

115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	C03-GENFUEL團隊
作品中文名稱	可收納式車內降溫-太陽能熱電系統
作品英文名稱	Retractable Solar-Thermoelectric Cooling System for Reducing Vehicle Cabin Temperature

參賽學校：國立成功大學、國立臺南大學

指導老師：陳維新

團隊成員：葉書亞、邱慶哲、李仲民

目錄

一、	作品中、英文摘要.....	3
二、	設計構想(包含構想來源)及運作說明.....	4
三、	作品材料說明.....	6
	(一) 模型設計.....	6
	(二) 熱電發電晶片與散熱模組.....	8
	(三) 車內溫度傳感器與 IoT.....	10
四、	創作特點與創意說明.....	11
五、	作品應用範圍及發展潛能.....	14
六、	工作分配.....	16
七、	其他.....	17

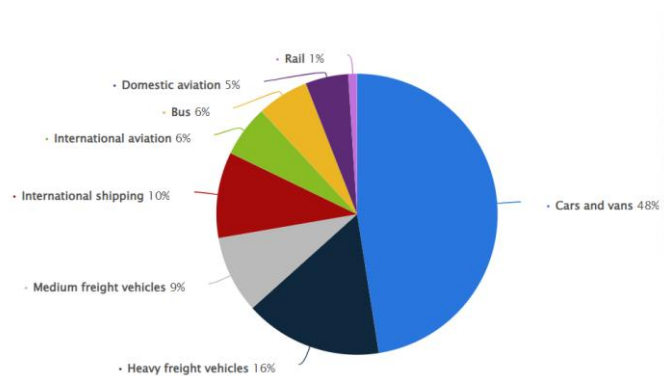
一、 作品中、英文摘要

本作品提出可收納式車內降溫-太陽能熱電系統，結合太陽能板、風扇對流、TEG回收與IoT監控。實測車內溫度由**56°C**降至**42°C**，降溫**14°C**，TEG開路電壓達**102 mV**，具節能減碳潛力。

This project presents a retractable solar-thermoelectric cooling system for reducing vehicle cabin temperature. The system integrates flexible solar panels, fan-driven convection, TEG energy recovery, and IoT monitoring. Experimental results show that the cabin temperature decreased from **56°C to 42°C**, achieving a **14°C** reduction. The TEG module also generated an open-circuit voltage of **102 mV**, demonstrating the feasibility of thermal energy recovery and the potential to reduce air-conditioning load and carbon emissions.

二、 設計構想(包含構想來源)及運作說明

氣候變遷加劇熱浪與高溫事件，使車輛在日照停放時車室溫度快速上升，帶來乘員安全與內裝劣化風險，並推升車用空調的尖峰耗能。現有統計指出，汽車消耗石油約占全球需求 38%，汽車與貨車排放約占交通運輸部門 48%；此外如圖一所示，車用空調耗能約占整車能耗 15-20%。因此，本計畫聚焦於「以潔淨能源降低車內溫度並回收可用電力」，降低電網負載與碳排。



圖一、2022 年全球交通運輸業二氧化碳排放量分佈。

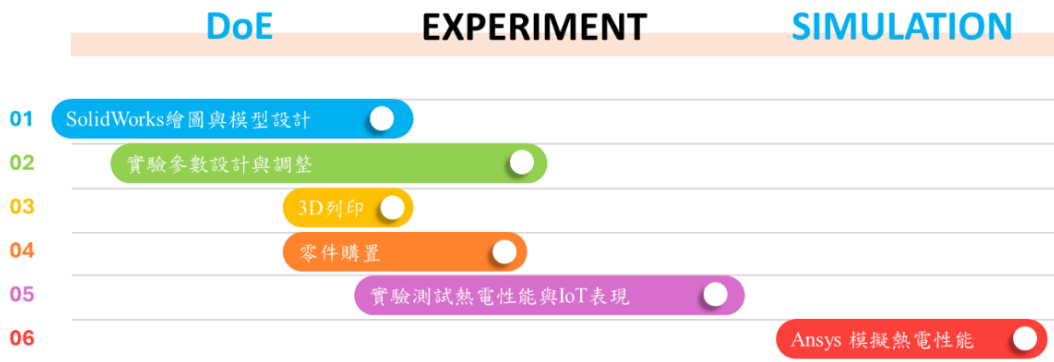
極端熱環境對車輛安全有著重大的影響，車輛的金屬結構和廣大的玻璃面積，使其在無遮蔽區域停放數小時後，空氣和內表面溫度迅速升高，間接導致不可逆的問題產生[1]。因此，我們迫切需要針對這些問題採取有效的解決措施，以確保車輛在極端熱環境下的安全性。然而，車內的高溫會導致空調系統的耗能逐漸加劇，進而導致能源危機與氣候變遷，因此本研究致力於尋找與開發能夠以潔淨能源來有效降低車內溫度的方法。

