

2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：摺摺稱奇—探討三浦方塊的隔熱效果

一、摘要

夏季炎熱，讓人總想躲在遮陽處，在查找資料中，發現隔熱要選擇導熱係數低的材料或中間夾有空氣層的隔熱方式，我們以中間夾空氣層來研究，找到有三浦摺疊變形的中空三浦方塊，因紙張方便易得，所以用 140P 圖畫紙進行摺疊，製作隔熱物來進行實驗，實驗結果顯示：1. 夾有空氣層的雙層未摺疊紙張隔熱效果較佳，與文獻中的研究結果相符。2. 若有相同高度的空氣層，中空的三浦方塊的隔熱效果比未摺疊紙張還要好，其中以高度較高的 2.0 方塊隔熱最好。3. 由於三浦方塊表面積較平面未摺疊的紙張大，因此又研究空氣層高度與光照表面積相同下，不同摺疊方式是否影響隔熱？結果顯示三浦方塊仍舊優於 W 摺疊(波浪摺)方式，也顯示出高度較高的 2.0 方塊，隔熱效果仍然較好。所以隔熱物品中間空氣層若能選擇三浦摺疊的方式，其隔熱效果應可優於一般 W 摺疊的物品。

二、探究題目與動機

炎炎的夏日，鐵皮屋底下總是又悶又熱，讓人倍感困擾，於是我們決定尋找些隔熱方法來幫助降溫，並開始觀察生活周遭的隔熱小物。飯桌上，為了避免桌子過度受熱毀損，總會放上有厚度的物品隔熱，這也讓我們有了疑問，隔熱的東西一定要是厚實的嗎？而在商店買熱飲時，杯子上總會放有隔熱用的波浪型杯套，根據網路上的資料顯示，隔熱層的高度越高，隔熱效果越好[1]，讓我們想起曾經在科教館看過的「玩藝數特展」[2]，也有一種鑲嵌摺法具有波浪狀的摺痕，便是「三浦摺疊」，此在日常生活中的應用有很多，我們找到了一種「三浦摺疊」的變形，名為三浦方塊，它是擁有多個中空平行六面體組合而成且又是可壓縮的方塊，這引起我們的好奇，三浦方塊的隔熱效果是否會比波浪型紙張的隔熱效果還要好？於是在好奇心的驅使下，我們開始了一系列的研究。

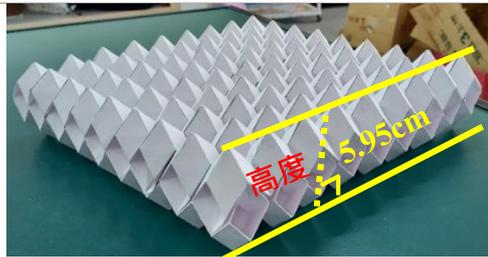
三、探究目的與假設

(一)名詞釋義：

1. 三浦管摺紙(Miura-Tube Origami)：利用三浦摺疊(Miura-origami)的特性，將之立體化，製作出一條一條類似水管的單元體，此單元體是可被壓縮的，如下圖(一)所示。
2. 三浦方塊(Tachi-Miura Polyhedron)：我們使用多條的三浦管摺紙製作出一塊類似立方體的多面體，並且內部呈現中空，如圖(二)，其特性可以橫向與縱向壓縮如圖(三)、圖(四)；上下可以荷重，如圖(五)。



圖(一) 三浦管摺紙與壓縮



圖(二) 三浦方塊(Tachi-Miura Polyhedron)

此為實驗用的三浦方塊，菱形邊長 2cm。



圖(三) 三浦方塊縱向壓縮



圖(四) 三浦方塊橫向壓縮



圖(五) 三浦方塊上下可荷重

我們製作兩種尺寸的三浦方塊來研究，如下頁圖(六)：(1)每面邊長 1.5 公分的菱形組成三浦管，需製作 24 隻管子，組成三浦方塊。(2)每面邊長 2 公分的菱形組成三浦管，需製作 18 隻管子，組成三浦方塊。此兩種方塊正面面積幾近相同(約 750cm^2)，但是高度(4.75&5.95cm)有所不同。此外，菱形內角為 60° 與 120° 才可以在立體化之後被壓縮，另外，也有計算出兩款方塊的表面積也是一樣的(約 1122cm^2)。

