 1.5 倍的效果。推測因為油有保溫效果，可以減緩熱散掉的速度。

研究三-2-2、探討提高熱湯廢熱溫差發電裝置散熱效果的方式

(一)、實驗步驟：以下實驗的熱源為小鋼杯內裝 150mL、90°C 的熱水。

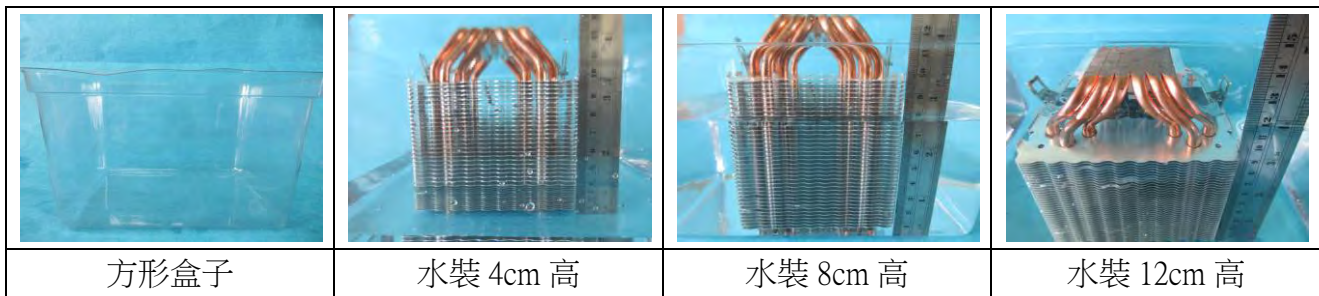
A 水量對提高冷端散熱效果的影響

1. 在方型盒子內裝入不同高度的水，包含未加、4cm 高、8cm 高、12cm 高。

B 水溫對提高冷端散熱效果的影響

1. 準備方型盒子，裝入 4cm 高的水。

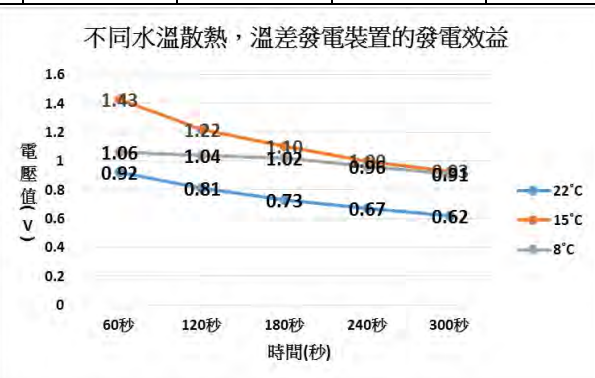
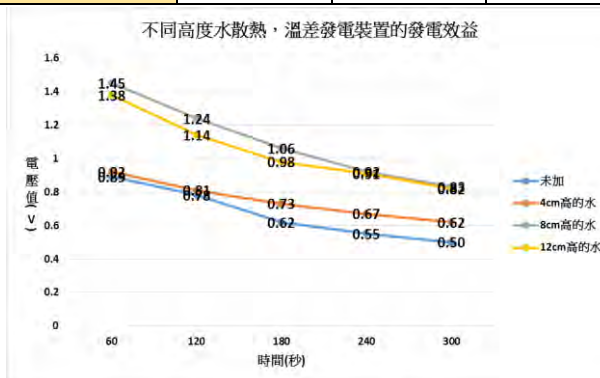
2. 更改方型盒子內裝入水的溫度，包含 22°C、15°C、8°C。



(二)、實驗結果：

表三-2-2-1 不同高度水量、水溫對溫差發電裝置發電效益的影響

盒中加入 水量、水溫	22°C 的水				4cm 高的水		
	未加	4cm 高 的水	8cm 高 的水	12cm 高 的水	22°C	15°C	8°C
平均電壓(V)	0.67	0.75	1.10	1.00	0.75	1.14	1.00



(三)、發現與討論：

1. 發現將散熱鰭片(冷凝管)放入水中確實可以提高散熱的效果。
2. 發現一開始效果最佳的是 8cm、次佳的是高 12cm；最後 8cm 高和 12cm 高的效果差不多。
3. 發現水太多不見得可以提高效果，推測這樣讓散熱鰭片(冷凝管)無法運作的更佳。
4. 發現盒中加入水溫效果為 15°C > 8°C > 22°C。
5. 發現降低盒中的水溫可以提高發電效益 以 15°C 的效果最佳，水溫太低不見得有效果。
6. 推測方盒中的水溫太低會讓製冷晶片冷端溫度降到太低，將低溫傳到熱端，所以整體發電效果因此不佳。








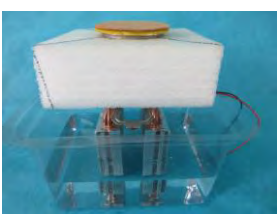
結論：

1. 發現加水可以讓散熱裝置提高效果，大概 8 公分的水就可以有不錯的效果。
2. 將散熱裝置放入水中可以提高發電效益，水溫大概 15°C 即可。

研究三-2-3、自製【熱湯廢熱】溫差發電裝置

依據研究三-2-1 和研究三-2-2 的結果，自製第二版廢熱溫差發電裝置---熱湯熱溫差發電裝置，如下表。

表三-2-3-1 自製熱湯廢熱溫差發電裝置的方式

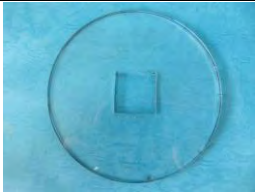



項目	說明	照片
熱源	熱湯熱 例如：燙青菜、水煮蛋、川燙肉片、煮水餃、消毒抹布、煮麵條…等。	
發電裝置	第二代溫差發電裝置上放熱源，使用散熱鰭片散熱，利用致冷晶片發電。	
裝置熱源用具	不同尺寸的鋼杯 鋼杯可以將熱湯熱傳導到致冷晶片上，且使用後可以簡易的清理。	
保溫裝置方式	A 利用可保溫材質的物品，例如軟木塞、泡棉…等，自製成保溫裝置。 a 利用泡棉套住鋼杯、軟木塞當作蓋子。 b 利用軟木塞套住鋼杯、和製作蓋子。 B 利用水面上適量的浮油達到保溫效果。	A-a  A-b  B 
散熱裝置方式	使用散熱鰭片(冷凝管)進行散熱，也可以放入水中提高散熱效果。	 
建議裝置方式外觀圖		 

研究三-2-4、自製【蒸汽廢熱】溫差發電裝置

構思概念 A：

發現熱湯會有不斷冒出的蒸氣，這些廢熱應該也可以回收利用。但在研究二-1 中發現蒸氣會飄散，所以無法有效回收，接著嘗試將熱湯廢熱裝置更改成可以回收蒸汽熱的方式。

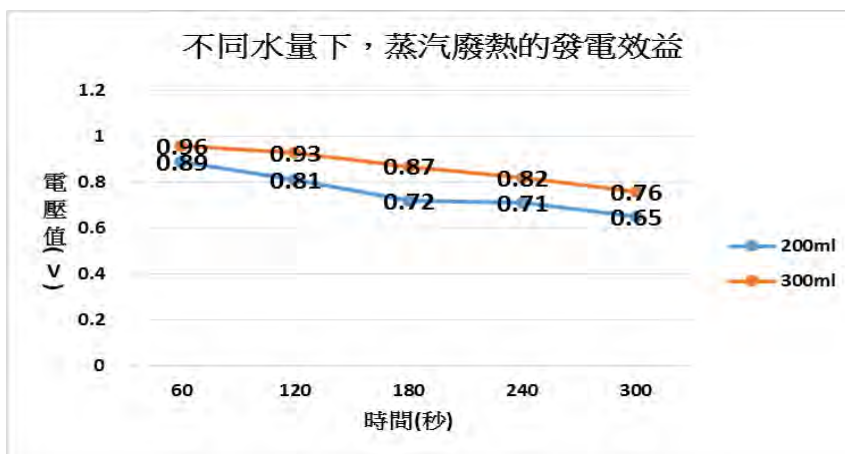
(一)、裝置方式：將熱湯廢熱裝置的蓋子依致冷晶片尺寸挖洞，設計呈讓蒸氣可以集中在致冷晶片上的杯蓋，且利用軟木塞設計保溫裝置，方式如下：

			
利用壓克力，裁切成收集蒸汽廢熱的杯蓋	鋼杯外圍、杯蓋利用軟木塞保溫	上方孔洞的地方放置致冷晶片	蒸汽廢熱溫差發電裝置

(二)、裝置效果：

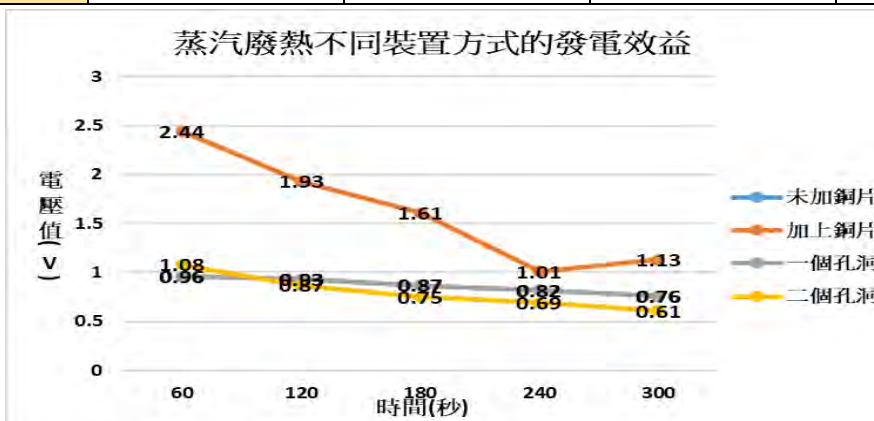
表三-2-4-1 蒸汽熱溫差發電裝置，不同水量產生的發電效益

水量(ml)	200	300	說明
平均電壓(V)	0.76	0.87	水量越多效果越佳，蒸氣熱也可以有不錯的發電效益



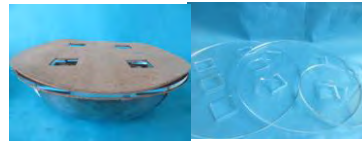
構思概念 B：嘗試在杯蓋上增加集蒸汽廢熱的數量、加上銅片測試對發電效益的影響。

杯蓋裝置方式	有沒有加上銅片		收集蒸汽廢熱的孔數	
	未加銅片	加上銅片	1 個孔洞	2 個孔洞
平均電壓(V)	0.87	1.60	0.87	0.80



(三)、發現與討論：

- 1.發現銅片可以提高發電效益，推測它可以讓蒸氣廢熱集中在銅片後，更有效率的傳導到致冷晶片的熱端。
- 2.一個孔洞的電壓值低，但熱耗的速度較慢，兩個孔洞的電壓值高，但熱耗的速度較快。
- 3.延伸設計：熱湯鍋子上直接加上自製鍋蓋。







研究三-3、研究回收火源熱的方式

研究三-3-1、探討不同種類石頭蓄熱的效益

構思概念：

生活中有許多的熱源，如果直接加以利用可能會因為高溫導致致冷晶片爆裂，例如：火。因此嘗試找適合的蓄熱物品，利用生活中較為常見的石頭進行測試。

(一)、實驗步驟：

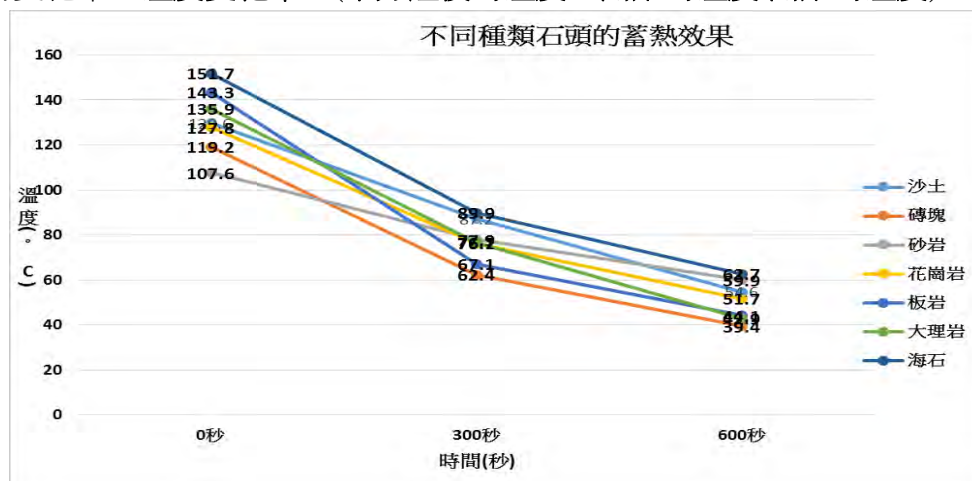
			
將同類石頭各四塊，放入烤箱加熱十分鐘	將溫度計上的四條線分別放置在石頭上	利用溫度計測量石頭的温度變化，包含一開始、5分鐘、10分鐘等三個時間點。	

(二)、實驗結果：

表三-3-1-1 不同種類石頭蓄熱的效果

物品名稱		沙土	磚塊	砂岩	花崗岩	板岩	大理岩	海石
照片								
溫度 的變化 (°C)	一開始	129.6	119.2	107.6	127.8	143.3	135.9	151.7
	5分後	87.2	62.4	77.9	76.0	67.1	76.7	89.9
	10分後	54.6	39.4	59.9	51.7	44.0	42.9	62.7
溫度變化率(%)		58	67	44	60	69	68	58