廢熱回收是一項以熱發電的工業節能技術，大量的熱量在作業中被排放到環境中，通過熱電技術便可以將熱量重新利用於生產過程中，從而減少對外部能源的需求，進而節省大量能源。目前已經有研究人員將熱電發電機技術應用在汽車上，並進行可行性的評估。Kim 等人[2]將熱電冷卻器和熱電發電機整合到汽車空調系統中，以提高效能和效率。並且將這套系統通過在後座天花板安裝熱電冷卻器，將冷空氣有效地傳送到整個車內。研究結果顯示，在排氣管平均溫度 90.37°C 下，十二台熱電發電機能夠產生 90.715 W 的電力。車內也因為冷空氣的遞送，在不到三分鐘的時間內將車內的溫度從 45°C 冷卻到 26°C。這種系統不僅提高

了汽車空調系統的效能和效率，並能夠有效利用汽車排氣管的廢熱，減少能源浪費。然而，汽車的熱量來源不只有排氣管，還包括汽車引擎和鈹金等。Sunawar 等人[3]調查了停放在直射陽光下的汽車的溫度分佈模式，並將熱電發電機放置在車頂上進行熱電回收。研究結果顯示每個模組可產生高達 6.9 mW 的功率。因此，通過在汽車車頂的 1 平方米區域安裝熱電發電機，可以產生 280 W 的電力。這些研究證實了利用熱電發電機技術回收內燃機廢熱及鈹金高溫的可行性。多數汽車往復式內燃機無法將燃料能量完全轉化為機械功[4]，因此車輛在運行與停放時仍存在可回收的熱能。除行駛時的高溫外，日照造成的鈹金與車體升溫亦常被忽略；研究顯示，車輛在無遮蔽區域停放數小時後，車室平均可達約 80°C[5]。目前針對「汽車鈹金餘熱回收以達到節能」的研究仍相對有限。本研究利用鈹金比熱小、導熱佳的特性，導入熱電技術進行餘熱回收，以同時達成降溫與節能之目的。本研究針對夏季長期曝曬造成之車室溫室效應與高 Soak Temperature，提出一套主動式表面熱阻斷與能量自給散熱系統，目標為從源頭抑制鈹金熱滲透，降低 HVAC 啟動初期之高功率負載與整體能耗。相較於既有研究多聚焦排氣管廢熱，本研究之創新重點包含：(1) 建立鈹金外表面之低熱阻熱交換介面（多層石墨烯複合織物）；(2) 整合柔性薄膜太陽能板與熱電發電機（PV-TEG）作為能源採集端，提供風扇強制對流散熱之電力來源；(3) 結合 IoT 與 ECU 即時監測與用電調控，以提升能源使用效率並降低維護風險，達成停放情境下之節能減碳目標[6][7]。

三、 作品材料說明

本團隊的研究流程如圖二所示，整體的實驗大致分為三個階段。初期的實驗設計階段，利用 SolidWorks 繪圖軟體先設計出熱電模組的樣式與零件配置，並安排好實驗參數與方法。在實驗階段購置 TEG、風扇等零件。實驗材料準備完成後便開始實驗操作，使用的儀器為熱電測試平台，經過實驗後取得數據。最後階段為模擬實驗，利用 Ansys 軟體的熱電程式，模擬在不同鈹金溫度下的熱電性能。