以下的報告內容，我們簡稱上面兩種三浦方塊為「**1.5 方塊**」和「**2.0 方塊**」

- 3. 空氣層**：因為三浦方塊中間中空，中間中空的高度稱為空氣層。因實驗需要，採用紙張經「未摺疊」、「W 摺疊」與「三浦摺疊」下，兩種不同高度(4.75&5.95cm)的空氣層。
- 4. 隔熱效果**：隔熱箱上下層溫的溫差越大表示隔熱效果越佳。

(二)研究目的：

- 探討中間夾的**空氣層高度相同**時，「兩張距離 4.75cm 未摺疊紙張」、「兩張距離 5.95cm 未摺疊紙張」、「1.5 方塊」、「2.0 方塊」的隔熱效果，並與「空箱」、「一張未摺疊紙張」做比較。
- 探討光照**表面積相同**時，「兩張距離 4.75cm 之 W 摺疊紙張」、「兩張距離 5.95cm 之 W 摺疊紙張」、「1.5 方塊」、「2.0 方塊」的隔熱效果。
- 比較「1.5 方塊」、「2.0 方塊」與市售常見採光罩—「PC 透明板」、「塑鋁板」的隔熱效果。

四、探究方法與驗證步驟

(一)探究步驟

有沒有空氣層會影響隔熱效果嗎？

如果有相同高度的空氣層，三浦方塊隔熱效果會比較好嗎？

如果均有相同表面積與高度的空氣層，不同的摺疊方式會影響隔熱效果嗎？

(二)實驗設備

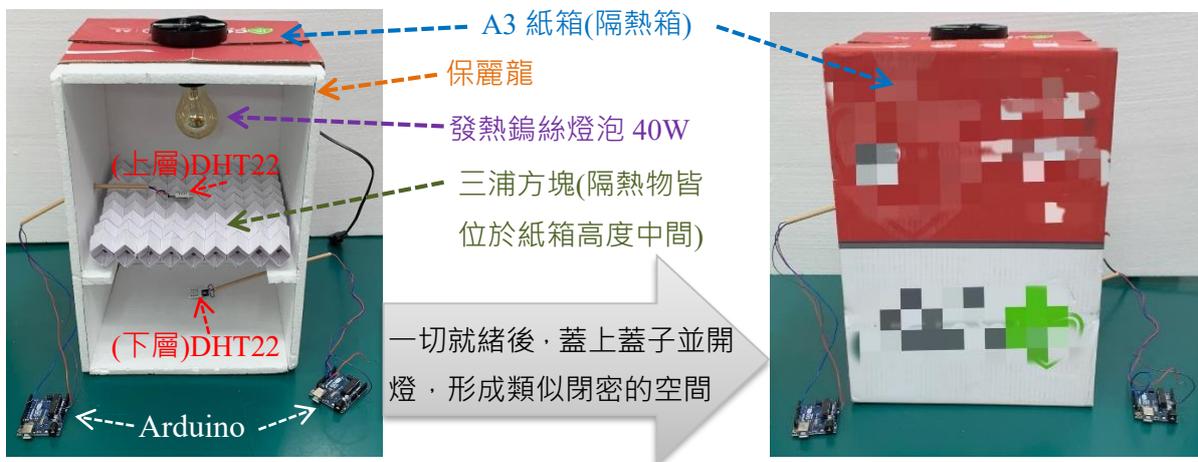
- 軟硬體設施**：140P 圖畫紙(方便易得，造價便宜)、紙箱、保麗龍(聚苯乙烯，厚 1cm)、Arduino、溫濕度感測器模組(DHT22)、發熱鎢絲燈泡、電腦、PC 板、塑鋁板等。
- 隔熱物**：如下頁圖(六)，紙張皆使用 140P 的圖畫紙，方便易得，而這些隔熱物的上視圖面積均大約是 750cm^2 ($27 \times 27.8\text{cm}$)，1.5 方塊與 2.0 方塊的上視圖的表面積為

$2 \times \frac{\sqrt{3}}{4} \times (1.5)^2 \times 4 \times 12 \times 12 = 2 \times \frac{\sqrt{3}}{4} \times 2^2 \times 4 \times 9 \times 9 \approx 1122.3 \text{ cm}^2 \cdot W$ 摺疊紙張攤平後長寬為 27 x 41.6cm 的長方形。