計算溫度的變化率，溫度變化率=(十分鐘後的溫度-一開始的溫度/一開始的溫度)。






(三)、發現與討論：

- 1.從一開始溫度來看，蓄熱效果最佳的是海石和板岩。
- 2.從五分鐘時的溫度來看，蓄熱效果最佳的是海石和沙土。
- 3.從十分鐘時的溫度來看，蓄熱效果最佳的是海石和砂岩。
- 4.從整體溫度變化率來看，海石、砂岩和沙土蓄熱效果都不錯。

結論：

- 1.每種石頭可以有蓄熱的效果，基本上都可以拿來進行應用。
- 2.整體來看，海石有不錯的蓄熱效果，一開始到最後都可以保持很高的溫度，且降溫速度也緩慢，它小石頭外形，也較好拿來應用。
- 3.發現熱端使用石頭時，產生的高溫會讓某些保溫材質融化掉，例如鋁箔、泡棉…等，測試後發現軟木塞較耐高溫。如下表：



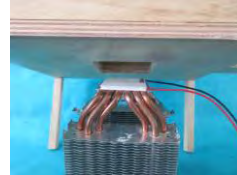



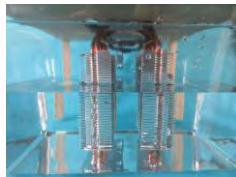



			結果說明： 軟木塞適合使用在很高溫熱源進行保溫。
鋁箔會融化掉	泡棉會融化掉	軟木塞耐高溫	

研究三-3-2、自製【火源廢熱】溫差發電裝置

(一)、構思概念：

蓄熱後的石頭會讓熱湯廢熱版的保溫裝置融化，因此先利用木頭設計裝鋼杯的裝置，接著針對保溫方式進行改良，利用耐高溫的軟木塞進行設計。

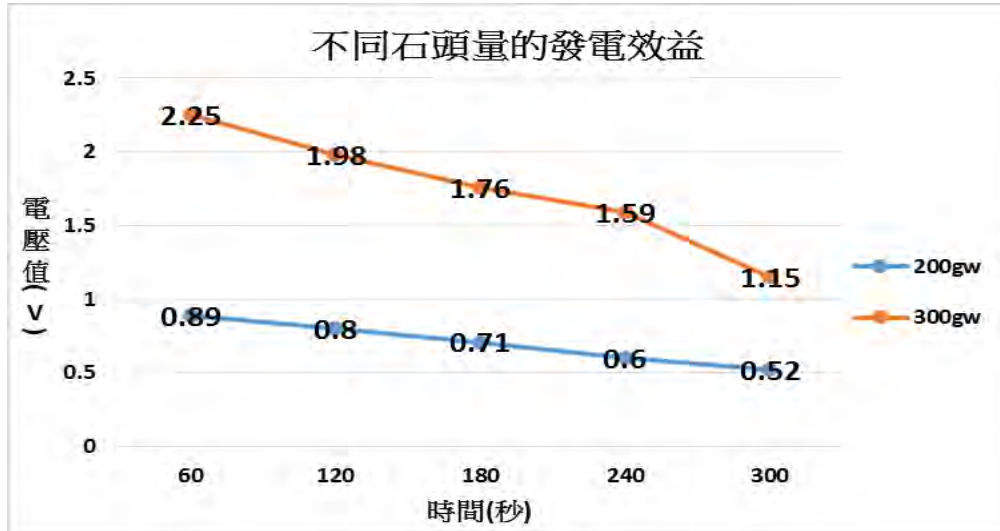
(二)、製作方式如下：

				
裁切裝鋼杯方形盒子，下方打洞	裝置保溫物品 (保麗龍、軟木塞)	將自製的方形木頭保溫盒子，放置在第二代溫差發電裝置上。	放入裝石頭鋼杯	
				
蓋上蓋子	散熱鰭片放入水中提高散熱效果	裝置圖	石頭蓄積廢熱的方式	

(三)、裝置效果：

表三-3-2-1 不同石頭數量產生的發電效益

石頭量(gw)	200	300	說明
平均電壓(V)	0.70	1.75	石頭量越多效果越佳，石頭蓄熱後也可以有不錯的發電效益



總結論：

1.將不同廢熱源的溫差發電裝置，整理如下：

表三-3-2-2 不同廢熱源的溫差發電裝置

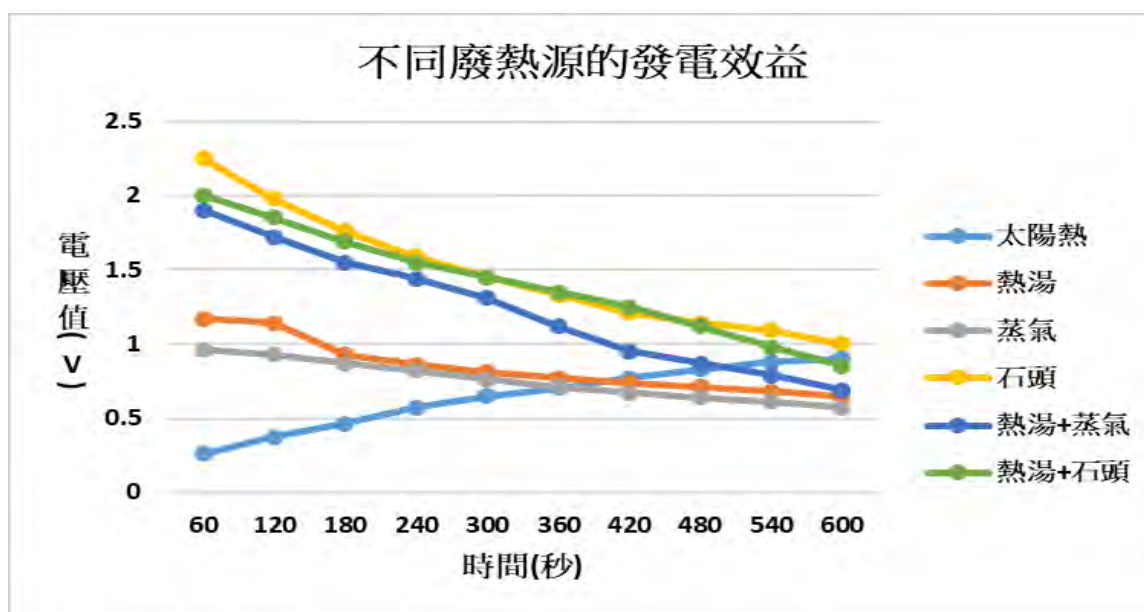
發電原理：應用溫差發電的原理，在致冷晶片上形成溫差進行發電。

裝置名稱	照片	說明	保溫方式	散熱方式
【太陽廢熱】 溫差發電裝置		利用自製反射、吸收光裝置，集中熱	反射光(反光紙)、吸收光(鋁塊)	散熱鰭片(冷凝管)
【熱湯廢熱】 溫差發電裝置		如煮水餃的廢熱湯	軟木塞 泡棉 浮油	散熱鰭片(冷凝管)、放入水中提高效果
【蒸汽廢熱】 溫差發電裝置		廢熱湯產生的蒸氣	軟木塞	散熱片
【火源廢熱】 溫差發電裝置		以石頭蓄積木炭、瓦斯燃燒的廢熱	三層(軟木塞、保麗龍、木頭)	散熱鰭片(冷凝管)、放入水中提高效果

2.不同廢熱源的發電效益，如下：

表三-3-2-3 不同廢熱源的發電效益

不同種類廢熱	裝置方式	電壓值(V)									
		1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分
太陽熱	陽光直射	0.26	0.37	0.46	0.57	0.65	0.70	0.77	0.83	0.88	0.90
熱湯熱	熱水 300ml	1.17	1.14	0.93	0.86	0.81	0.77	0.74	0.71	0.68	0.65
蒸氣熱	熱水 300ml	0.96	0.93	0.87	0.82	0.76	0.71	0.67	0.64	0.61	0.57
火源熱	石頭 300 公克 蓄熱 10 分鐘	2.25	1.98	1.76	1.59	1.45	1.33	1.21	1.14	1.09	1.00
熱湯+蒸氣	熱水 300ml	1.90	1.72	1.55	1.44	1.31	1.12	0.95	0.87	0.79	0.69
熱湯+石頭	熱水 200ml 石頭 100 公克	2.00	1.85	1.69	1.55	1.45	1.35	1.25	1.12	0.98	0.85



研究四、日常生活中的實際應用

研究四-1、自製適用廢熱溫差發電裝置的電器用品

構思概念：


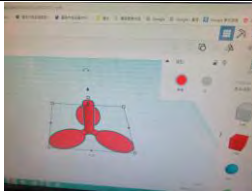


自製廢熱溫差發電裝置可以驅動小馬達、LED 燈、電子鐘、蜂鳴器…等，嘗試利用這些可被驅動的物品，設計各種生活中實用的電器用品。一共有三項設計，如下：

設計一：自製小風扇裝置




A 設計概念：嘗試設計風扇，裝置在轉動的小馬達上，自製成小風扇。

B 自製扇葉：

1. 首先構思風扇的樣式，依據討論結果，利用 **TINKERCAD 軟體** 進行設計，再利用 3D 列印機，列印出不同樣式的風扇，包含扇葉裝置角度 0 度、22.5 度、45 度。
2. 利用 **風速計** 測試不同扇葉樣式，形成風速的大小。

			
討論構思風扇樣式	TINKERCAD 軟體 進行設計	使用 3D 列印機 進行列印扇葉	利用風速計測試 不同樣式風扇的效果

表四-1-1 不同裝置角度扇葉對形成風速的影響

扇葉裝置角度	0 度	22.5 度	45 度	結果說明
照片				以裝置角度 45 度的扇葉形成的風速最大，效果最佳。 以它作為小風扇的扇葉。
形成風速(Km/hr)	0	2.5	5.8	

C 小風扇裝置說明：將扇葉裝置在底座上，自製成小風扇。



用溫差發電裝置驅動馬達，轉動扇葉。

風扇：扇葉角度呈現 45 度角的小風扇。

小風扇(樣式 A)：將扇葉角度呈現 45 度角的小風扇裝置在底座上。

小風扇(樣式 B)：利用 3D 列印底座，組裝上小風扇，自製成小風扇裝置。

設計二：自製小夜燈裝置

A 設計概念：廢熱溫差發電裝置可以驅動 LED 燈，嘗試以此設計成晚上可用的小夜燈。

B 自製方式：

1. 購置適合的小型 LED 燈，利用 3D 列印出燈座，設計成小夜燈。

			
溫差發電裝置接上升壓片，DC-DC，且插入 LED 燈。		利用 3D 列印燈座	裝置 LED 燈，自製成小夜燈

設計三：自製攪拌裝置

A 設計概念：

小組討論，設計在小馬達前方加上攪拌器具，利用來攪拌物品。

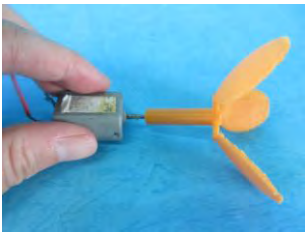

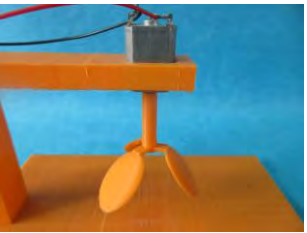
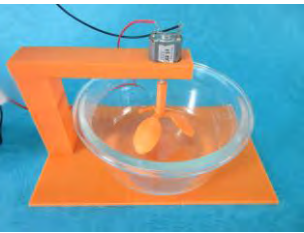
B 自製攪拌棒：

1. 首先決定攪拌棒的樣式，再利用 3D 列印。
2. 接著探討攪拌棒的效果，測試開始轉動時間。

表四-2 不同樣式攪拌棒的轉動效果

樣式說明	三片葉片 裝置角度 0 度	三片葉片 裝置角度 22.5 度	三片葉片 裝置角度 45 度	三片葉片 裝置角度往下	結果說明
照片					發現裝置角度往下的最適合應用來攪拌東西。
開始轉動的時間(秒)	10	15	20	5	
排名	2	3	4	1	

