



太陽能車於國內太陽能環境下 之行車耗能分析

國立成功大學能源國際學士學位學程學生 / 陳仕修

國立成功大學能源國際學士學位學程學生 / 劉陶宜

國立成功大學航空太空工程系教授 / 張克勤

關鍵字：太陽能車、太陽能應用、日射量

摘要

太陽能電動車可以對取代化石能源及降低二氧化碳做出貢獻，現今國際上有些車廠開始推出結合太陽能充電的車款以因應這個趨勢。本研究選擇一個賽車型太陽能電動車（Nuna 6）為測試載具，在太陽能較豐沛的南台灣（台南市成功大學至屏東墾丁國家公園，約150公里長）沿海公路以平均時速60公里加上於終點停留1小時之來回行程為模擬分析路段。模擬結果顯示，一年中有半年（4-9月）太陽能可提供所需之行車動力能量；其他月份須由所配置電瓶支應不足之太陽能以維持行車動力。以陽光最不豐沛之12月而言，太陽能亦能提供所需動力之49.4%。

一、前言

人類自18世紀中期第一次工業革命後，開始大量使用化石能源，排放出大量二氧化

碳於大氣中。進入21世紀以後，全球氣候變遷與溫室效應加劇了對地球環境的影響；此外，石油的地下儲藏量有限，估計人類對石油的開採量到21世紀初開採量將達到頂峰，此後由於供給無法滿足需求，石油價格將逐步高漲。有鑑於此，世界各國無不致力於發展前瞻性能源技術及推動綠能產業，以有效減少溫室氣體排放，期能使能源安全及環境保護永續發展。這其中使用再生能源藉以取代化石能源為世界各國最為努力推動方向之一。

在能源使用的三大類別：住商、工業及運輸，其中之運輸能源中，目前科技可應用至運輸系統中之潔淨能源車輛者，包括生質燃料、氫能與燃料電池、及電動車輛為較可行項目。相較於這三個應用於潔淨能源車輛之能源技術中，電動車之推動較為成功，不



過現階段電動車大部分採用定點充電，電力來源仍以傳統火力/核能發電為主，不能算是真正的綠能。若能在車輛行進中自行將再生能源(主要是太陽能)轉換成所需之電能，甚至達成自給自足，勢必可以對取代化石能源及降低二氧化碳做出長足貢獻。

太陽能電動車(以下簡稱太陽能車)已發展了二、三十年，大部分仍停留在賽車階段；近些年國際上有些車廠推出可以太陽能充電的車款，例如德國的Sono Motor，韓國的現代等，到底這些搭配太陽能使用的車子可利用太陽能的效能中，在該款車所耗總能量的比例有多少？是一般人所好奇之處，也是本研究所想釐清的問題。此外一般車種和賽車的設計理念不同：賽車是以高太陽能使用率、高速行駛為主；而一般車輛是以舒適、美觀為主。由於太陽能賽車發展多年，詳細車輛資訊較完整及易取得，同時其動力設計是以太陽能供應為主、輔以電瓶，可視為太陽能車利用太陽能為其動力之理想上限，因此在本文中將以台灣的太陽能環境評估賽車級的太陽車，看能否達到百分之百由太陽能提供其行進所需之動力。

二、國內的太陽能環境

台灣橫跨北回歸線，位處亞熱帶地區，相對中高緯度地區有較豐沛之太陽能。Rene [1]根據張克勤等人整理2004-2013年間位處台灣本島24個二等至四等有逐日量測日射量(global solar radiation)氣象站之經典氣象年(Typical Meteorological Year, TMY)日射量資料[2]，以殘差式克利金法(Residual Kriging method) [3]來內差台灣本島內