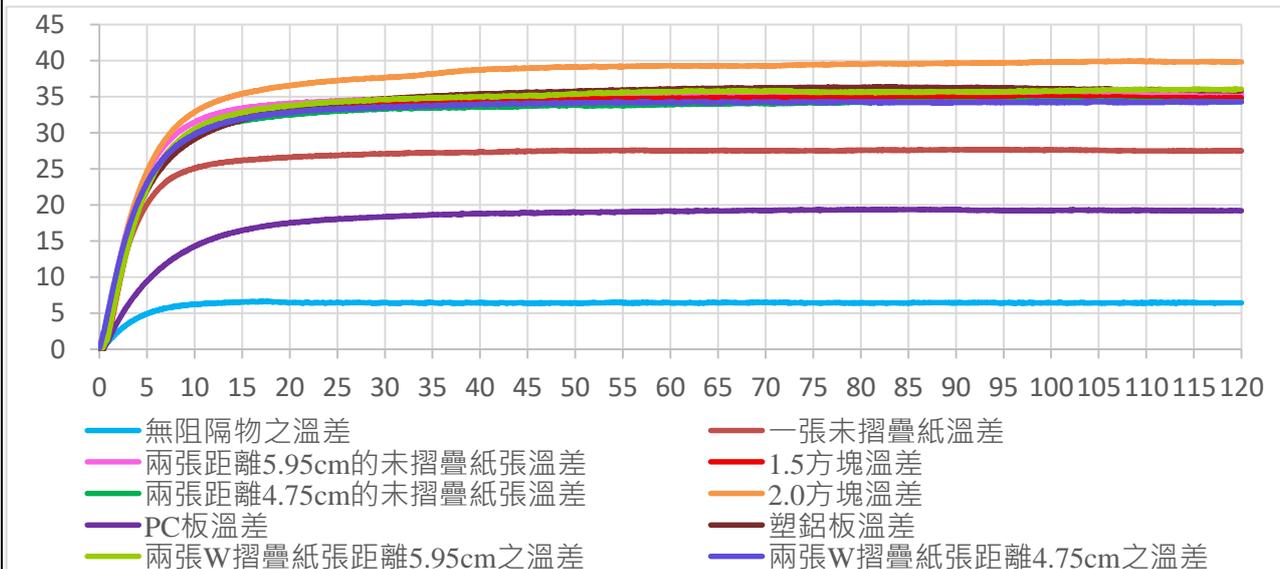
圖(六) 依序為未摺疊紙張、W 摺疊紙張、1.5 方塊、2.0 方塊、PC 板和塑鋁板

3. 實驗裝置：因前置實驗未裝保麗龍時，蓄熱效果不好，紙板熱傳導係數(0.14wm.k)[3]，經由網路查找相關熱傳遞的資訊，發現保麗龍的熱傳導係數更低(0.033wm.k)[4]，能有效隔絕熱源，為避免過多熱源外溢而達到蓄熱，因此我們將保麗龍做為隔熱箱內層使用。



(三)實驗數據收集

當實驗設備就緒後，利用 Arduino 透過溫溼度感測器設定每 2 秒回傳溫度數據，同種實驗皆收集 5 次數據，每次 2 小時。分析數據時，剔除出現極端值資料，每組留下 3 次資料進行統計分析。下圖即為三次平均溫差與時間之散布圖。



圖(七) 各種隔熱物上下層溫差(縱軸單位：°C)與時間(橫軸單位：分鐘)之 XY 散布圖

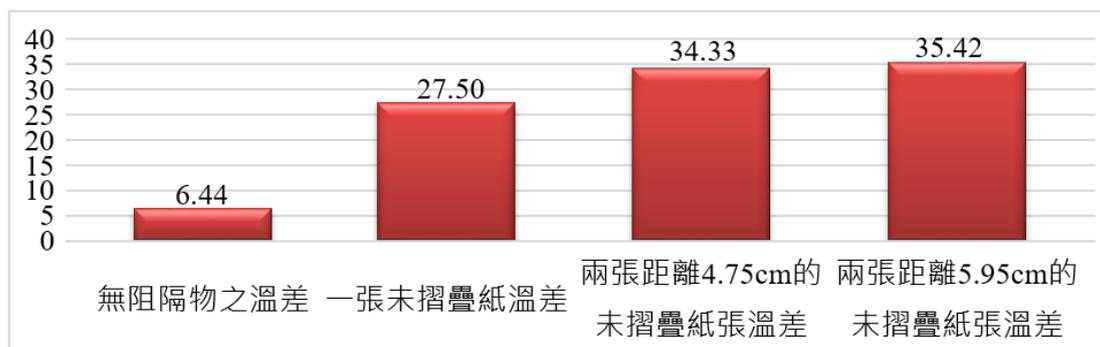
五、結論與生活應用

由圖(七)可以發現不論何種隔熱物，隨著時間增加，上下層的溫差逐漸趨於穩定，我們取最後十五分鐘計算平均溫差來進行比較，且從前面十五分鐘可以得知不同隔熱物的溫差上升速度有些微的不同，以下是我們分析的結論。