C 攪拌棒裝置說明：

			
組裝小馬達、攪拌棒		接著組裝在固定裝置上	
			完成圖




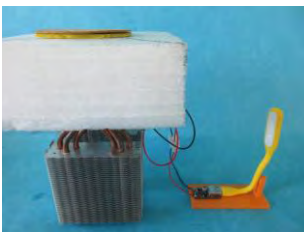
研究四-2、廢熱溫差發電裝置在生活中的實際應用

構思概念：

將研究四-1 中設計的電器在生活中實際應用，方式如下：

應用一：自動熄滅小夜燈

- (一)、應用概念：利用廢熱湯驅動小夜燈，在溫度降低到無法驅動夜燈時，自動關燈。
- (二)、應用方式：將廢熱湯裝入鋼杯中驅動小夜燈。

			
熱湯版溫差發電裝置	廢熱湯裝入鋼杯中	熱湯溫度無法驅動小夜燈時自動熄滅	

- (三)、結果：可以驅動小夜燈，等熱湯溫度無法驅動小夜燈時，自動熄滅。

應用二：攪拌食物

(一)、**應用概念**：利用攪拌裝置來攪拌食物。

(二)、**應用方式**：廢熱湯的熱、廢熱湯蒸氣的熱，驅動小馬達，讓攪拌棒轉動以攪拌食物。

廢熱溫差發電裝置(熱湯熱、蒸汽熱)， 組裝小馬達、攪拌棒		蛋液和牛奶的混合物	開始攪拌

(三)、**結果**：可以均勻攪拌蛋液和牛奶的混合物。

應用三：食物解凍裝置

(一)、**應用概念**：

利用研究的結果設計食物解凍裝置。散熱鰭片放入冷水中可以提升發電效益，因此將需要解凍食物放入水中，一來解凍、二來可以降低水溫，然後將產生的電驅動小風扇加速解凍。

(二)、**應用方式**：廢熱湯的熱、廢熱湯蒸氣的熱，驅動小風扇提高解凍的速度。



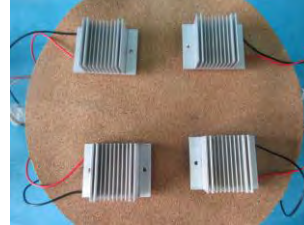



(三)、**結果**：可以順利將食物解凍。

應用四：手機充電

(一)、**應用概念**：嘗試利用較易串聯的蒸汽廢熱裝置，為需要較高電壓的手機充電。

(二)、**應用方式**：將廢熱湯裝入鍋子產生蒸氣，串聯四個致冷晶片，讓手機進行充電。


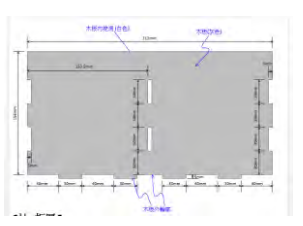

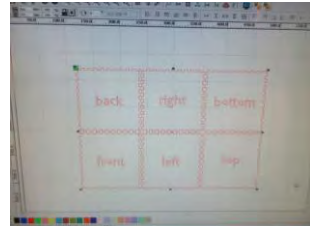




			
準備廢熱湯	蓋上鍋蓋	串聯四個致冷晶片	可以讓手機開始充電

(三)、**結果**：可以讓手機呈現充電的狀態。

整合性的應用：

(一)、**應用概念**：將不同廢熱溫差發電裝置、不同設計電器，組裝成**整合型廢熱發電箱**。

(二)、**自製多功能溫差裝置**：**整合型廢熱發電箱**

			
更改設計火源熱裝置	設計圖	利用 RDworks 設計裝置外殼	
			
設定驅動雷射切割機	雷射切割機進行切割	組裝	成品

(三)、**應用方式**：

A 廢熱來源：熱湯熱、蒸汽熱、火源熱(石頭蓄熱)。

B 廢熱應用方式：利用各種廢熱，驅動各種自製電器用品，可以單一使用或串聯後使用。

C 裝置外觀說明圖：



D 結果：可以利用等廢熱驅動各種自製電器用品。

例如：在烤肉時利用石頭蓄積炭火的熱，以驅動小風扇，邊烤肉邊吹風扇。

柒、研究結論

一、利用廢熱形成溫差發電的原理為何呢？

溫差發電為系統內冷端、熱端兩端形成溫差，讓熱量相互傳遞，這能量可用來發電。

二、如何利用廢熱發電，自製第一板溫差發電裝置呢？

準備大鋁箔盤、小鋁箔盤、致冷晶片，大鋁箔盤內裝熱水將致冷晶片放置在大鋁箔盤內，熱端朝下，以接觸熱水；小鋁箔盤裡裝冰水，再放置在致冷晶片的冷端上，讓溫差發電裝置產生發電效益。詳見研究一-1。

三、不同溫差對溫差發電裝置發電效益的影響為何呢？

1. 溫度差異越大所形成的電壓值會越高，電壓值變化較穩定。相對的差異越小所形成的電壓值較低，電壓值變化較為不穩定。

2.使用第一代溫差發電裝置，電壓值不會和溫度差成正比相關，推測它系統不夠穩定。

四、日常生活中，常見的不同熱源對溫差發電裝置發電效益的影響為何呢？

- 1.發電效益較高的是酒精燈的火、火鍋的熱湯，最差的太陽光產生的熱。
- 2.酒精燈的火、蠟燭的燭火、火鍋的板子，產生的電壓值會持續上升，推測這些熱源可以持續提供一定的高溫給發電裝置。
- 3.火鍋的熱湯、太陽光、石頭等提供給發電裝置的溫度不夠高，因此發電效果也較不佳。
- 4.火鍋的蒸氣電壓值會上升再下降，推測蒸氣會飄散無法很固定提供熱給致冷晶片，所以電壓值不穩定。

五、不同散熱方式對溫差發電裝置發電效益的影響為何呢？

- 1.使用溫差發電裝置，在冷端部份要有較佳的持續散熱方式，不然發電效益會不佳。
- 2.最佳散熱裝置是有冷凝管的散熱鰭片，以此自製成第二代溫差發電裝置，詳見研究二-2。
- 3.第二代溫差發電裝置的發電效益比第一代效果佳。

六、不同熱源實際應用的方式，如下：

【太陽廢熱】溫差發電裝置

六-1、反射、吸收太陽光集熱，以提高溫差發電裝置效果的方式為何呢？

- 1.反光紙是不錯的反射光集熱的材質，可以提高發電效益達到兩倍，推測它亮度高且可以很服貼的黏貼在裝置上，因此產生的反射效果最佳。
- 2.可以利用塗黑或加銅片等物品來達到吸熱的效果，提升太陽熱溫差發電裝置的發電效果。

六-2、自製**【太陽廢熱】**溫差發電裝置的方式、效果。

- 1.利用反射、吸收太陽光集熱裝置，將太陽熱集中，驅動第二版的溫差發電裝置，自製成太陽熱溫差發電裝置。
- 2.發現利用反射、吸收太陽光集熱裝置，將太陽熱反射、吸收、集中之後，比沒有的效果提高 10 倍左右，且可以讓 LED 燈亮起來。

【熱湯廢熱】溫差發電裝置

六-3、提高熱湯熱溫差發電裝置保溫、散熱效果的方式為何呢？

- 1.保溫效果較佳為軟木塞(耐高溫)、手搖杯的杯套(泡棉)。
- 2.熱湯上加一層浮油、且剛剛蓋住水的量，如此可以保溫，且大概可以提高 1.5 倍的發電量。
- 3.將散熱裝置放入水中可以提高發電效益，水量大概散熱器的一半高度，水溫 15°C 即可。

六-4、自製**【熱湯廢熱】**溫差發電裝置的方式、效果。

將鋼杯放置在第二版溫差發電裝置，加裝保溫裝置，如鋼杯套上泡棉、軟木塞，將散熱鰭片放入水中，提高散熱效果，裝置可以驅動 LED 燈、小馬達、電子鐘。

【蒸汽廢熱】溫差發電裝置

六-5、自製**【蒸汽廢熱】**溫差發電裝置的方式、效果。

鋼杯外圍利用軟木塞保溫，接著軟木塞黏貼在壓克力自製鍋蓋(上方打洞)的兩面，上方孔洞的地方放置致冷晶片，收集蒸汽熱，裝置可以驅動 LED 燈、小馬達、電子鐘。

六-6、蒸汽廢熱不同裝置方式的發電效益為何呢？

1.致冷晶片加上銅片可以提高發電效益，推測它可以讓熱蒸氣的廢熱集中在銅片後，更有效率的傳導到致冷晶片的熱端。

2.一個孔洞的杯蓋回收蒸汽廢熱的電壓值低，但熱耗的速度較慢，兩個孔洞的電壓值高，但熱耗的速度較快。

【火源廢熱】溫差發電裝置

六-7、不同種類石頭蓄熱的效益為何呢？

整體來看海石有不錯的蓄熱效果，一開始到最後都可以保持很高的溫度，且降溫速度也緩慢，它小石頭外形，也較好拿來應用。

六-8、自製【火源廢熱】溫差發電裝置的方式、效果。

利用木頭自製可放入鋼杯的方形盒子，裝置兩層可保溫材質物品(保麗龍、軟木塞)提高裝置的保溫效果，將自製的方形木板保溫盒子，放置在第二代溫差發電裝置上，再將蓄積火源熱的石頭裝入鋼杯內即可應用。

七、在日常生活中可以有哪些實際應用呢？

設計出不同樣式的廢熱溫差發電裝置，一共四個版本，包含**太陽廢熱**、**熱湯廢熱**、**蒸汽廢熱**、**火源熱溫差發電裝置**。最後利用各版本的廢熱溫差發電裝置，驅動 LED 燈、小馬達、電子鐘，利用來轉動小風扇、驅動小夜燈和攪拌器，還設計了食物解凍裝置、整合型廢熱發電箱，最後將裝置串聯對手機進行充電。

總結論：

本研究在回收日常生活中沒有再使用的廢熱，例如：烹煮食物、烤肉等產生的熱。

以致冷晶片為工具進行溫差發電，在熱端回收不同廢熱源，包含太陽熱、熱湯熱、蒸汽熱、火源熱(以石頭蓄熱)等，進一步利用保溫材質物品、浮油等，進行保溫。在冷端，利用散熱鰭片、冷水等方式，提高散熱效果。

接著依據不同廢熱的特性，結合 3D 列印與雷射切割技術，先研發出四種廢熱溫差發電裝置，最後設計出整合型廢熱發電箱以驅動自製的電器用品，包括風扇、夜燈、攪拌器、食物解凍器，並可對手機充電，使廢熱不再廢而無用。

捌、參考資料

- 1.顏世枋等(2018)。熱和我們的生活。自然與生活科技六上。台南市：南一。
- 2.顏世枋等(2018)。力與運動。自然與生活科技五下。台南市：南一。
- 3.綠焰重生—落葉碳質燃料在熱電晶片發電應用研究，全國科展第 53 屆。
- 4.日夜熱電共舞，全國科展第 54 屆。
- 5.能源再利用，遇火就來電，全國科展第 55 屆。
- 6.會發電的夾心餅乾，全國科展第 58 屆。

【評語】 082802

1. 作者利用致冷晶片收集日常生活中所產生並廢棄不用的熱能做為發電來源。
2. 實驗內容相當完整豐富，包括了不同種類的熱源，例如太陽廢熱、熱湯廢熱、蒸氣廢熱等等製作溫差發電裝置，並搭配不同種類的散熱方式，找到最佳方式，再進行相關應用實驗，實驗步驟循序漸進值得肯定。
3. 由於溫差發電最大的挑戰是維持長時間大的溫差，除太陽熱能外，其他如：熱湯熱、蒸汽熱、火源熱等，廢熱持續時間不長，所設計小型電器在廢熱產生的同時也未必有使用的即時需要，建議在實用性方面可再加強。

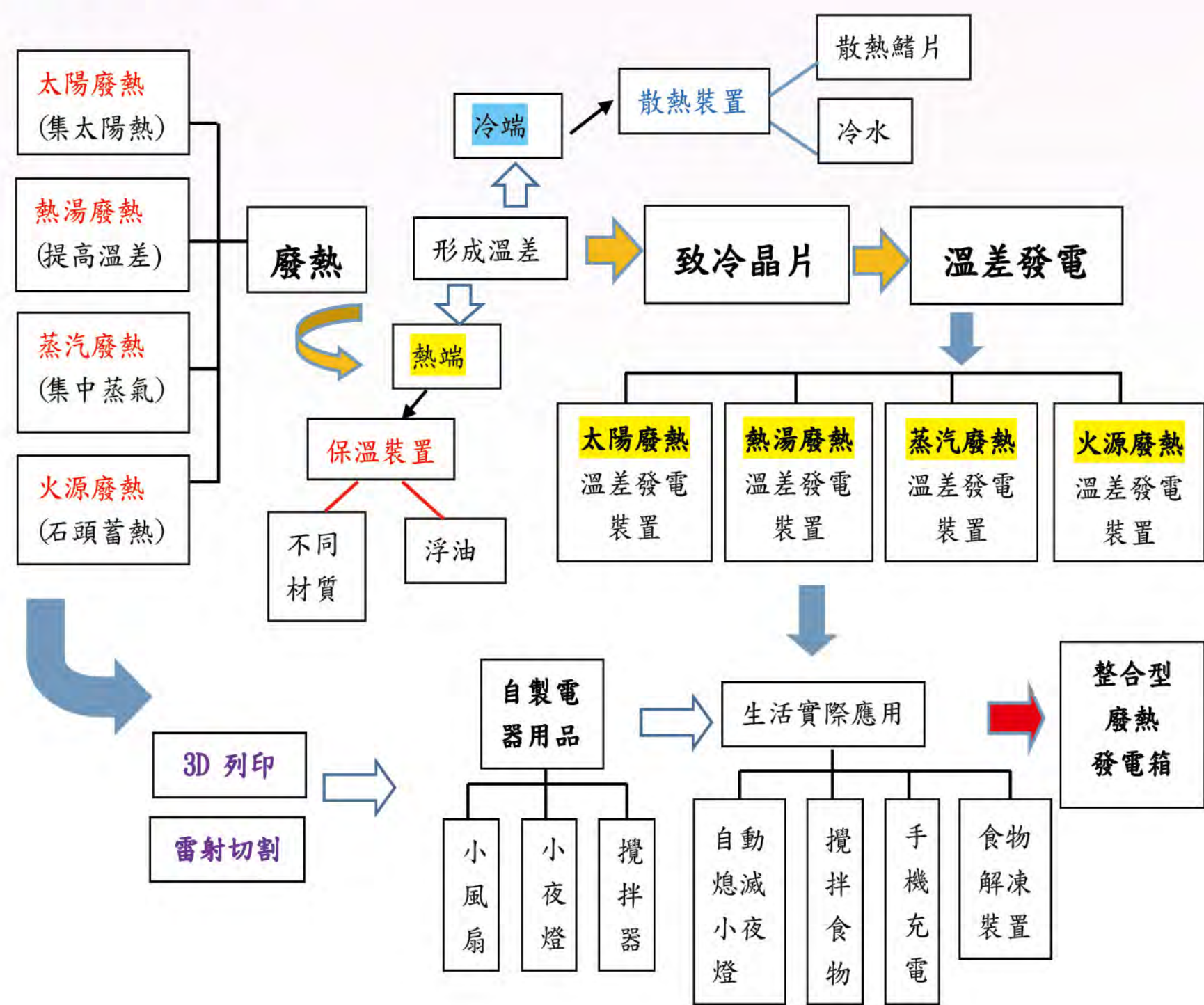
摘要

日常生活中有許多活動會產生熱能，這些熱大多直接散失掉，沒有被完全利用，例如：烹煮食物、烤肉等產生的熱。本研究在探討如何回收這些廢熱，以致冷晶片為工具進行溫差發電，並結合3D列印與雷射切割技術，自製發電箱與電器用品進行實際的生活運用。致冷晶片是利用熱端和冷端的溫度差來發電，針對熱端，探討了不同熱源的回收以及保溫的方式，包括材質和裝置；針對冷端，探討了散熱的方式和裝置。並依據不同廢熱的特性，研發出四種廢熱溫差發電裝置，包含太陽熱、熱湯熱、蒸汽熱、火源熱(以石頭蓄熱)等。最後更研發出整合型廢熱發電箱以驅動自製的電器用品，包括風扇、夜燈、攪拌器、食物解凍器，並可對手機充電，使廢熱不再廢而無用。