圖二、製造流程圖。

本研究技術原理分為三個部分，分別是熱電發電機模組、車內溫度傳感監控系統、智能電力管理。熱電發電機模型主要由 TEG、風扇及模型外殼所組成，下文將會個別介紹所使用的組件規格。

(一)模型設計

本研究為了最大化能源利用效率，創新設計了「可收納式車內降溫-太陽能熱電系統」。有別於傳統單一熱源回收，本設計將模組分為上下兩層功能區，如圖三所示：

1. 上層：太陽能光伏發電區（Photovoltaic Generation）

模型頂部鋪設高效率太陽能板（Solar Panels），直接將太陽輻射能轉換為電能，作為驅動散熱風扇的主要能量來源。

2. 下層：鈹金廢熱回收區（TEG Waste Heat Recovery）

模組底部配置熱電發電晶片陣列，緊貼於汽車鈹金外表面。底層介面導入具高面內熱導率之**多層石墨烯複合織物**，以形成大面積低熱阻接觸並提升熱擴散效率。系統利用鈹金（熱端）與模組內部散熱鰭片（冷端）之溫差，透過賽貝克效應回收廢熱並產生

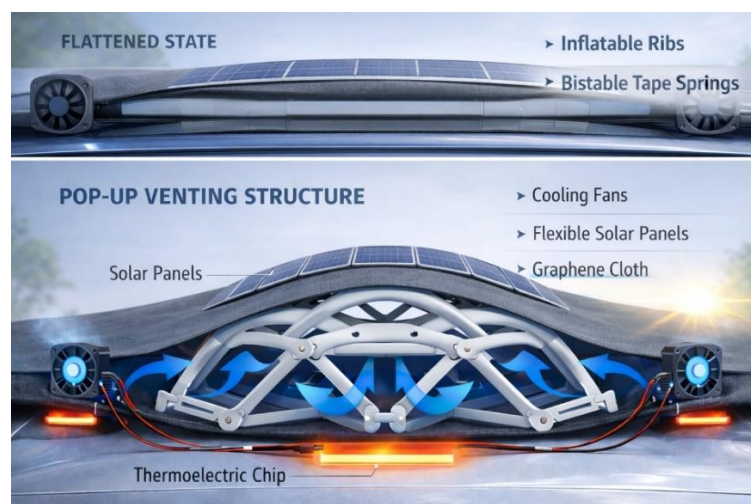
電力。

3. 儲能與散熱循環設計

模組側面採用幾何通風口設計，並整合微型風扇形成強制對流循環。PV 與 TEG 所產生之電力將優先供應風扇運轉，以**快速帶走冷端鰭片熱量**；多餘電能則儲存於內建電池模組。於日照不足或停車初期等情境下，儲能系統仍可持續供電，使散熱與監控維持運作，達成停放環境下的智慧熱管理。

4. 流線收納與立體工作機構（可收納式空氣隧道）

為實現高效散熱路徑，系統需在「**流線收納**」與「**立體工作**」間取得平衡。本研究利用具形態調整特性的**可調式不鏽鋼骨架**，使模組在非工作態可進行捲筒式小半徑收納；展開於鈹金表面時，骨架釋放應力並產生垂直位移，精確撐起上下層結構以形成穩定的**三維空氣隧道**。此高度建立過程同步連動翻轉自鎖機構：短邊微型風扇模組透過柔性鉸鏈（Living Hinge）與主骨架相連，受機械拉力驅動由水平位姿翻轉至 90° 直立。直立後風扇模組外殼之導向槽可與上層布料加強筋形成結構性卡合，使風扇模組同時作為側向支撐牆。該自鎖設計可提升導流空間幾何穩定性，並降低外部風壓造成的氣室塌陷風險，確保石墨烯導熱層與空氣流場間**可長時間維持穩定的主動散熱循環**。