(一)結論

1. 探討有無空氣層是否會影響隔熱

我們將控制組的無阻隔物、一張未摺疊紙的溫差，與夾有不同空氣層高度的未摺疊紙張進行比較，下圖呈現四種不同型態的平均溫差長條圖。

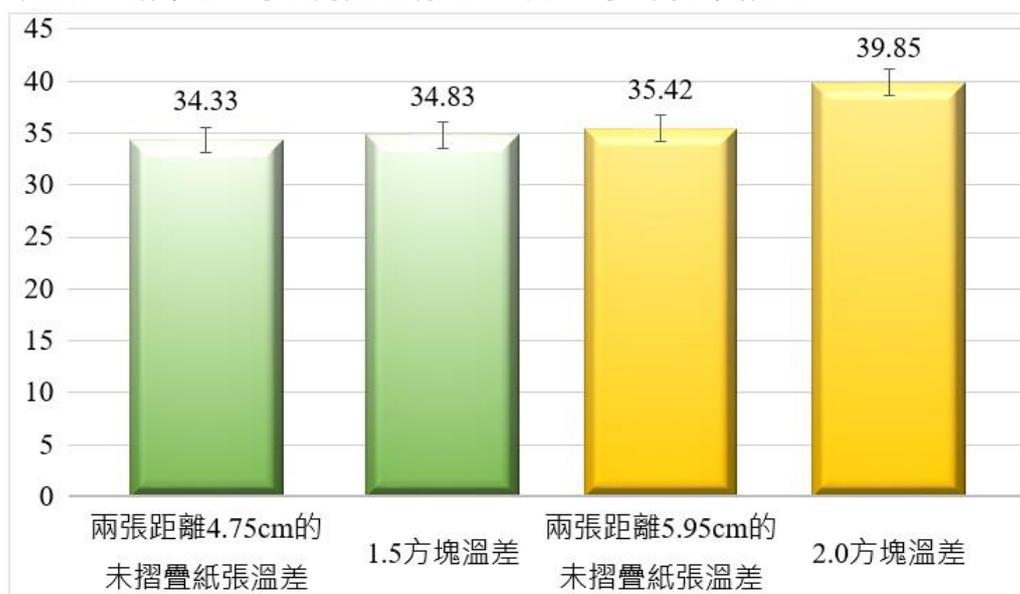


圖(八)未摺疊紙張之有無空氣層的平均溫差長條圖

由圖(八)可以明確得到「有」空氣層的溫差確實較「無」空氣層的溫差大，若用「未夾空氣層的單張未摺疊」為基準做比較的話，夾空氣層的平均溫差均比未夾高出 24.84% 與 28.81%，顯然和我們找到的文獻[1]所呈現的結果相同，亦即**空氣層較高，隔熱效果較好**。