壹、研究動機

在自然課「綠色能源」的主題研究中，我們接觸到海洋能的溫差發電，覺得很新奇，便開始思考日常生活中進行的很多活動，例如：煮飯、烤肉...等，也都產生一些熱，而這些熱大多會直接散掉沒有再利用，甚至因此造成環境的污染，例如：形成溫室效應...等。因此我們開始去研究如何將這些生活中的廢熱保留並加以運用的方式，查詢資料後發現市售的致冷晶片是種簡易溫差發電晶片，以它為工具展開了一系列廢熱發電研究。

貳、研究架構圖



參、研究目的

- 一、研究測試溫差發電效益的方式
 - 一-1、探討自製溫差發電裝置的方式
 - 一-2、不同溫差對溫差發電裝置發電效益的影響
- 二、研究熱端熱源、冷端散熱方式對溫差發電裝置發電效益的影響
 - 二-1、研究不同熱源對溫差發電裝置發電效益的影響
 - 二-2、研究不同散熱方式對溫差發電裝置的發電效益影響
 - 二-2-1、探討自製測試散熱效果裝置的方式
 - 二-2-2、探討不同散熱方式對溫差發電裝置的發電效益影響
- 三、研究不同熱源的實際應用
 - 三-1、研究回收太陽廢熱的方式
 - 三-1-1、探討反射太陽光集熱提高溫差發電裝置效果的方式
 - 三-1-2、探討吸收太陽光集熱提高溫差發電裝置效果的方式
 - 三-1-3、自製【太陽廢熱】溫差發電裝置
 - 三-2、研究回收熱湯廢熱的方式
 - 三-2-1、探討提高熱湯廢熱溫差發電裝置保溫效果的方式
 - 三-2-2、探討提高熱湯廢熱溫差發電裝置散熱效果的方式
 - 三-2-3、自製【熱湯廢熱】溫差發電裝置
 - 三-2-4、自製【蒸汽廢熱】溫差發電裝置
 - 三-3、研究回收火源廢熱的方式
 - 三-3-1、探討不同種類石頭蓄熱的效益
 - 三-3-2、自製【火源廢熱】溫差發電裝置
- 四、日常生活中的實際應用
 - 四-1、自製適用廢熱溫差發電裝置的電器用品
 - 四-2、廢熱溫差發電裝置的實際應用

肆、研究原理

一、致冷晶片：

A內部微觀：手機下載程式，利用顯微鏡頭進行拍攝。



二、文獻探討：

研究歷屆科展作品，第53屆「綠焰重生—落葉碳質燃料在熱電晶片發電應用研究」，利用燃燒落葉來產生熱，讓LED燈亮起來...等。

本研究則嘗試利用生活中垂手可得的廢熱為熱源，自製可以應用多種廢熱的裝置，發揮創意設計出生活中實用的電器，最後組裝可攜帶的整合型廢熱發電箱，以驅動自製的電器用品。

伍、研究設備和材料

- 一、實驗設備：致冷晶片、電子式三用電表、顯微鏡頭、火鍋、3D列印機、雷射切割機、風速計、溫度計、烤箱、手機。
- 二、實驗材料：鋁箔盤、熱水、冷水、冰塊、陽光、廢熱湯、油、牛奶、雞蛋、電線、塑膠板、反光紙、銅片、鏡片、鋁箔紙、包裝紙、白紙、黑紙、黑布、黑色顏料。
- 三、實驗用品：蠟燭、酒精燈、LED燈、散熱片、中空金屬管子、散熱裝置、碼表、鋼杯、升壓片、鍋子、長尺、壓克力板、鐵鍋、鋁塊、鐵片、保麗龍、鋁箔、泡棉、軟木塞、砂岩、花崗岩、板岩、大理石、沙子、磚塊、海石。

陸、研究過程與結果

研究一 研究測試溫差發電效益的方式

研究一-1、探討自製溫差發電裝置的方式

構思概念：

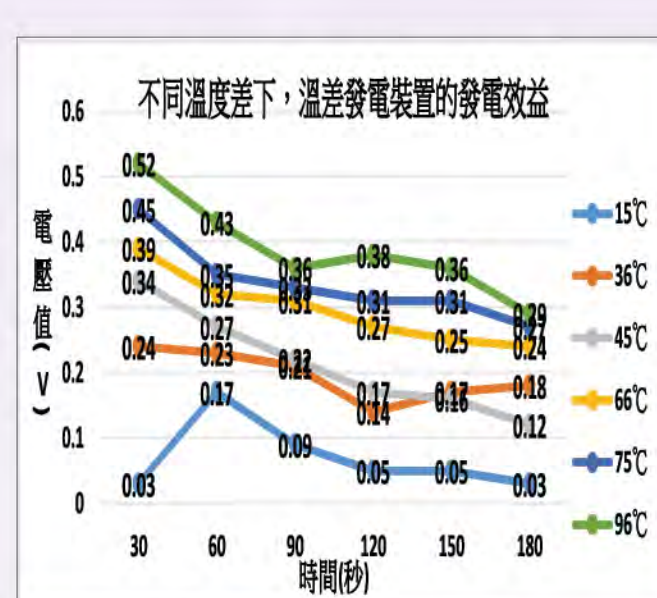
在致冷晶片上形成溫度差，藉此來產生電。以此為概念，著手研究組裝溫差發電的第一代裝置，如下。



2. 致冷晶片型號：以型號SP1848-27145為主要實驗用的致冷晶片。

研究一-2、不同溫差對溫差發電裝置發電效益的影響

(一)、實驗結果：



(三)、進行討論後，有以下的疑問，

問題一：什麼樣的熱源是回收的廢熱，且這些熱可以讓致冷晶片有較佳的發電效益呢？

問題二：測試過程中，發現冷端的溫度很快就會提高，除了利用冰水，有什麼其它的散熱方式嗎？

問題三：在測試過程中，發現隨著熱端溫度的下降，發電效益明顯下降，如何針對熱端進行保溫呢？

研究二 研究熱端熱源、冷端散熱方式對溫差發電裝置發電效益的影響

研究二-1、研究不同熱源對溫差發電裝置發電效益的影響

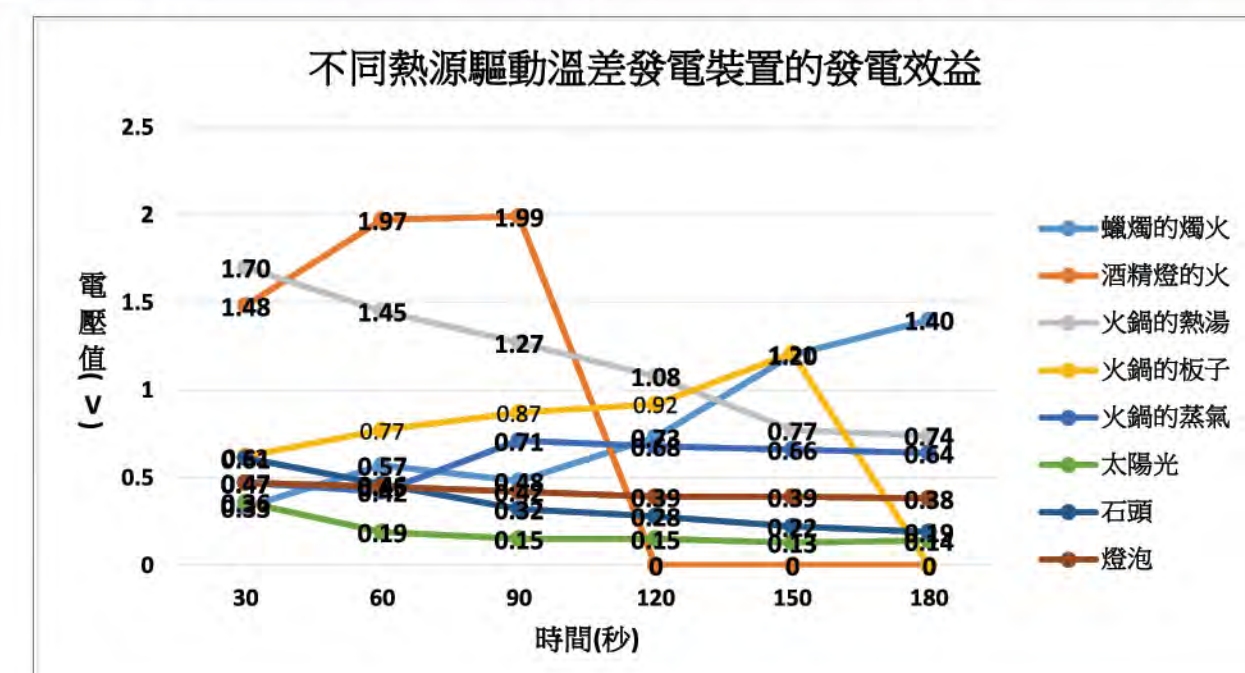
(一)、構思概念：

有什麼熱源可回收，以達到環保經濟的目的。改良第一代裝置的冷端，將小鋁箔盤裝入的水結成冰(30ml)，進行實驗。

(二)、實驗結果：

表二-1-1不同熱源對溫差發電裝置發電效益的影響

熱源名稱	蠟燭的燭火 (250°C)	酒精燈的火 (350°C)	火鍋的熱湯 (95°C)	火鍋的板子 (120°C)
照片				
平均電壓(V)	0.79	1.81	1.17	0.88
說明	無	90秒時爆掉	無	150秒出現焦味
熱源名稱	火鍋的蒸汽 (85°C)	太陽光 (30°C)	石頭 (40°C)	燈泡 (80°C)
照片				
平均電壓(V)	0.60	0.19	0.35	0.42



(三)、發現與討論：

1. 將測試結果統整如下：

熱源名稱	熱源溫度	平均電壓	說明	熱源名稱	熱源溫度	平均電壓	說明
蠟燭的燭火	250°C	0.79	受熱地方為單一	火鍋的蒸汽	85°C	0.60	蒸汽會散掉
酒精燈的火	350°C	1.81	爆掉	太陽光	30°C	0.19	無
火鍋的熱湯	95°C	1.17	水不可高過晶片	石頭	40°C	0.35	無
火鍋的板子	120°C	0.88	3分鐘後會有焦味	燈泡	80°C	0.42	無

2. 疑問與需要改良的地方如下：

- (1). 太陽光可以持續產生熱源，經濟實惠，符合環保，但產生的電壓值偏低，如何進行運用呢？
- (2). 火鍋的熱湯、蒸汽也是可以考慮的方式，尤其熱湯可以產生很高的電壓值。但是致冷晶片不適合浸泡在熱湯中，如何進行改良呢？
- (3). 發現直接利用火烤或者貼在熱板子上，致冷晶片會爆掉，但是可以產生很高的電壓，這又要如何進行運用呢？