(經、緯度每0.1度之間隔分布)1至12月之每月累積日射量分佈。表一摘錄Rene [1]所得台灣本島在六月之經典氣象月(Typical Meteorological Month, TMM)平均日射量分佈情形為例，由表一之日射量分佈可看出愈往南部(緯度愈低)，平均日射量愈高，亦即陽光愈豐沛。這個趨勢除了七、八月(此時本島東北部平均日射量相對較高，詳見參考文獻[1])之外，其餘月份皆有相同趨勢；類似推論亦可由文獻[2]之月平均每天日射量(參見[2]文內之表5)看出。因此本研究選定南部區域進行太陽車行車模擬分析。

三、行車路線規劃

行車路線選擇台南市成功大學(22°59'N, 120°13'E)為起點，終點為屏東縣墾丁國家公園(21°51'N, 120°40'E)，如圖1所示；到達終點後停車1小時，再經由原路開回起點，總車程共約300公里；表1粗黑框處即為本次行車路線經過的範圍。



圖1 路徑規畫(由成功大學至墾丁國家公園)



表 1 台灣各地六月的平均輻射量表 [1]

Location	120.1	120.2	120.3	120.4	120.5	120.6	120.7	120.8	120.9	121.0	121.1	121.2	121.3	121.4	121.5	121.7	121.8	121.9	122.0
25.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	390.9	389.6	393.4	N/A	N/A	N/A
25.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	397.5	394.8	392.5	393.7	398.1	403.3	410.1	N/A
25.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	404.6	401.6	399.2	397.4	397.0	399.5	404.7	410.8	417.6	423.7
24.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	406.3	403.7	402.3	401.7	403.1	406.9	412.4	419.0	425.6	N/A
24.8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	411.9	408.6	407.3	406.7	407.4	410.1	414.6	420.5	427.3	433.2	N/A
24.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	415.1	412.9	411.9	412.0	413.6	417.2	422.1	428.1	434.5	438.3	N/A
24.6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	424.2	421.6	418.9	417.2	416.8	417.6	420.0	424.2	429.2	434.7	439.5	442.7	N/A
24.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	428.1	425.2	422.8	421.6	421.8	423.3	426.2	430.7	435.5	440.3	444.4	447.8	N/A
24.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	434.8	431.6	428.4	426.4	425.9	426.7	428.9	432.2	436.7	441.3	445.7	449.7	N/A	N/A
24.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	438.5	433.8	430.9	429.8	430.1	431.6	434.3	437.8	442.4	446.9	451.2	455.3	N/A	N/A
24.2	N/A	N/A	N/A	N/A	443.1	439.1	434.9	433.4	433.2	434.3	436.4	439.4	443.2	447.9	452.4	457.0	N/A	N/A	N/A
24.1	N/A	N/A	N/A	443.3	442.1	438.9	436.5	436.1	436.8	438.5	441.1	444.5	448.4	453.4	458.1	462.9	N/A	N/A	N/A
24.0	N/A	N/A	N/A	443.2	441.6	439.5	438.6	439.0	440.4	442.7	445.7	449.3	453.6	458.8	463.9	469.1	N/A	N/A	N/A
23.9	N/A	N/A	443.9	443.1	441.7	440.7	440.8	442.1	444.2	447.0	450.2	454.1	458.6	464.2	469.5	N/A	N/A	N/A	N/A
23.8	N/A	N/A	444.2	443.2	442.3	442.2	443.4	445.6	448.3	451.2	454.5	458.7	463.6	469.5	474.5	N/A	N/A	N/A	N/A
23.7	N/A	445.1	444.4	443.6	443.1	444.0	446.5	449.5	452.5	455.2	458.6	463.3	468.7	474.6	479.2	N/A	N/A	N/A	N/A
23.6	N/A	445.7	444.9	444.1	444.3	446.6	450.2	453.9	456.5	458.5	462.7	468.3	473.9	479.7	484.1	N/A	N/A	N/A	N/A
23.5	N/A	446.5	445.7	444.9	446.8	450.3	454.8	459.2	459.6	462.3	468.3	474.2	479.9	485.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
23.4	N/A	447.7	447.1	447.6	450.5	454.3	458.7	461.4	463.4	468.2	474.1	479.9	485.4	490.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
23.3	N/A	449.4	449.5	451.2	454.3	458.2	462.1	465.2	469.0	474.2	480.0	485.7	491.1	496.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
23.2	417.3	451.5	452.3	454.8	458.3	462.1	466.2	470.1	474.8	480.2	485.8	491.4	496.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
23.1	453.8	453.8	455.3	458.7	462.5	466.4	470.9	475.5	480.6	486.0	491.4	496.9	502.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
23.0	N/A	456.6	459.4	463.0	466.9	471.1	476.1	481.0	486.2	491.5	496.6	501.6	506.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
22.9	N/A	460.8	463.8	467.5	471.6	476.1	481.5	486.6	491.8	496.7	501.2	505.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
22.8	N/A	465.2	468.3	472.1	476.4	481.3	487.0	492.2	497.2	501.6	505.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
22.7	N/A	N/A	472.8	476.7	481.6	486.8	492.6	497.8	502.5	506.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
22.6	N/A	N/A	477.2	481.8	487.1	492.4	498.3	503.4	507.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
22.5	N/A	N/A	N/A	487.3	492.7	498.1	504.1	509.2	513.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
22.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	503.8	509.8	515.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
22.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	515.5	520.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
22.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	520.6	525.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
22.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	525.0	528.6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
22.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	528.8	530.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