圖三、AI 繪製模型示意圖

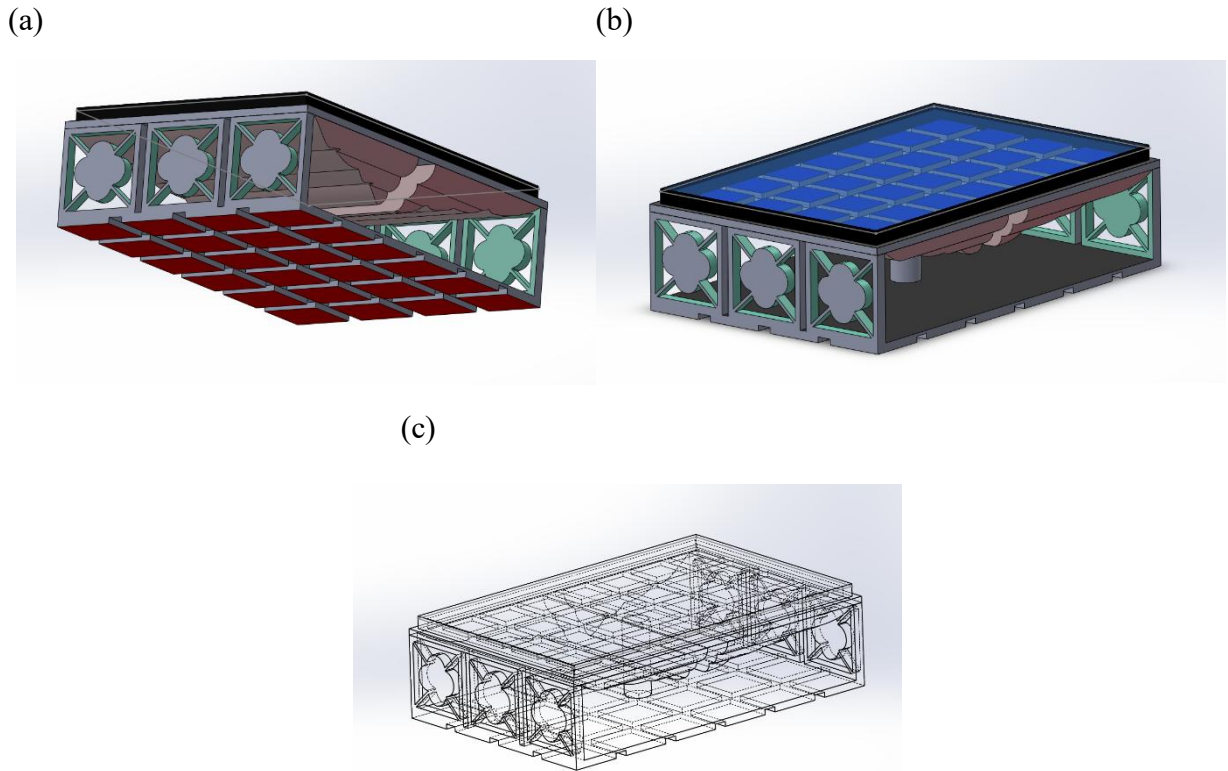
(二)熱電發電晶片與散熱模組

本研究所使用的熱電發電晶片為 Bi_2Te_3 材料製成的 SP1848-27145 TEG [8]，表一中列出了 TEG 的規格。每片 TEG 的尺寸為 $80\text{ mm} \times 80\text{ mm} \times 3.4\text{ mm}$ ，且具有 127 對熱電偶。最大電流與電壓分別為 669 mA 與 4.8 V，最大溫差為 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 。熱電發電晶片基於賽貝克效應 (Seebeck effect) 運作， S 為賽貝克係數， ΔV 為電壓差， ΔT 為溫度差，圖四為複合能源散熱模組機構設計圖

表一、熱電發電機規格。

項目	數值
TEG 型號	SP1848-27145
模型尺寸(長×寬×高)	$40\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 3.4\text{ mm}$
熱電偶組數	127
P/N-type 材料	Bi_2Te_3

TEG 冷端降溫問題是本實驗的主要研究項目之一，如圖五所示，我們在模型設計上安裝了散熱風扇，利用風冷以及固體熱傳導的方式進行 TEG 的散熱。為了更進一步提升散熱性能，在模型外殼安裝了 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 的風扇，散熱風扇的風向與鰭片呈現平行狀，藉由風吹過鈹金表面帶走熱量的原理，來優化整體的散熱表現。散熱風扇的規格如表二所示。