研究二-2、研究不同散熱方式對溫差發電裝置的發電效益影響

研究二-2-1、探討自製測試散熱效果裝置的方式

一、自製測試散熱效果的裝置：

(一)、裝置外觀：將裝置放置在暗箱內，避免外在干擾所形成誤差。

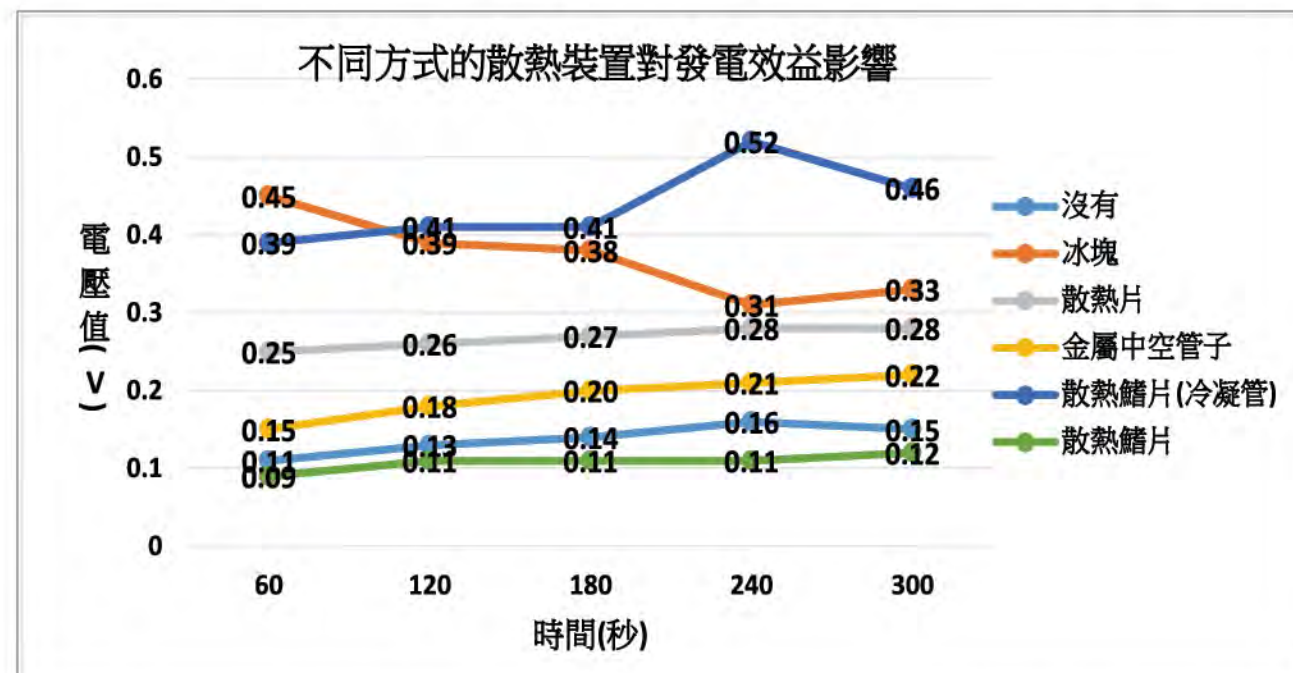


研究二-2-2、探討不同散熱方式對溫差發電裝置的發電效益影響

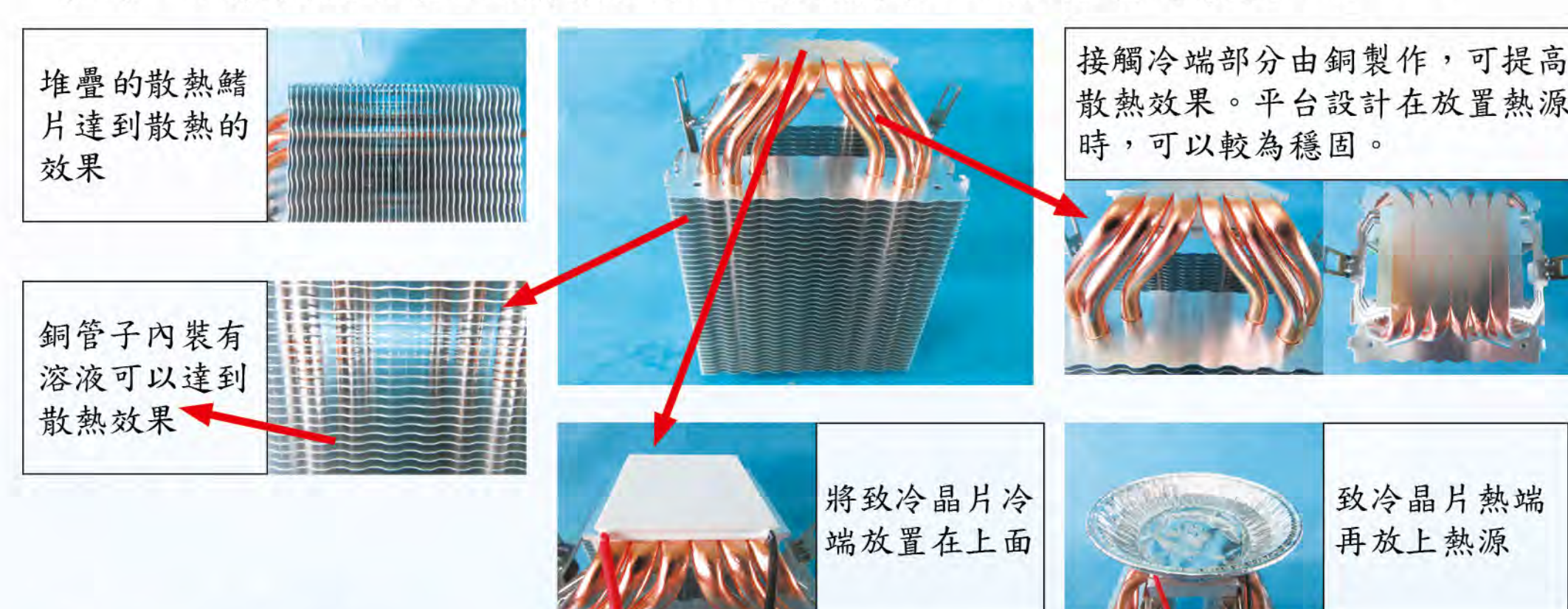
(一)、實驗結果：

表二-2-2-1不同散熱裝置對溫差發電裝置發電效益的影響

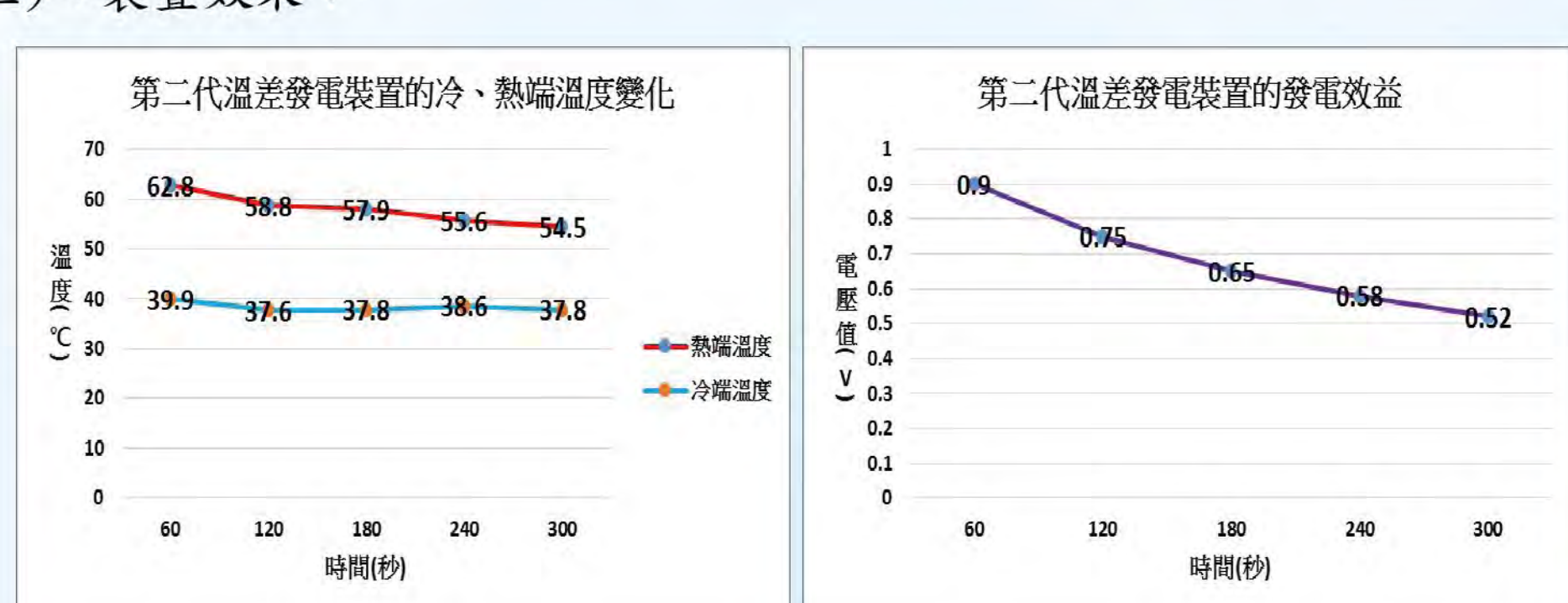
散熱方式	沒有	冰塊	散熱片	金屬中空管子	散熱片(冷凝管)	散熱片(冷凝管)
照片						
說明	冷端未加上任何散熱的裝置	冷端放置冰塊來散熱	冷端黏貼散熱片	冷端裝置在中空金屬管子上	冷端放在散熱片(冷凝管)上	冷端裝置在散熱片(冷凝管)上
測試照片						
平均電壓(V)	0.14	0.37	0.27	0.19	0.44	0.11