車子在路面行進時主要會受到風阻 (F_w , wind resistance) 及滾動阻力 (F_r , rolling resistance) 兩大阻力，其估算式子如下：

$$F_w = \frac{1}{2} \rho A C_D V^2 \quad (1)$$

$$F_s = f_r N \quad (2)$$

由式(1)及(2)之兩個阻力即可估出擬測車輛行進時所需之動力。太陽能車之動力來自車頂所裝置之太陽光電板及配置之電瓶，而太陽光電板所接收的熱輻射量會隨著車子之



行進位置之當地日射量多寡而改變。本文所模擬之Nuna 6太陽能賽車依其網上公布資訊[4]，比賽時之平均車速可達88.6 km/hr，但因本研究考慮之行車是在沿海省道（台17和26號公路），省道上之最高速限為70 km/hr，在行經村、鎮時需降至50 km/hr，在本研究中則以平均車速60 km/hr來進行計算分析。行駛中每一分鐘依車行位置估算當時所在位置之日射量一次，在來回300公里之車程距離中，總共須配合行車位置估算360筆當時、當地之日射量資料。

本研究所採用之TMM日射量資訊[1]其經、緯度分佈精度是0.1度，但用於本文分析時這個解析度太過粗糙，須另行以二維（經、緯度）平面內插來提供精確之該位置之當時日射量值。

四、瞬時日射量之估算方法

本文之太陽能擷取方式是太陽能車沿行車路徑上每分鐘估算一次。而文獻[1]上之資料是TMM（每月累積日射量）且為經/緯度每0.1度上之分佈資料，因此沿著行車路線上移動之每分鐘位置（當時所在經/緯度及時間）上之日射量必須經由位置（經/緯度）及當時時間（以分鐘計）來內插得知。估算方式如下：

（一）日射量估算

文獻[1]提供之標準氣象月(TMM)之日射量為某地一個月之日平均值(H)，其位置精確度為經/緯度各0.1度，用於本文計算時過於粗糙。本文利用「反距離加權內插法」[5]以