圖四、複合能源散熱模組機構設計圖。(a)模組上方太陽能板配置；(b)模組下方熱電晶片(TEG)陣列配置；(c)內部透視圖顯示風扇與散熱流道。



圖五、(a)熱電發電晶片與(b)散熱風扇。

表二、散熱鰭片與風扇規格。

項目	數值
散熱鰭片	
材料	鋁
模型尺寸(長×寬×高)	120 mm × 69 mm × 36 mm

風扇	驅動電壓	5 V
	模型尺寸(長×寬×高)	40 mm × 40 mm

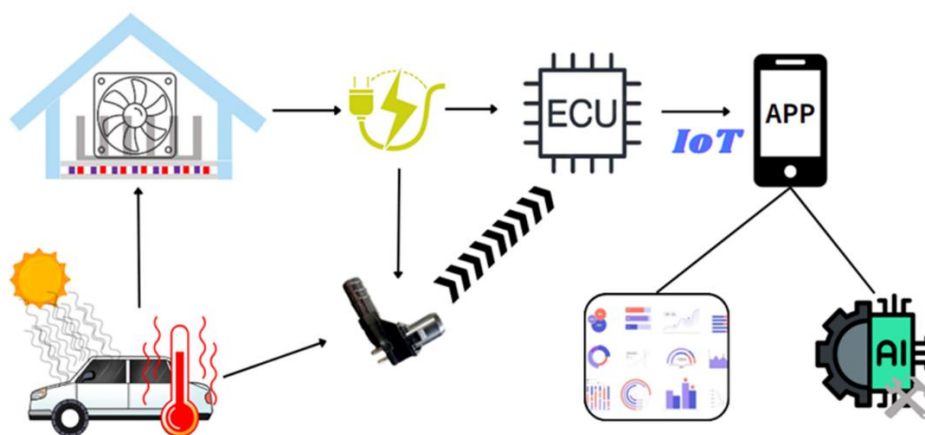
(三)車內溫度傳感器與 IoT

本研究團隊將開發一款資訊可視化的 APP，讓 ECU 根據 TEG 所產生之電能進行分配供給，一方面讓 TEG 能夠持續運作，一方面讓多餘的電力能夠透過駕駛的預先設定進行分配使用，例如偵測車內溫度、激活空調冷卻車內、增加 TEG 風扇功率等，讓駕駛將汽車停放在外面時，能夠隨時透過 APP 來監控車內狀況。而 APP 功能包括以下幾點：

1. 監控數據圖表化：根據車內溫度、TEG 熱效率、TEG 電效率等進行數據整理，並製作成折線圖看出在不同時間上的溫度變化及能源效率。
2. 電力自動分配系統：APP 將用戶過去所設定的數據進行整理，並連結當日氣象局天氣預報，每日提供建議的電力配給方案。
3. 緊急叫鈴訊息：當溫度達到一定標準且無法降溫時，APP 將會向用戶手機發送訊息或鈴聲，提醒駕駛盡快將汽車移開。

另外，IoT 也可以使裝置發生故障時即時被發現，在裝置出現異樣的當下就及時處理，便能避免情況繼續惡化，延長裝置的使用壽命，發揮應有的功能，就能避免資源的浪費。

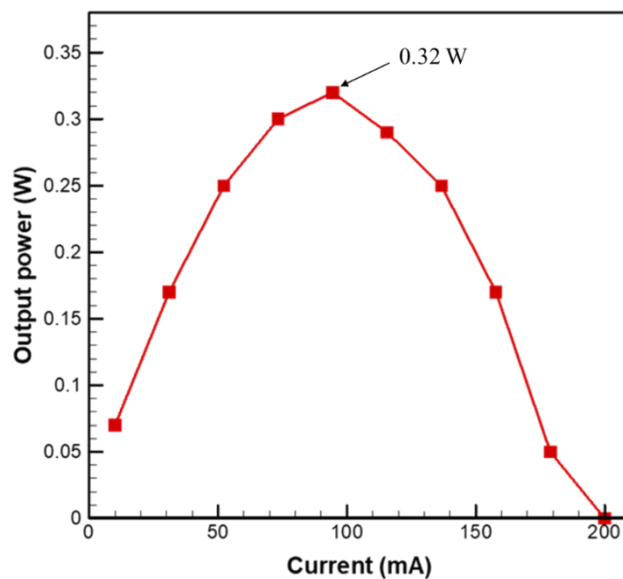
圖六為本團隊的作品架構圖，說明如何將汽車鈹金高溫回收利用，也說明了和 TEG 和 ECU 的連結運用，其中包括 IoT 技術、汽車溫度傳感器及 APP 的運用。