(二)、以散熱效果最佳的散熱片，更改成第二代溫差發電裝置，如下。



(三)、裝置效果：



研究三 研究不同熱源實際應用的方式

研究三-1、研究回收太陽廢熱的方式

研究三-1-1、探討反射太陽光集熱提高溫差發電裝置效果的方式

構思概念：

研究二中，直接回收太陽熱效果不佳，嘗試在第二代溫差發電裝置上，設計提高回收太陽熱效益裝置。包含反射太陽光以集熱在裝置上，和吸收太陽光以集熱在裝置上。

(一)、實驗步驟：

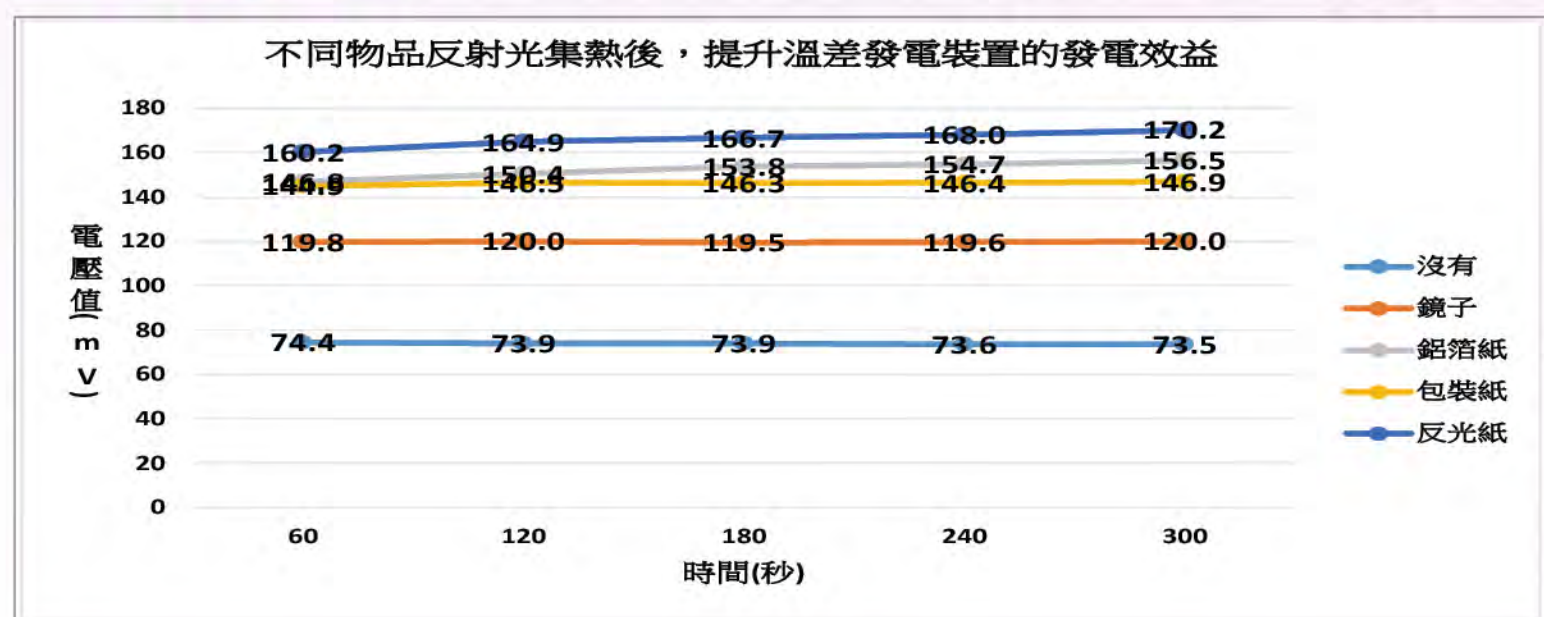
1. 以第二代溫差發電裝置，設計測試提升溫差發電效益的方式，如下：



(二)、實驗結果：

表三-1-1-1不同種類物品反射光集熱後，提升溫差發電裝置發電效益的影響

裝置方式	沒有	鏡子	鋁箔紙	包裝紙	反光紙
照片					
平均電壓(V)	0.07	0.12	0.15	0.15	0.17



(三)、發現與討論：

反光紙是不錯的反射光集熱的材質，可以提高發電效益達到兩倍多，推測它亮度高且可以很服貼的黏貼在裝置上，因此產生的反射效果最佳。

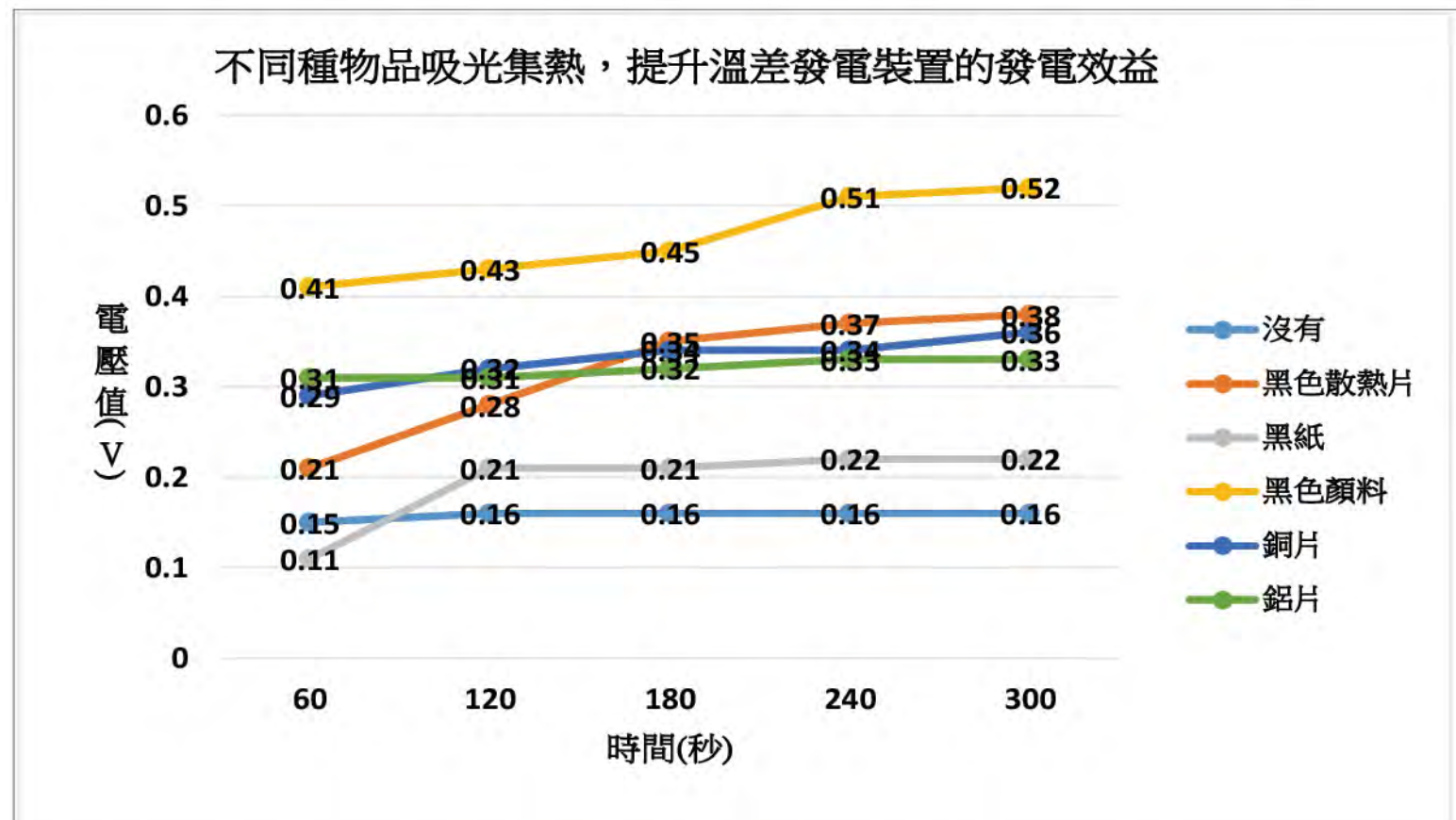
研究三-1-2、探討吸收太陽光集熱提高溫差發電裝置效果的方式

(一)、構思概念：

利用太陽熱發電效益不高，推測另一個原因是因為致冷晶片無法有效的吸收太陽熱。蒐集資料發現黑色物品、一些金屬物品都可以提高效果，接下來利用此原理進行實驗。

(二)、實驗結果：

裝置方式	沒有	黑紙	黑色顏料	黑色散熱片	銅片	鋁片
照片						
平均電壓(V)	0.16	0.19	0.46	0.32	0.33	0.32



(三)、發現與討論：

可以利用塗黑或加上銅片等物品來達到集熱的效果，提升太陽熱溫差發電裝置的發電效果。

研究三-1-3、自製【太陽廢熱】溫差發電裝置

構思概念：

嘗試利用研究發現設計太陽廢熱溫差發電裝置，發現效果有限。蒐集資料後，發現得做出曲線與抓到焦點，將它製作成拋物面以增加集中熱的效果，如右圖。

(一)、自製太陽熱溫差發電裝置

1-1. 計算自製拋物面數據

拋物面算式： $Y^2 = 4CX$ 。X是高度、Y是半徑、C=7。

焦距在中心y=0且高度 x=7的地方。

1-2. 太陽熱溫差發電裝置製作方式。



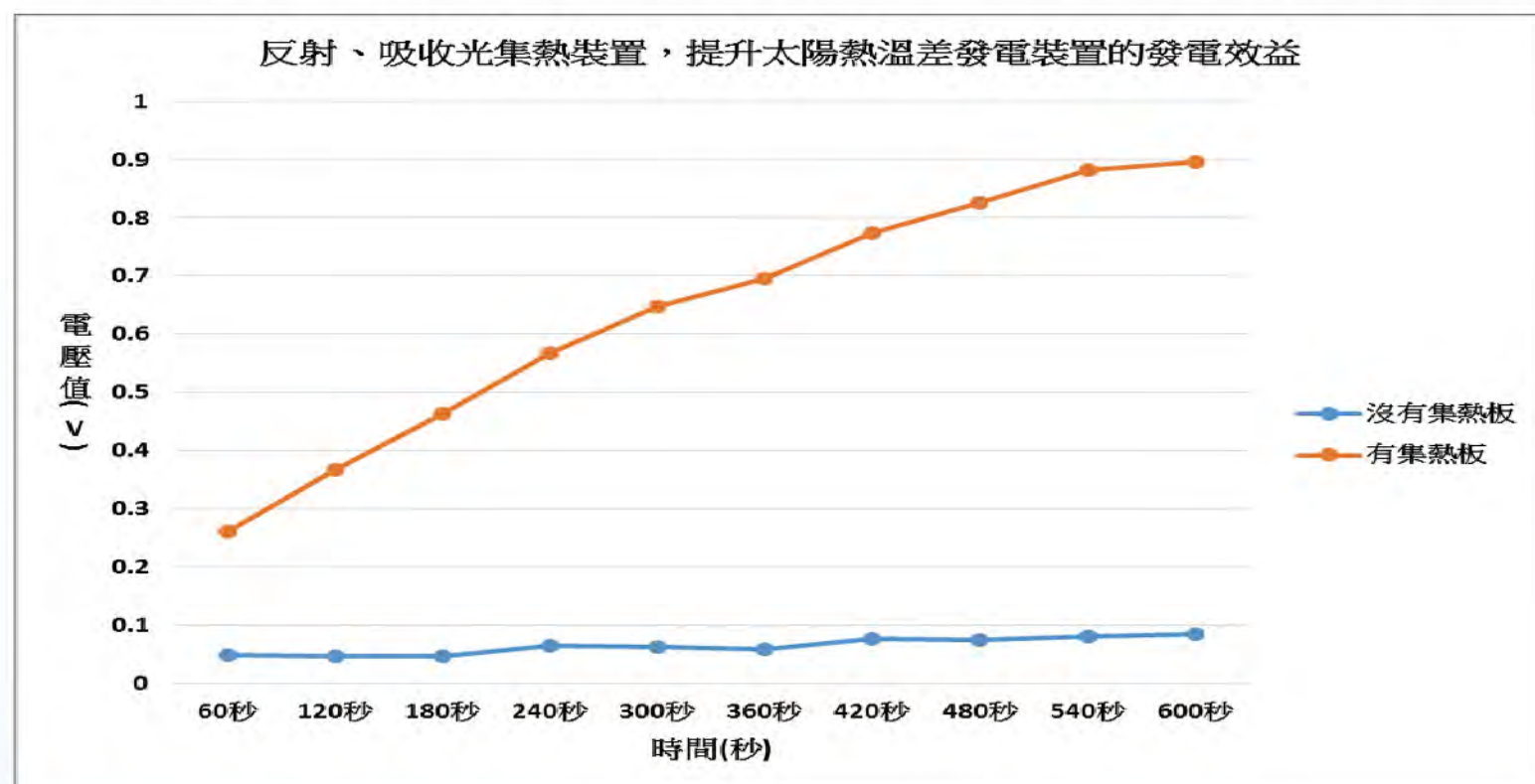
(二)、太陽熱溫差發電裝置測試方式：



(三)、太陽熱溫差發電裝置測試結果：

表三-1-3-1有(沒有)集熱裝置對太陽熱溫差發電裝置發電效益的影響

裝置方式	電壓值(V)									
	60s	120s	180s	240s	300s	360s	420s	480s	540s	600s
沒有集熱裝置	0.048	0.046	0.046	0.064	0.061	0.059	0.077	0.075	0.081	0.084
有集熱裝置	0.260	0.370	0.464	0.567	0.648	0.695	0.774	0.826	0.882	0.896



結果：

發現利用反射、吸收太陽光集熱裝置，將太陽光反射、吸收、集中之後，比沒有的效果提高10倍左右，且可以讓LED燈亮起來。

研究三-2、研究回收熱湯熱的方式

研究三-2-1、探討提高熱湯熱溫差發電裝置【保溫效果】的方式

構思概念一：

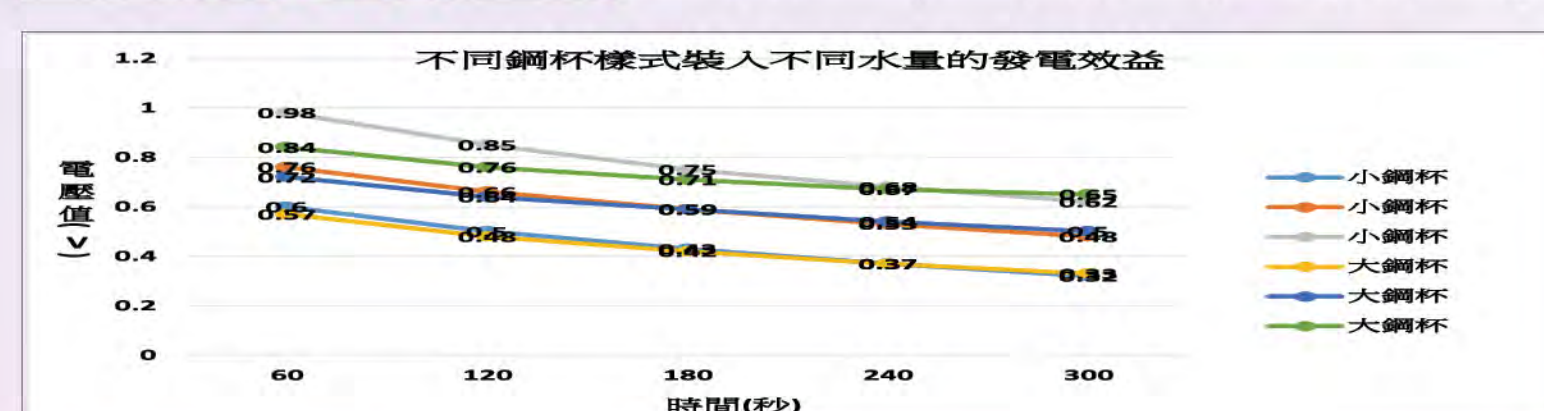
廚房烹煮食物過程中會產生一些廢熱水，例如：燙青菜、水煮蛋、煮水餃、煮麵條、川燙肉片、消毒抹布...等，這些通常會被丟棄的廢熱水又可以如何再運用呢？



(一)、裝置效果：

表三-2-1-1不同樣式鋼杯裝入不同水量(90°C)，對溫差發電裝置發電效益的影響

鋼杯的樣式	小鋼杯			大鋼杯		
水量(毫升)	50	150	250	250	500	1250
平均電壓(V)	0.44	0.60	0.78	0.43	0.60	0.72



(三)、發現與討論：

1. 發現大鋼杯裝的水量比小鋼杯多，但是沒有較高的發電效益，推測因為鋼杯表面積太大，把熱都散掉了。

構思概念二：

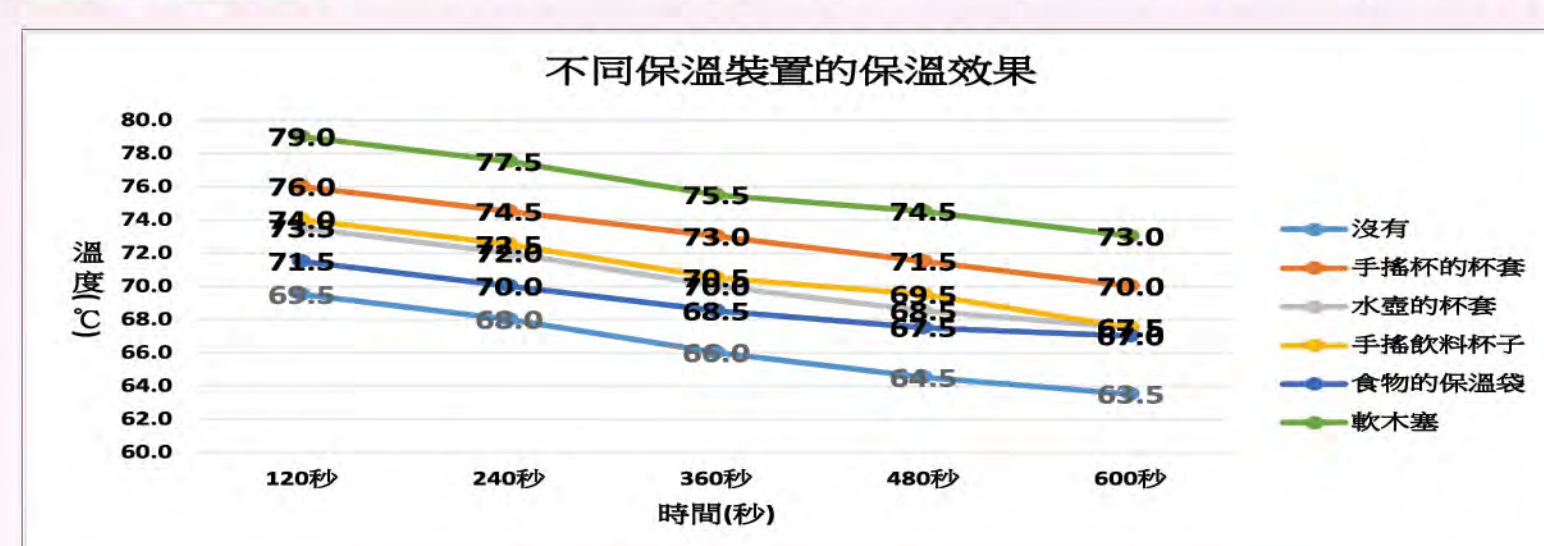
由前面的實驗可以發現把熱源保留很重要，市面上有很多保溫的物品，蒐集後進行實驗。

A鋼杯套不同保溫材質物品對發電效益的影響

(一)、實驗結果：

表三-2-1-2不同保溫裝置的保溫效果

保溫裝置	沒有	手搖杯的杯套	水壺的杯套	手搖飲料的杯子	食物的保溫袋	軟木塞
材質	沒有	泡棉	潛水衣	保麗龍	鋁箔	軟木塞
600秒	63.5	70.0	67.5	67.5	67.0	73.0