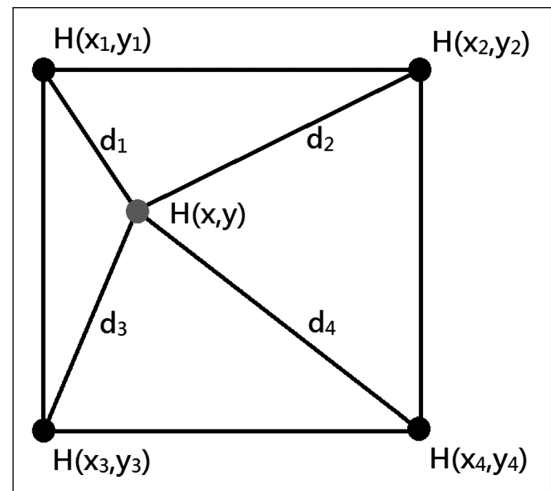


圖 2 反距離加權內插法

4個周遭已知日射量之點來內插其數據（如圖2所示），其估算方式如下：

$$H(x, y) = \sum_{i=1}^4 \lambda_i H(x_i, y_i) \quad (3)$$

其中

$$\lambda_i = \frac{\left(\frac{1}{d_i}\right)^2}{\sum_{i=1}^4 \left(\frac{1}{d_i}\right)^2} \quad (4)$$

在所規劃由成功大學至墾丁國家公園之行車路線中，有很大段路程是沿海公路（台17及26線公路）上行駛，位置非常靠近海邊導致要引用式(3)及(4)來內插時，有些周邊座標已超出文獻[1]之提供範圍（註：文獻[1]上之數據皆屬台灣本島陸地上座標）。為此我們以文獻[1]上所列且最接近沿海公路之經/緯度數據，由北向南（同一經度）以一元二次曲線（須使用同一經度上北面連續三個緯度之數據）外插式(3)所需用到之日射量資料。



表 2 文獻 [1] 上數據之外插範例 (以七月為例)

Location	120.1	120.2	120.3	120.4	120.5	120.6	120.7	120.8
23	N/A	513.99	515.92	518.65	520.15	521.2	523.41	527.82
22.9	N/A	515.62	517.31	519.79	521.6	523.32	526.37	531.27
22.8	N/A	517.51	519.18	521.35	523.27	525.45	529.07	534.28
22.7	N/A	519.67	521.25	523.14	525.06	527.51	531.48	536.82
22.6	N/A	522.09	523.39	524.92	526.82	529.46	533.6	538.92
22.5	N/A	N/A	525.6	526.52	528.5	531.24	535.44	540.6
22.4	N/A	N/A	N/A	527.9	530.1	532.86	537.03	541.95
22.3	N/A	N/A	N/A	N/A	531.6	534.3	538.4	543.11
22.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	535.6	539.6	544.15
22.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	536.7	540.66	545.08
22	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	541.64	545.96
21.9							542.6	546.8

表2為以文獻[1]中7月為例之外插結果，其中藍色部分為行進路徑範圍內文獻[1]所能提供數據，而黃色部分為外插數據。

time, LST)，其和當地時間 (local civil time, LCT) 是有些差異，將於下節中說明。

(二) 瞬時日射資訊

本文所使用文獻[1]所提供之日射量為每個經典氣象月的月平均每天日射量值(H)，但於計算時是由早上09:00至下午約15:00 (所需單趟車程近2.5小時)，且每分鐘計算其位置一次，因此所需要之每分鐘日射量 (I_{min}) 資料可由下列式子[5]估算：

(5)

$$I_{min} = \left(\frac{H}{2} \right) \left[\frac{\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_1 - \omega_2)}{180} \sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \omega_{sunset} + \frac{\pi}{180} \sin \phi \sin \delta \omega_{sunset}} \right] \left(\frac{T}{60} \right)$$

每月皆以該月15日之日射量隨時間變化情形來代表該月日射量之時間變化。圖3是依照式(5)計算之7月15日當天日平均和每分鐘日射量變化之關係圖。式(5)及圖3中所用之時間是當地太陽時間 (local solar