2. 探討空氣層高度相同時，三浦方塊的隔熱效果是否較佳

由於三浦方塊中間有中空的特性，也可以當空氣層，所以和三浦方塊做比較，其溫差如下圖(九)所呈現，結果 2.0 方塊的溫差將近 40 度，明顯高於其他種類。



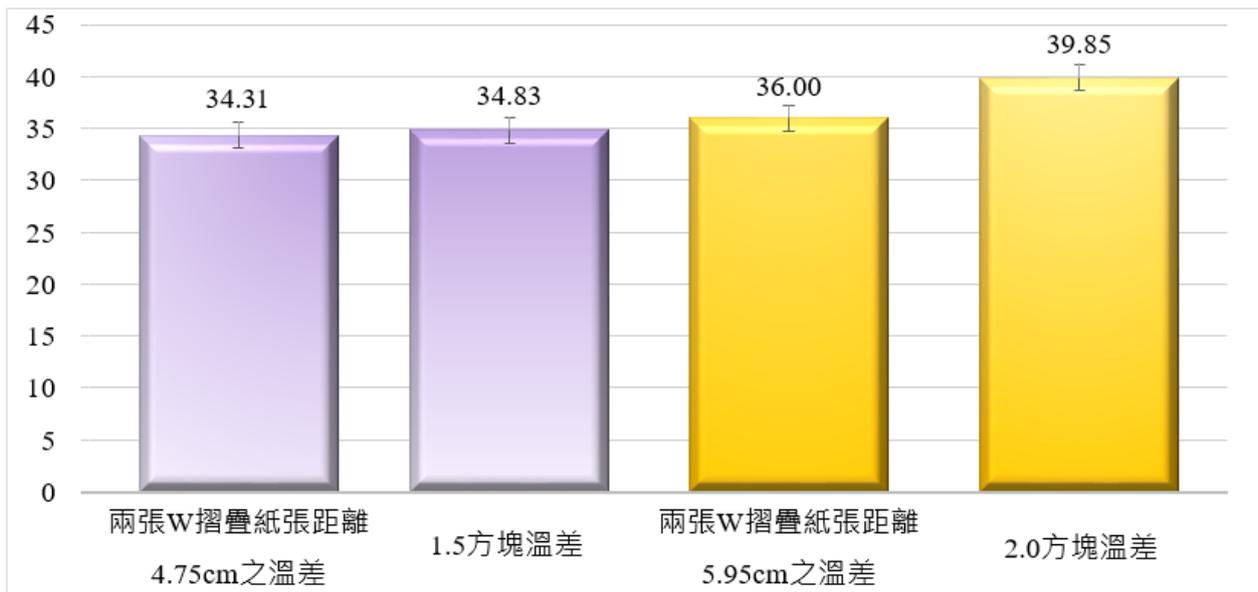
圖(九)空氣層高度 4.75cm、5.95cm 與三浦方塊的平均溫差長條圖

我們也觀察到「兩張未摺疊紙張夾 4.75cm 的空氣層」與「1.5 方塊」平均溫差僅差距 0.5°C，於是利用 Excel 的資料分析，將最後 15 分鐘所記錄的溫差數據，進行統計 t 檢定，發

現 p 值 <0.05 ，顯示「1.5 方塊」的隔熱效果在統計上的確優於「兩張距離 4.75cm 的未摺疊紙張」。同樣的，「2.0 方塊」的隔熱效果在統計上也優於「1.5 方塊」、「兩張距離 4.75cm 與 5.95cm 的未摺疊紙張」。所以此組實驗在統計學上來說--「**2.0 方塊**」的隔熱效果較佳。

3. 探討若空氣層高度相同且光照表面積相同時，不同摺疊方式是否會影響隔熱

由上面的關係，我們觀察到三浦方塊的表面積比上視圖面積還大，懷疑如果相同的表面積下，使用三浦摺疊與 W 摺的方式，是否會影響隔熱效果呢？以下是我們的實驗數據。



圖(十) 空氣層高度相同且光照表面積相同時，不同摺疊方式之平均溫差長條圖

經由上圖可得知相同高度與表面積下，無論是 1.5 方塊還是 2.0 方塊的溫差皆高於 W 摺疊方式。我們將空氣層高度 4.75cm 與表面積相同的 W 摺疊與三浦方塊進行統計 t 檢定，得到 p 值 <0.05 ，表示兩者溫度差距雖只有 0.52°C ，但「1.5 方塊」的隔熱效果在統計上的確優於「W 摺疊」。同樣地，「2.0 方塊」的隔熱效果在統計上也優於「W 摺疊」。整體而言在空氣層高度與表面積相同下，此組實驗在統計學上來說--「**2.0 方塊**」的隔熱效果依舊較好。

不過，我們發現在 4.75cm 的空氣層下，未摺疊與 W 摺疊的平均溫差僅只 0.02°C ，在查找資料下[5]：「當指尖皮膚溫度為 33°C 時，偵測溫度升高的門檻(thresholds)是 0.20°C ，偵測溫度降低的門檻是 0.11°C 。」於是我們便不對此兩種平均溫差進行分析比較了。