圖六、實驗設計架構圖。

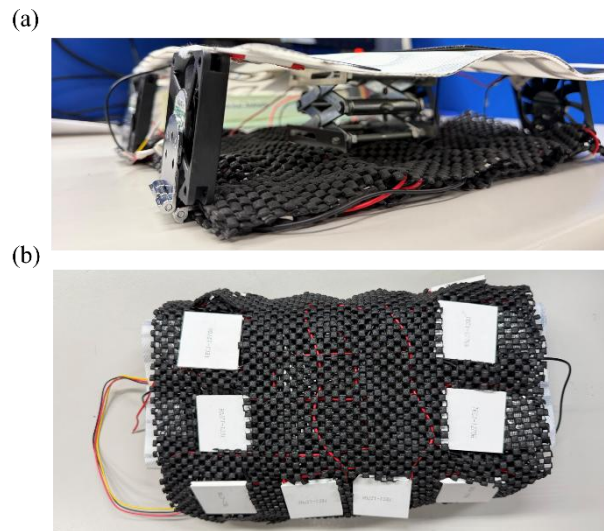
四、 創作特點與創意說明

本作品之創作核心為「可收納式車內降溫」與「太陽能-熱電雙能回收」整合設計。其主要目的並非取代車用冷氣，而是在車輛停放曝曬期間，先降低車內熱累積，使駕駛重新啟動車輛時，冷氣系統不需長時間以高負載運轉，進而達到節能與減碳效果。根據熱電晶片模擬結果(圖七)，當 TEG 熱端溫度維持於 70 °C 且冷端溫度為 25 °C 時，單個 TEG 所產出的最大功率為 0.32 W，顯示車頂鈹金溫差具備熱電能量回收之潛力。因此，本作品進一步將熱電回收概念整合至車頂降溫模組中，作為系統輔助供電與能源回收之設計基礎。



圖七、輸出功率分布圖。

如圖八所示，本作品採用可收納式結構設計，系統可依車頂曲面進行貼合，並可於非使用狀態下捲曲收納，降低攜帶與存放空間需求。相較於傳統固定式車頂散熱裝置，本系統具有安裝彈性高、收納便利與適用於不同車型表面的優點。



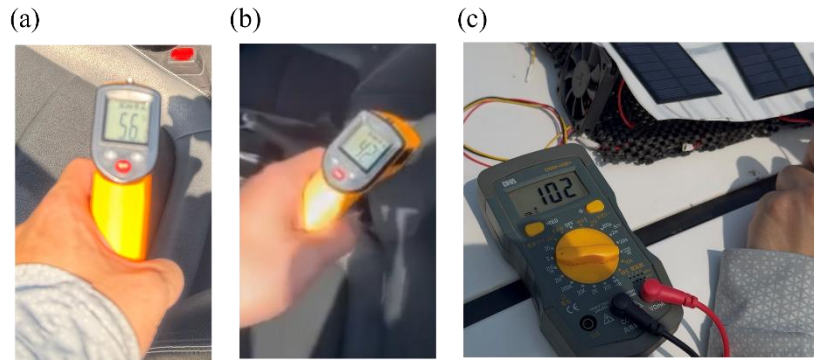
圖八、(a)模型實體展開圖與(b)收納圖。

此外，系統上層配置太陽能板，作為風扇主要供電來源；中間則透過可調式支撐結構撐起空氣流道，使風扇能在模組內部形成強制對流。透過此設計，車頂累積的熱量可被空氣流動帶走，進一步降低熱量傳入車室的程度。系統底部則配置 TEG 熱電模組，利用車頂熱端與模組冷端之溫差產生電壓，達到熱電能量回收之目的。本系統安裝位置如圖九所示。