(三) 時間表示法

為了能汲取較多的太陽能，本次模擬的車行時間規劃在正午前日射量較豐沛的時段 (參見圖3)。LST是依太陽在一個時區 (time zone，東/西經每15°為一個時區；以英國的格林威治 (Greenwich) 為經度之0°點，往西為西經，往東為東經) 中的當地太陽高度角 (solar altitude angle) 而定，當 $\alpha_s = 0^\circ$ 為日出及日落時間，而 $\alpha = 90^\circ$ 為太陽正午 (solar noon)。而當地時間 (LST) 則為一般民眾熟悉的時間描述方式，一般依所處之時區而定，但亦有例外，如中國，在其境內不管跨越多少時區，皆統一使用中原標準時間 (東經之時區)。LST和LCT的換算公式[6]如下：

$$LST = LCT + 4(L_{std} - L_{local}) + E \text{ (in minute)} \quad (6)$$

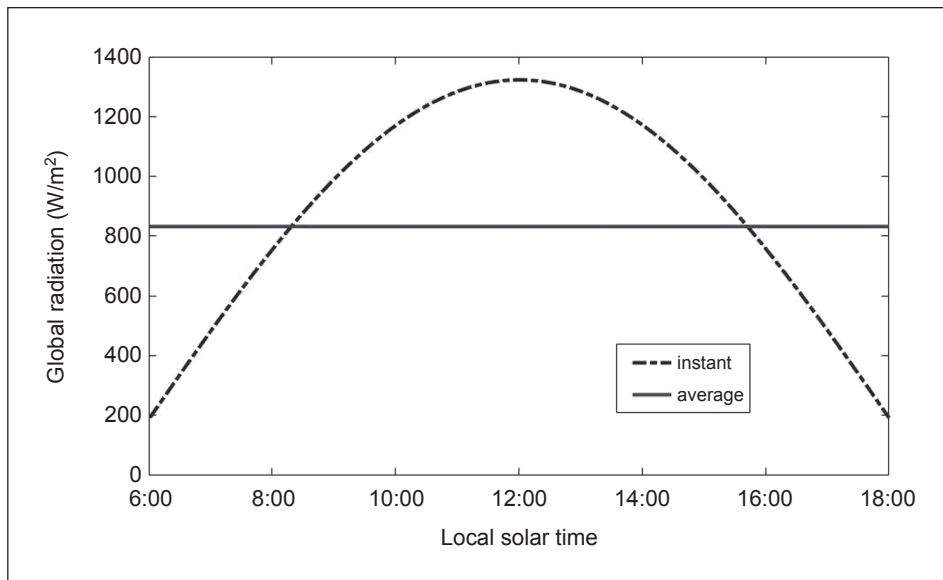


圖3 日平均和每分鐘日輻射量之關係圖（以7月15日為例）

五、結果與討論

（一）測試載具

荷蘭Nuon公司所開發的太陽能賽車Nuna 6（相片見圖4）[4]在多場太陽能車競賽中拿下佳績，且該公司在其網站有披露詳細之這款太陽車資料（整理於表3），因此選擇在本文中做為賽車型範例。

（二）載具行車耗能計算

依式(1)所示，風阻會隨車速的平方增加，本文假設太陽能賽車以60 km/hr在省道上行駛。一般小型轎車，推算其滾動阻力係數(f_r)為0.01 [7]，而風阻係數為0.4 [8]。藉由式(1)及(2)及表3資料可計算出Nuna 6之行車輸出功率約為39.0 kJ/min。

（三）吸收太陽日射量計算

由文獻[1]及式(3-5)之計算可分別求得12個經典月中沿著車行路徑時之瞬時日射量值，本文中僅擇其中4（春季），7（夏季），10（秋季），12（冬季）月之結果顯示於圖5，由圖5結果可看出夏天（7月）之日射量較冬天（12月）高出許多，春（4月）及秋（10月）天時之日射量介於其間，其在不同月所能接收之太陽日射量趨勢和圖5相似。

（四）車行中淨能量變化及電瓶電量儲存變化

考慮車輛在所規劃路徑行駛中，周遭日射環境不可能不受遮蔽影響，在此假設在行進途中會受到20%之遮蔭比率，再依第5.3節及表3之估算方式可得在每個經典月中自



圖 4 Nuna 6 賽車相片 [4]

表 3 Nuna 6 太陽能車輛數據 [4]