(三)、發現與討論：

發現保溫效果較佳的前三名為軟木塞、手搖杯的杯套、食物的保溫袋。

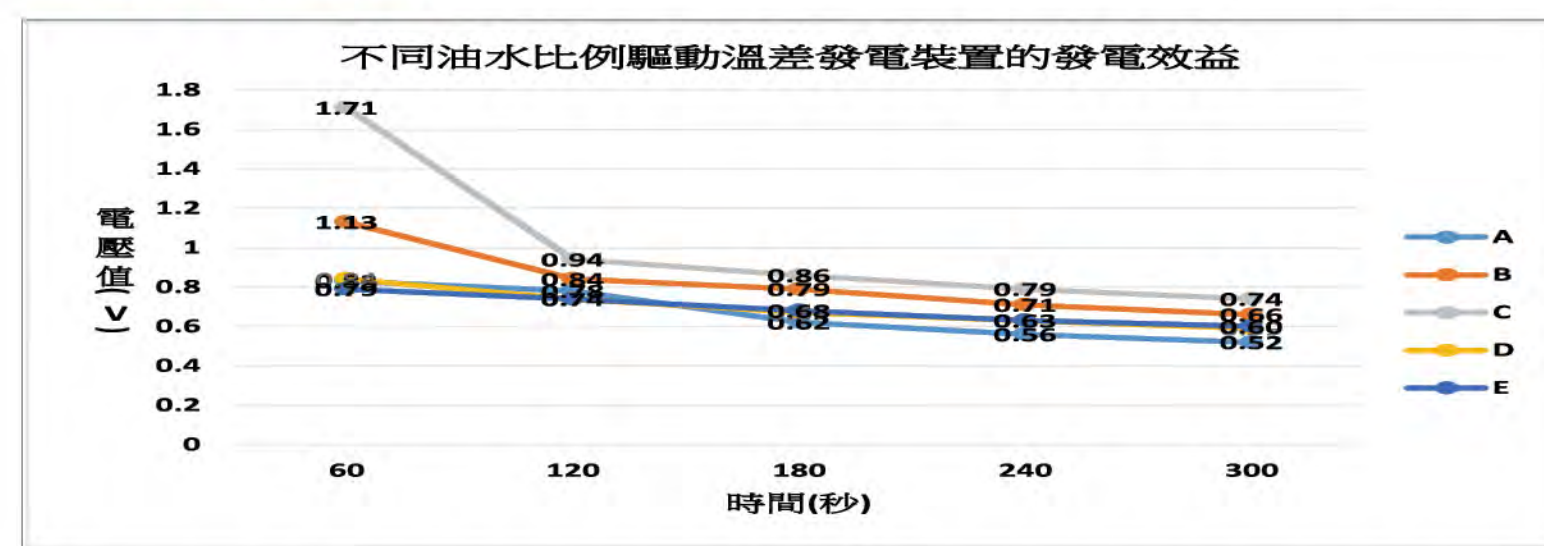
B廢熱水上滴油對發電效益的影響

構思概念：

煮水餃的水，上層會浮一層油，這層油對發電效益會有所影響嗎？利用油進行實驗。

(一)、實驗結果：

編號	A	B	C	D	E
水量	150毫升	145毫升	140毫升	130毫升	0毫升
油量	0毫升	5毫升	10毫升	20毫升	150毫升
照片					
平均電壓值(V)	0.67	0.83	1.00	0.69	0.69



(二)、發現與討論：

在水面上加一層浮油、且剛剛蓋住水的量，如此可以有最佳的發電效益，大概有提高1.5倍的效果。

研究三-2-2、探討提高熱湯熱溫差發電裝置散熱效果的方式

(一)、實驗步驟：實驗的熱源為小鋼杯內裝150毫升90°C的熱水。

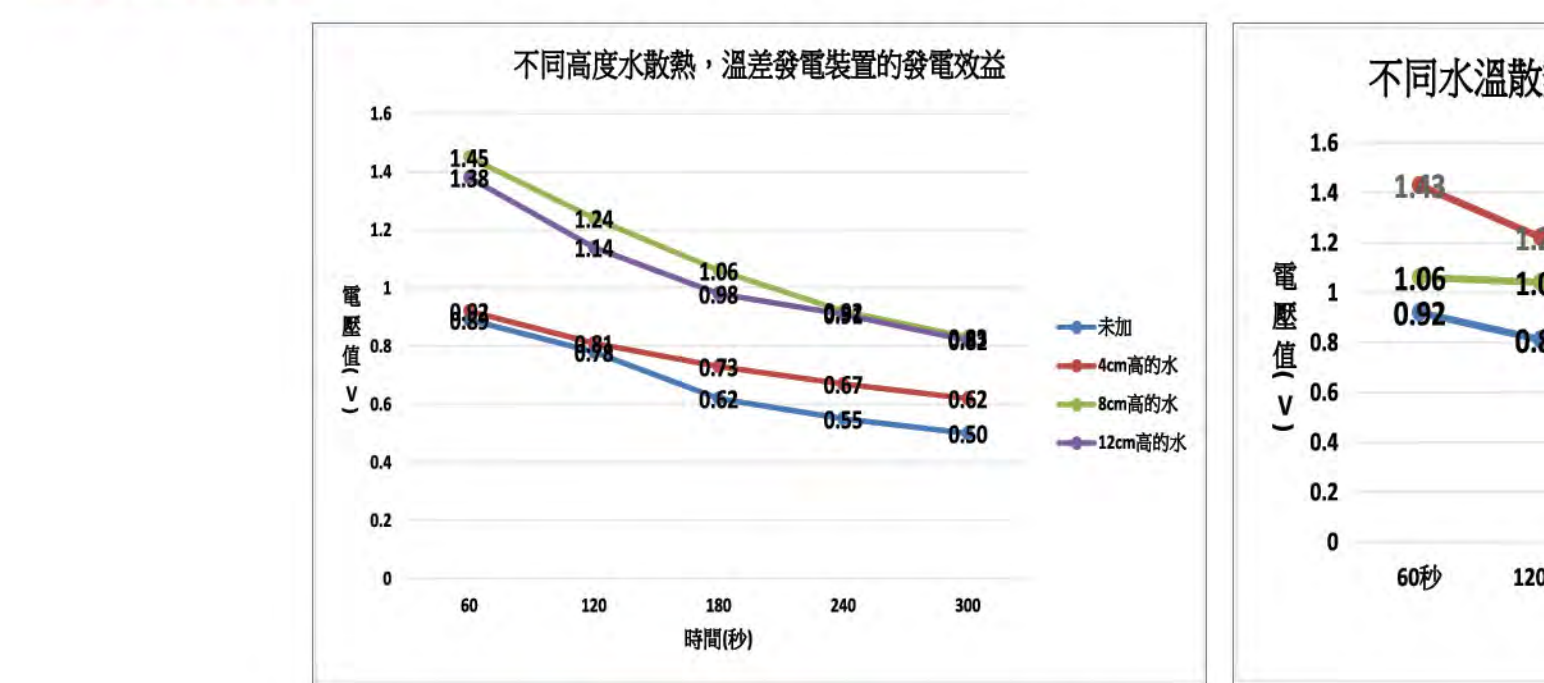
A水量(4、8、12公分高的水)對提高冷端散熱效果的影響。

B水溫(22°C、15°C、8°C)對提高冷端散熱效果的影響。

(二)、實驗結果：

表三-2-2-1不同保溫裝置的保溫效果

盒中加入水量、水溫	22°C的水			4cm高的水			
	未加	4cm高的水	8cm高的水	12cm高的水	22°C	15°C	8°C
平均電壓(V)	0.67	0.75	1.10	1.00	0.75	1.14	1.00



研究三-2-3、自製【熱湯廢熱】溫差發電裝置

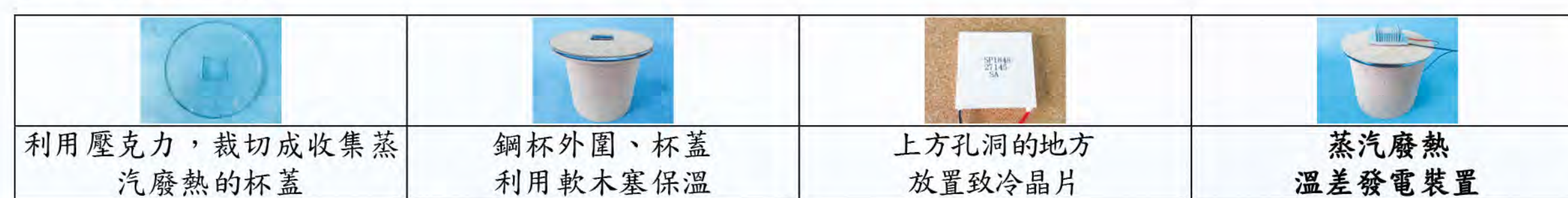
依據研究三-2-1和研究三-2-2的結果，自製熱湯廢熱溫差發電裝置，如下表。

項目	說明	照片
熱源	例如：燙青菜、水煮蛋、川燙肉片、煮水餃、消毒抹布、煮麵條...等。	
發電裝置	第二代溫差發電裝置上放熱源，使用散熱鰭片散熱利用致冷晶片發電。	
裝置熱源用具	不同尺寸的鋼杯 鋼杯可以將熱湯熱傳導到致冷晶片上，且使用後可以簡易的清理。	
保溫裝置方式	A利用保溫材質的物品，例如泡棉、軟木塞、鋁箔...等，自製成保溫裝置。 a利用泡棉套住鋼杯、軟木塞當作蓋子。 b利用軟木塞套住鋼杯、和製作蓋子。 B利用水面上適量的浮油達到保溫效果。	
散熱裝置方式	使用散熱鰭片進行散熱，可以放入水中提高散熱效果。	
建議裝置方式外觀圖		

研究三-2-4、自製【蒸汽廢熱】溫差發電裝置

構思概念A：嘗試將熱湯廢熱裝置更改成可以回收蒸汽熱的方式。

(一)裝置方式：



(二)、裝置效果：

表三-2-4-1蒸汽熱溫差發電裝置，不同水量產生的發電效益

水量(ml)	200	300
平均電壓(V)	0.76	0.87
說明	水量越多效果越佳，蒸氣熱也可以有不錯的發電效益	

構思概念B：嘗試在杯蓋上增加集蒸汽廢熱的數量、加上銅片測試對發電效益的影響。

杯蓋裝置方式	有沒有加上銅片		收集蒸汽廢熱的孔數	
	未加銅片	加上銅片	1個孔洞	2個孔洞
平均電壓(V)	0.87	1.62	0.87	0.80

研究三-3、研究回收火源熱的方式

研究三-3-1、探討不同種類石頭蓄熱的效益

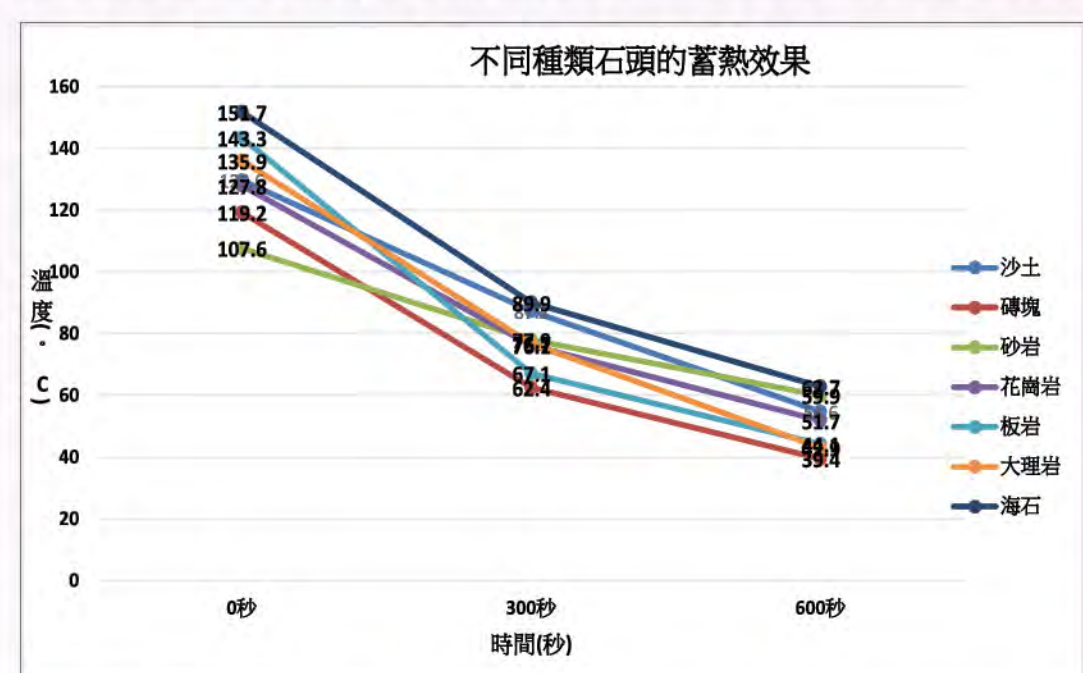
(一)、實驗步驟：

--	--	--

(二)、實驗結果：表三-3-1-1不同種類石頭蓄熱的效果

物品名稱	沙土	磚塊	砂岩	花崗岩	板岩	大理石	海石
照片							
溫度	一開始	129.6	119.2	107.6	127.8	143.3	135.9
的變化	5分後	87.2	62.4	77.9	76.0	67.1	76.7
(°C)	10分後	54.6	39.4	59.9	51.7	44.0	42.9
溫度變化率(%)		58	67	44	60	69	68