圖九、模組安裝位置。

場域測試結果(圖十)顯示，車內溫度由降溫前約 56°C 降至降溫後約 42°C ，降溫幅度達 14°C ，證明本系統可有效降低車內熱累積。同時，TEG 模組於實測中量測到 102 mV 的開路電壓，顯示車頂溫差確實具備轉換為電能之可行性。



圖十、(a) 降溫前溫度、(b) 降溫後溫度與 (c) TEG 開路電壓量測結果。

綜合上述，本作品之創意特點包括：第一，將車頂太陽熱由「**熱負荷**」轉化為**可管理與可回收的能源**；第二，透過太陽能驅動風扇形成**主動對流降溫**；第三，利用 TEG 驗證**車頂溫差發電可行性**；第四，採用**可收納式結構**提升車用便利性；第五，結合 IoT 監控與電力管理，使系統具備**智慧化**與後續**產品化**潛力。

五、 作品應用範圍及發展潛能

本作品主要應用於車輛停放曝曬情境，特別適合台灣**夏季高溫、戶外停車場、校園停車區、露天工作場域、共享車輛與長時間停放車輛使用**。車輛於戶外停放時，車頂鈹金與車室內裝會吸收大量太陽輻射，導致車內溫度快速上升，進而增加重新啟動車輛時冷氣系統的降溫負荷。本系統可於**車輛停放期間主動降低車內熱累積**，因此具有車用節能與氣候變遷調適之應用價值。

在應用對象方面，本系統可用於一般燃油車與電動車。對燃油車而言，降低車內初始溫度可**減少冷氣啟動初期的引擎負載與燃油消耗**；對電動車而言，則可**降低空調系統對電池電量的消耗**，有助於提升續航表現。此外，**如圖十一**所示，本作品亦可導入露天停車場、租賃車、共享車、物流車、校園公務車與長時間停放之車隊管理場域。若以多車規模使用，單一車輛的節能效益可進一步放大，形成停車場或車隊層級的減碳效益。

本研究所使用的各項零件與材料價錢列在**表三**，而建置一組散熱系統的總成本約新台幣**2,291**元，屬於低成本原型設計。若以單次預估省電**0.75 kWh**、每日使用一次，並以電力排碳係數**0.474 kg CO₂-eq/kWh**估算，則年節電量約為**273.75 kWh**，年減碳效益約為**129.8 kg CO₂-eq**。若以外購綠電等效價值6.3元/kWh估算，年節省電力價值約為**1,724.63元**；再納入碳費300元/ton CO₂-eq，年碳費減免效益約為**38.94元**。因此，合併節電效益與碳費減免後，總年效益約為**1,763.57元**，系統簡單回收年限約為**1.30年即可回本**。

$$(1) 0.75 \times 365 = 273.75 \text{ kWh/年} \quad \text{式一}$$

$$(2) 273.75 \times 0.474 = 129.8 \text{ kg CO}_2\text{-eq/年} \quad \text{式二}$$

$$(3) 273.75 \times 6.3 = 1724.63 \text{ 元/年} \quad \text{式三}$$

$$(4) 129.8 \div 1000 \times 300 = 38.94 \text{ 元/年} \quad \text{式四}$$

$$(5) 1724.63 + 38.94 = 1763.57 \text{ 元/年} \quad \text{式五}$$

$$(6) 2291 \div 1763.57 = 1.30 \text{ 年} \quad \text{式六}$$

此結果顯示，本作品不僅具有降溫效果，也具備一定的節能減碳潛力。未來發展方面，本系統可朝向**輕量化、耐候化、智慧化與商業化**四個方向持續優化。首先，可導入輕質節能材料、或隔熱塗層，以提升散熱效果並降低裝置重量。其次，可**加強抗風固定、防塵、防水**

與防盜結構，使產品更適合戶外長時間使用。第三，可整合 IoT 防盜系統與車內環境監控，使獲得的電力優先應用於車內安全與溫度管理。最後，本作品除可作為消費者端產品外，也具備與停車場、車商或車隊管理公司合作之 **B2B 商業化潛力**。



圖十一、本系統發展潛能。

表三、各項零件與材料的價錢。

品項	價錢(元) × 數量
熱電晶片/太陽能板	125 × 16 = 2000
散熱鰭片	111 × 1 = 111
風扇	20 × 4 = 80
其他耗材	100
總成本	2291