尺寸	車長：4.44 公尺 車寬：1.75 公尺 車高：0.94 公尺
車重	139 公斤
太陽能板面積	6 平方公尺
太陽能板轉換效率	22%*
電池	21 公斤鋰離子電池 (可儲存 3.36 度電 **)
滾動阻力	約一般車輛的 1/10
風阻	約一般車輛的 1/12

* 22% 的太陽能板轉換效率是目前人造衛星等級的高效能產品，價格相當高昂。

** 1 度電 = 1 kW-h = 3.6 MJ = 3600 kJ

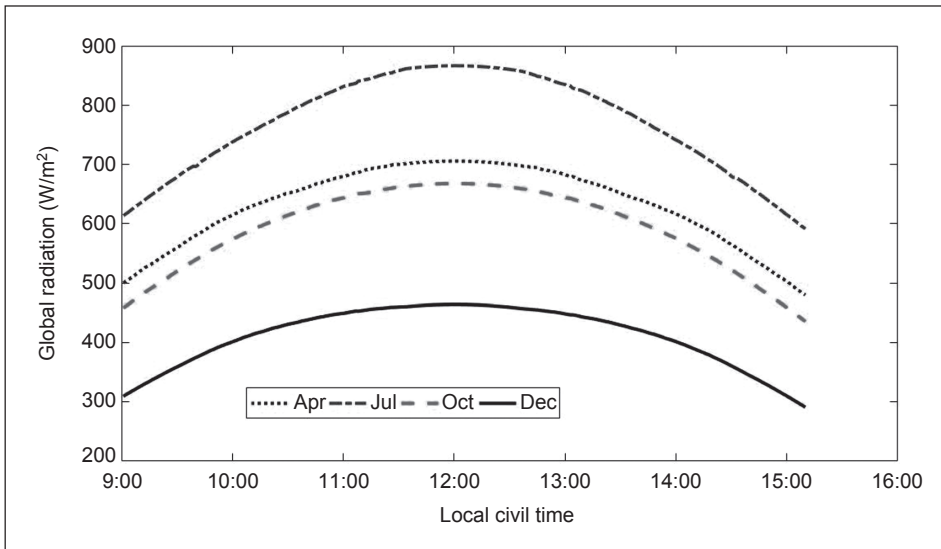


圖 5 車輛沿規劃路線行駛時，隨時間接收到的日射量分布 (本圖數據是依據台灣南部的緯度所計算)



起站至終站行駛中可接收之太陽日射量。由5.2節中估算Nuna 6所需之引擎輸出功率為39.0 kJ/min，將這功率乘上給予之一段時間（ Δt ，本文設為1分鐘）則可求得載具行進中當時所需付出的能量；另外再利用如圖5中之所能吸收太陽能在時段內積分，則可得載具在該時段內所能獲得之能量。二者相減則可求得該載具所需能量之淨變化情形，圖6表示Nuna 6載具在整段車程中之淨能量變化（以4、7、10、12月為例），由於本文假設車行至終點時停車休息1小時，在停車時無動力輸出，故載具淨能量曲線會於太陽正午前後共1小時出現一個向上突起之變化。其在不同月所能接收之太陽日射量趨勢和圖5相似。

另外再利用圖6中之瞬時（每分鐘）淨

能量積分則可計算電瓶儲電量隨時間變化量（如圖7所示）；表4則紀錄整年（1至12月）中各月進行此段規劃車程之累計淨能量。考慮太陽能日射量在本研究所設定行車時間範圍內會先隨時間增高，至越過太陽正午後開始下降（見圖3），為使所配置電瓶有機會於高日射量行駛時盡量蓄電，本研究假設出發時電瓶蓄電量為60%。圖7呈現Nuna 6在4、7、10及12月的電瓶儲電量隨車行時間變化圖，可看出電瓶儲電量在車程初期因所能吸收之太陽能不足以供應動力輸出而下降，隨著時間移向中午陽光較強時，電瓶儲電量下降變緩，甚至有多餘的太陽能可供電瓶充電，如4、7、10月，但不論哪一個月行駛，皆需有電瓶支援，否則初期無法啟動。圖7結果顯示就7月之太陽能反充電而言，電瓶儲存量幾近100%，不至於造成浪費；4月之太陽