計算溫度的變化率，溫度變化率=(十分鐘後的溫度-一開始的溫度/一開始的溫度)。



3. 發現熱端使用石頭時，產生的高溫會讓某些保溫材質融化掉，例如鋁箔、泡棉...等，測試後發現軟木塞最耐高溫。如下表：

			結果說明： 軟木塞適合使用在很高溫熱源進行保溫。
--	--	--	------------------------------------

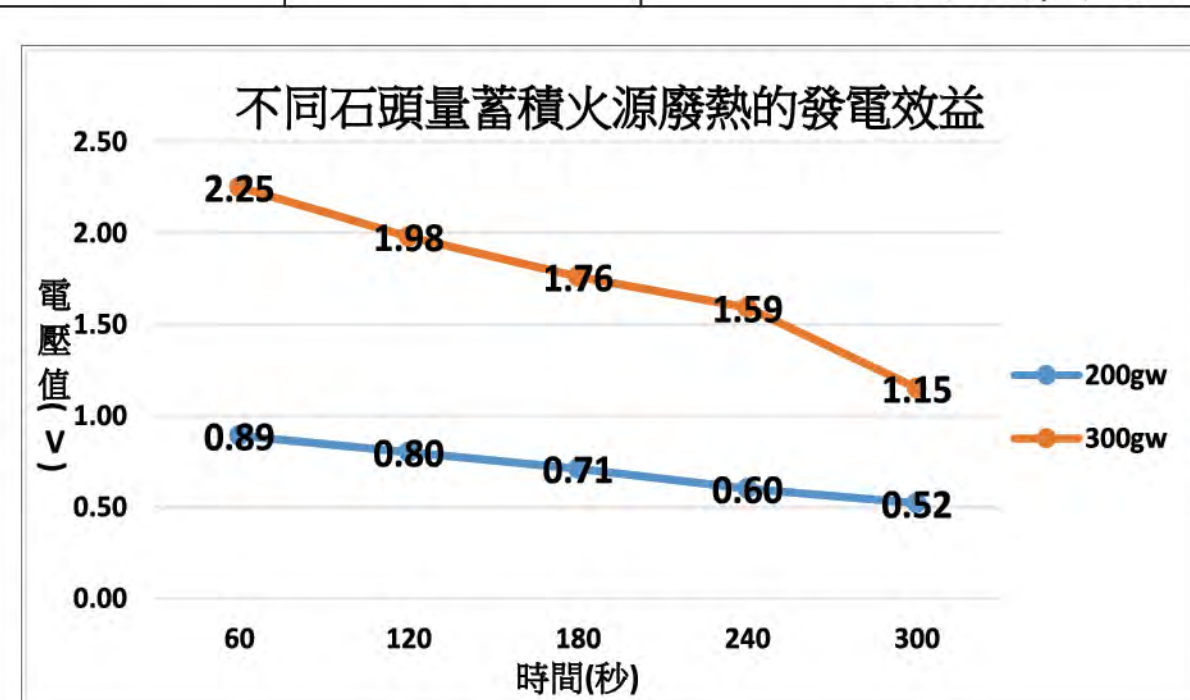
研究三-3-2、自製【火源廢熱】溫差發電裝置

(一)、裝置方式：

--	--	--	--

(二)、裝置效果：

石頭量(gw)	200	300	說明
平均電壓(V)	0.70	1.75	石頭量越多效果越佳，石頭蓄積火源廢熱後，也可以有不錯的發電效益



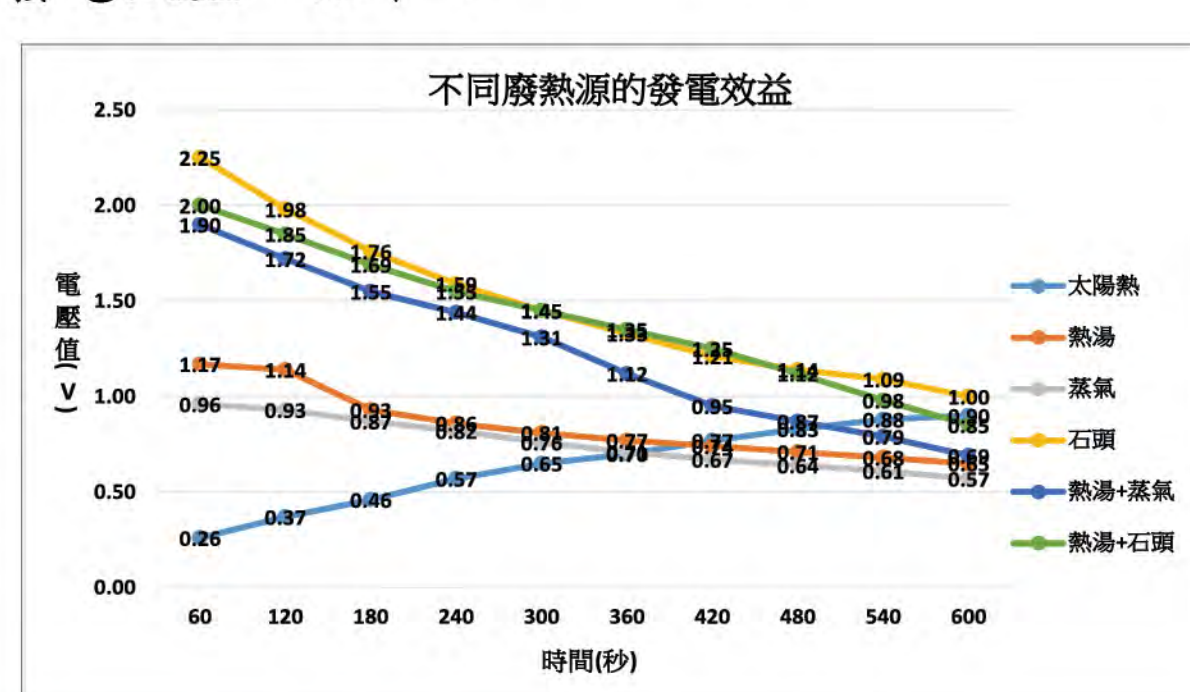
總結論：

1. 將不同廢熱源的溫差發電裝置，整理如下：

表三-3-2-2 不同廢熱源的溫差發電裝置

裝置名稱	照片	說明	保溫方式	散熱方式
【太陽廢熱】溫差發電裝置		利用自製反射、吸收光裝置，集中熱	反射光(反光紙)、吸收光(鋁塊)	散熱片(冷凝管)
【熱湯廢熱】溫差發電裝置		如煮水餃的廢熱湯	軟木塞、泡棉、浮油	散熱片(冷凝管)、放入水中提高效果
【蒸汽廢熱】溫差發電裝置		廢熱湯產生的蒸汽	軟木塞	散熱片
【火源廢熱】溫差發電裝置		以石頭蓄積木炭、瓦斯燃燒的廢熱	三層(軟木塞、保麗龍、木頭)	散熱片(冷凝管)、放入水中提高效果

2. 不同廢熱源的發電效益，如下：



研究四-2、廢熱溫差發電裝置在生活中的實際應用

構思概念：將研究四-1中設計的電器在生活中實際應用，方式如下：

應用一：自動熄滅小夜燈

--	--	--

應用二：攪拌食物

--	--	--

應用三：食物解凍裝置

--	--	--	--

應用四：手機充電

--	--	--	--

整合性的應用：

(一)、自製多功能溫差裝置：整合型廢熱發電箱

--	--	--	--	--

(二)、應用方式：

- A廢熱來源：熱湯熱、蒸汽熱、火源熱(石頭蓄熱)。
- B廢熱應用方式：利用各種廢熱，驅動各種自製電器用品，可以單一使用或串聯後使用。

C裝置外觀說明圖：

盒內放置鋼杯，可單一或串聯應用。

蓋子：沒有孔洞、有孔洞。

應用廢熱源：熱湯廢熱、蒸汽廢熱、火源廢熱。

自製電器用品

散熱裝置：散熱片(冷凝管)，可放入水中提高效果

小風扇

攪拌器

LED燈

保溫裝置：內層黏貼軟木塞、保麗龍、木頭。

D結果：可以利用等廢熱驅動各種自製電器用品。

柒、研究結論

- 日常生活中，常見的不同熱源對溫差發電裝置發電效益的影響為何呢？
 - 酒精燈的火、蠟燭的燭火、火鍋的板子，產生的電壓值會持續上升，推測這些熱源可以持續提供一定的高溫給發電裝置。
 - 火鍋的熱湯、太陽光、石頭等提供給發電裝置的溫度不夠高，因此發電效果也較不佳。
 - 火鍋的蒸汽電壓值會上升再下降，推測蒸汽會飄散無法固定提供熱給致冷晶片，所以電壓值不穩定。
- 不同散熱方式對溫差發電裝置發電效益的影響為何呢？
 - 使用溫差發電裝置，在冷端部份要有較佳的持續散熱方式，不然發電效益會不佳。
 - 最佳散熱裝置是有冷凝管的散熱片，以此自製成第二代溫差發電裝置，詳見研究二-2。
 - 第二代溫差發電裝置的發電效益比第一代效果佳。
- 不同廢熱源實際應用的方式，如下：
 - 【太陽廢熱】溫差發電裝置
 - 3-1、反射、吸收太陽光集熱，以提高溫差發電裝置效果的方式為何呢？
 1. 反光紙是不錯的反射光集熱的材質，可以提高發電效益達到兩倍，推測它亮度高且可以很服貼的黏貼在裝置上，因此產生的反射效果最佳。
 2. 可以利用塗黑或加銅片等物品來達到吸熱的效果，提升太陽廢熱溫差發電裝置的發電效果。
 - 3-2、自製【太陽廢熱】溫差發電裝置的方式、效果。
 1. 利用反射、吸收太陽光集熱裝置，將太陽熱集中，驅動第二代溫差發電裝置，自製成太陽廢熱溫差發電裝置。
 2. 發現利用反射、吸收太陽光集熱裝置，將太陽光反射、吸收、集中之後，比沒有的效果提高10倍左右，且可以讓LED燈亮起來。
 - 【熱湯廢熱】溫差發電裝置
 - 3-3、提高熱湯溫差發電裝置保溫、散熱效果的方式為何呢？
 1. 保溫效果較佳為軟木塞(耐高溫)、手搖杯的杯套(泡棉)。
 2. 熱湯上加一層浮油、且剛剛蓋住水的量，如此可以保溫，且大概可以提高1.5倍的發電量。
 3. 散熱裝置放入水中可提高發電效益，水量大概散熱器的2/3高度，水溫15°C即可。
 - 3-4、自製【熱湯廢熱】溫差發電裝置的方式、效果。
 - 將鋼杯放置在第二版溫差發電裝置，加裝保溫裝置，如鋼杯套上泡棉、軟木塞，將散熱片放入水中，提高散熱效果，裝置可以驅動LED燈、小馬達、電子鐘。
 - 【蒸汽廢熱】溫差發電裝置
 - 3-5、自製【蒸汽廢熱】溫差發電裝置的方式、效果。
 - 鋼杯外圍利用軟木塞保溫，接著軟木塞黏貼在壓克力自製鍋蓋(上方打洞)的兩面，上方孔洞的地方放置致冷晶片，收集蒸汽熱，裝置可以驅動LED燈、小馬達、電子鐘。
 - 3-6、蒸汽廢熱不同裝置方式的發電效益為何呢？
 1. 致冷晶片加上銅片可以提高發電效益，推測它可以讓熱蒸汽的廢熱集中在銅片後，更有效率的傳導到致冷晶片的熱端。
 2. 一個孔洞的杯蓋回收蒸汽廢熱的電壓值低，但熱耗的速度較慢，兩個孔洞的電壓值高，但熱耗的速度較快。
 - 【火源廢熱】溫差發電裝置
 - 3-7、不同種類石頭蓄熱的效益為何呢？
 - 整體來看海石有不錯的蓄熱效果，一開始到最後都可以保持很高的溫度，且降溫速度也緩慢，它小石頭外形，也較好拿來應用。
 - 3-8、自製【火源廢熱】溫差發電裝置的方式、效果。
 - 利用木頭自製可放入鋼杯的方形盒子，裝置兩層可保溫材質物品(保麗龍、軟木塞)提高裝置的保溫效果，將自製的方形木板保溫盒子，放置在第二代溫差發電裝置上，再將蓄積火源熱的石頭裝入鋼杯內即可應用。

研究四 日常生活中的實際應用

研究四-1、自製適用廢熱溫差發電裝置的電器用品

構思概念：

嘗試利用自製廢熱溫差發電裝置可以驅動的物品，設計各種生活中實用的電器用品。一共有三項設計，如下：

設計一：自製小風扇裝置

--	--	--	--

表四-1-1不同裝置角度扇葉對形成風速的影響

扇葉裝置角度	0度	22.5度	45度	結果說明	成品
照片				以裝置角度45度的扇葉形成的風速最大，效果最佳。以它作為小風扇的扇葉。	
形成風速(Km/hr)	0	2.5	5.8		

設計二：自製小夜燈裝置

--	--	--

設計三：自製攪拌裝置

A自製攪拌棒：

樣式說明	三片葉片裝置角度0度	三片葉片裝置角度22.5度	三片葉片裝置角度45度	三片葉片裝置角度往下	結果說明
照片					發現裝置角度往下的最適合應用來攪拌東西。
開始轉動的時間(秒)	10	15	20	5	

B攪拌棒裝置說明：

--	--	--

捌、參考資料

- 顏世枋等(2018)。熱和我們的生活。自然與生活科技六上。台南市：南一。
- 顏世枋等(2018)。力與運動。自然與生活科技五下。台南市：南一。
- 綠焰重生-落葉碳質燃料在熱電晶片發電應用研究，全國科展第53屆。
- 日夜熱電共舞，全國科展第54屆。
- 能源再利用，過火就來電，全國科展第55屆。
- 會發電的夾心餅乾，全國科展第58屆。