六、 工作分配

本團隊依照作品開發流程進行分工，工作內容包含主題發想、資料蒐集、系統設計、材料購置、模型製作、場域測試、數據整理、海報設計與現場展示規劃。整體開發流程由前期構想與問題定義開始，接續進行材料選擇與系統製作，最後完成實際測試、數據分析與競賽展示準備。

表四、團隊工作分配表。

成員	工作內容
葉書亞	負責實體模型組裝、影片拍攝、材料選用、實驗測試、海報與企畫書，成果報告書內容撰寫、簡報口條整理。
邱慶哲	負責實體模型組裝、實驗測試、材料選用、影片拍攝、海報內容撰寫，以及影片製作。
李仲民	負責作品整體構想規劃、系統結構設計、可收納機構製作、風扇與太陽能板配置、數據整理、企畫書內容撰寫、實驗測試。
全體成員	競賽現場展示規劃與問答準備。

如表四所示，本團隊分工包含系統設計、實體製作、實驗測試、數據分析與展示規劃等項目。透過分工合作，可使作品由概念發想逐步落實為可展示、可操作且具有實測數據支持之原型系統。

七、其他

為提升評審對作品運作原理之理解，競賽現場將準備實體模型、照明燈、溫度計、散熱風扇與量測儀器。如圖十二所示，現場展示可利用加熱器或照明燈模擬太陽熱源，並透過溫度計與電表展示系統降溫、風扇對流與 TEG 開路電壓量測結果。



圖十二、AI 繪製競賽現場展示配置示意圖。

此外，團隊將搭配 A3 效益說明板，標示降溫幅度、TEG 開路電壓、建置成本與預估節能減碳效益，使評審能快速掌握作品特色。團隊亦將準備 3 分鐘展示影片，內容包含作品安裝方式、可收納展示、車頂實測畫面、溫度變化、風扇運轉與 TEG 電壓量測結果，以補足現場展示時間有限與戶外日照條件不穩定的問題。

參考文獻

- [1] X. Ding *et al.*, "Effect of Open-Window Gaps on the Thermal Environment inside Vehicles Exposed to Solar Radiation," *Energies*, vol. 15, no. 17, p. 6411, 2022.
- [2] D.-h. Kim *et al.*, "Design and performance analyses of thermoelectric coolers and power generators for automobiles," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 51, p. 101955, 2022/06/01/ 2022.
- [3] A. Sunawar, I. Garniwa, and C. Hudaya, "The characteristics of heat inside a parked car as energy source for thermoelectric generators," *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 10, 07/01 2019.
- [4] B. Orr, A. Akbarzadeh, and P. Lappas, "An exhaust heat recovery system utilising thermoelectric generators and heat pipes," *Applied Thermal Engineering*, vol. 126, pp. 1185-1190, 2017/11/05/ 2017.
- [5] "Experimental Study of Interior Temperature Distribution Inside Parked Automobile Cabin," *Journal of Engineering*, vol. 21, no. 03, pp. 1-10, 03/01 2015.
- [6] J. Zhu, S. Easa, and K. Gao, "Merging control strategies of connected and autonomous vehicles at freeway on-ramps: a comprehensive review (Journal's Best Paper Award)," *Journal of Intelligent and Connected Vehicles*, vol. 5, 04/11 2022.
- [7] W.-H. Chen, W.-C. Bai, D. Luo, A. A. Bandala, X.-D. Wang, and A. Tuan Hoang, "Optimization of material properties and performance of flexible thermoelectric generators with/without graphene," *Energy Conversion and Management: X*, vol. 24, p. 100741, 2024/10/01/ 2024.
- [8] S. Mahmoud Al Shurafa, F. Basim Ismail, H. A. Kazem, T. Ee Sann, and T. Abdel Hameed Almajali, "Enhancing Photovoltaic-Thermoelectric Generator (PV-TEG) system performance via mathematical modeling and advanced thermal interface material: An emphasis on Pyrolytic graphite Sheet (PGS)," *Solar Energy*, vol. 273, p. 112514, 2024/05/01/ 2024.