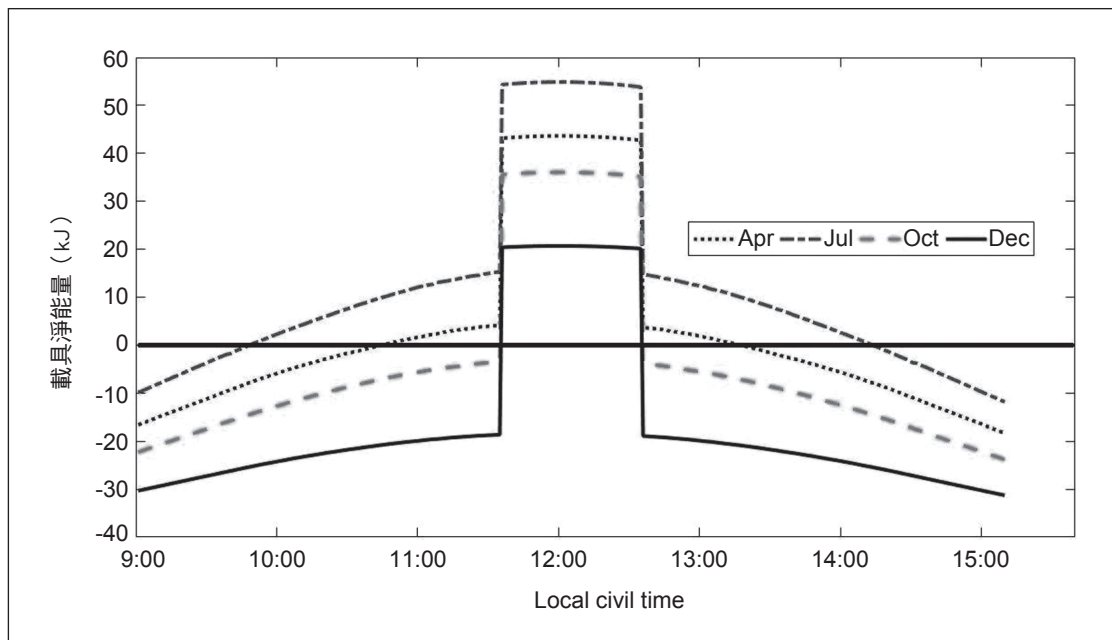


圖6 行程中 Nuna6 的瞬時（每分鐘）淨能量隨時間變化情形（本圖數據是依據台灣南部的緯度所計算）

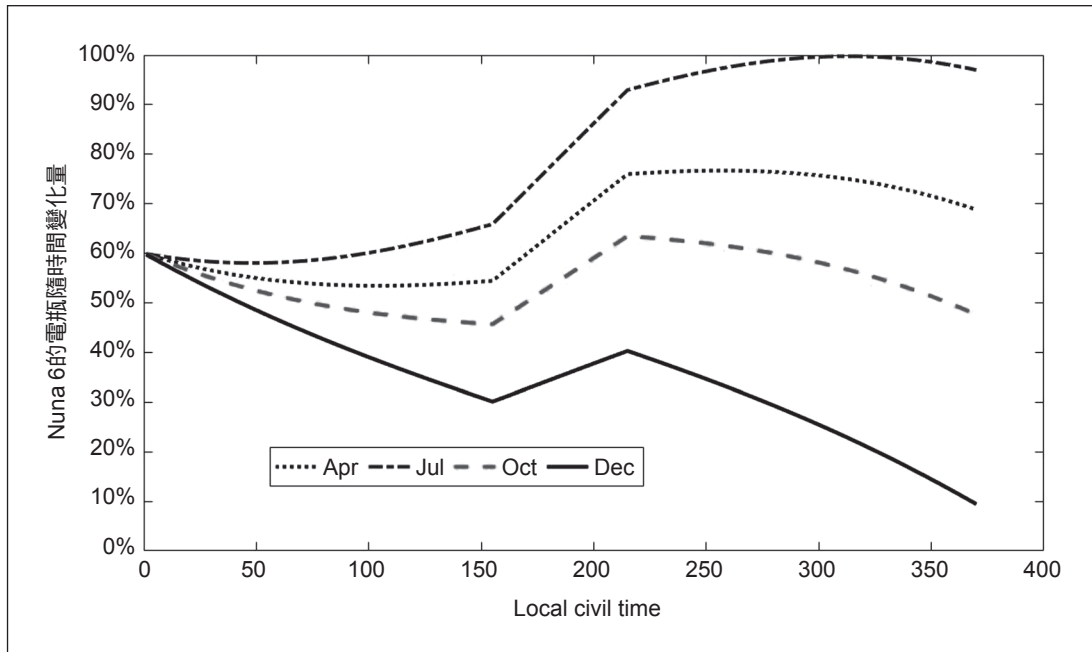


圖 7 行程中 Nuna6 的電瓶儲電量隨時間變化情形 (本圖數據是依據台灣南部的緯度所計算)

能亦能於結束規畫行程時，電瓶儲電量高於起始之60%給定值。但10和12月須耗用部分電瓶電力才能完成規畫行程。

對Nuna 6車而言，表4結果顯示一年中除1-3和10-12月之外，該載具所安裝之光電板皆能提供足夠淨能量（亦即正值）完成車程，其餘月份須由電瓶儲存電力支援。

在此另定義太陽分率（solar fraction, f ）如下：

$$f = \frac{\text{所吸收且實際運用於行車動力之太陽能}}{\text{行車動力所需能量}} \quad (7)$$

依照這個定義， f 之最大值僅到1.0；多餘所吸收之太陽能可用來供電瓶充電之用，唯因電瓶之儲量不能超過其滿載能力（Nuna 6: 3.36 kWh = 12.096 MJ），超過這值之多餘

表 4 Nuna 6 在每個月完成行程之淨能量與太陽能分率數據 (本表數據是依據台灣南部的緯度所計算)

月份	累積淨能量 (MJ)	太陽能分率
1	-5.73	0.53
2	-4.79	0.60
3	-2.07	0.83