4. 探討前 15 分鐘，不同隔熱物的平均溫差上升速度

表(一) 各種不同隔熱物前 15 分鐘的溫差平均上升速度表

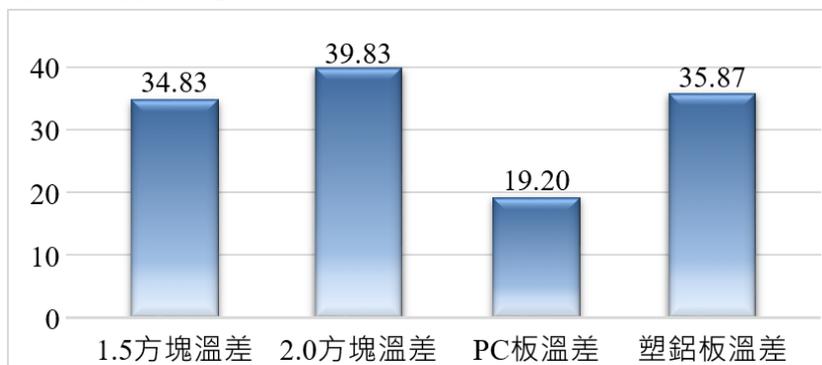
	無阻隔物之溫差	一張未摺疊紙張溫差	兩張距離 4.75cm 的未摺疊紙張溫差	兩張 W 摺疊紙張距離 4.75cm 之溫差	1.5 方塊溫差	兩張距離 5.95cm 的未摺疊紙張溫差	兩張 W 摺疊紙張距離 5.95cm 之溫差	2.0 方塊溫差
溫差平均	4.98	20.06	23.51	23.05	23.55	24.94	24.19	25.84

我們先計算每一分鐘(共 30 組數據)的平均溫差，再計算 15 分鐘內的平均溫差，將數據呈現於下表(一)。其中無阻隔物和單層紙張為參照組，得知**三浦方塊**的溫差上升速度較快，表示**上層熱能傳遞到下層的速度較為緩慢**。雖然在前 15 分鐘未摺製的溫差上升速度較 W 摺

疊快，但時間一長，W 摺疊的溫差便會比未摺疊的大了。

5. 探討三浦方塊與市售常見之採光罩材料的隔熱效果

我們知道材質不同，無法做比較，不過也可以作為參考，如圖(十一)，近年來，採光罩多使用塑鋁板(實心厚度約 5mm)，隔熱效果經由實驗可知塑鋁板確實優於傳統 PC 板，而三浦方塊的隔熱效果較好，我們想如果塑鋁板中間夾有特殊摺疊的空氣層的話是否隔熱效果又會更好了呢？期待未來有機會可以試試。



圖(十一) 三浦方塊與市售常見之採光罩材料的平均溫差長條圖

(二)未來展望

1. 鑲嵌摺疊有許多方法，三浦摺疊是應用廣泛的一種，未來可以用其他摺疊方法來進行比較。
2. 可以將隔熱物移至室外太陽光照射下進行實驗，會更貼近日常生活，目前我們仍在努力。

(三)生活應用

1. 三浦方塊的每一個凹面，讓人聯想到蛋盒，可以拿來裝蛋避免碰撞而破裂，用完還可以收納，重複使用，很方便。又因它可以負重，所以也可以當隔熱桌墊使用。
2. 炎炎夏日車內溫度總是很高，除了在玻璃上貼隔熱貼之外，也可以改變車頂內裝設計，改成三浦方塊的摺製的方式作為車頂的夾層，或許可以有效減少車內溫度上升。
3. 我們曾經去科工館的樂活節能屋參觀[6]，發現節能屋中有「**隔熱窗簾**」的設計，想到三浦方塊的可壓縮特性，也許可以做成有三浦方塊的隔熱窗簾，更能有效阻隔熱能。

參考資料

1. 卓子傑、張學誠、邱瑞深(2015)。雙層鋼板屋頂之空氣層高度對室內溫度影響之研究。2015 中華民國營建工程學會第十三屆營產業永續發展研討會。引自：
<https://www.tsce.org.tw/upload/files/201601151745149526.pdf>
2. 國立臺灣科學教育館。特展：「玩藝數」-遊戲與藝術中發現數學新奇。引自：
<https://www.ntsec.gov.tw/article/detail.aspx?a=166>
3. 常見材料的導熱係數。引自：<https://kknews.cc/zh-tw/home/18y9xa2.html>
4. 維基百科：導熱率。引自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%86%B1%E5%B0%8E%E7%8E%87>
5. *Scholarpedia*：Thermal touch(熱觸感)。引自：
http://www.scholarpedia.org/article/Thermal_touch#Thermal_thresholds
6. 國立科學工藝博物館。常設展：樂活節能屋。引自：
<https://www.nstm.gov.tw/Exhibition.aspx?KeyID=088fd1ef-17e7-4cdd-a7c1-dbc39dc3395e>