4	1.07	1.00
5	3.28	1.00
6	3.62	1.00
7	4.48	1.00
8	1.85	1.00
9	2.06	1.00
10	-1.49	0.88
11	-4.90	0.59
12	-6.12	0.49

光電板電力皆無法吸收再利用。為避免發生此情況，本研究因此假設初始電瓶蓄存量為



60%，以滿足7月（最佳日照月份，見表4）之狀況，如圖7所示。依據各月所計算得知f值亦登錄於表4。從表中看出，Nuna 6車之太陽能分率在4-9月，皆可達1.0，最低值（ $f = 0.494$ ）出現在12月，表示須由電瓶的儲存電力提供50.6%（ $= 1.0 - 0.494$ ）所需完成此規劃旅程之動力。

對近些年國際上有些車廠如德國Sono Motor推出的Sion車[9]、韓國現代推出的Sonata Hybrid車[10]等號稱結合太陽能之商用車（整理於表5）而言，因一般商用車輛是以舒適、美觀為主，其外觀、尺寸、重量和太陽能賽車有相當差距，就表3中Nuna 6所發表之阻力數據粗估，商用車子之滾動阻力和風阻皆約為Nuna 6之十倍以上，因此可據此粗估Sion和Sonata Hybrid所需之行車動力在Nuna 6的十倍以上；將之代入式7中，其所計算出之太陽能分率要比表4（Nuna 6）中之太陽能分率小一個數量級。由此可推論出目前國際上所推出所謂結合太陽能商用車，其能由太陽能所能提供之行車動力貢獻是極為有限的。

六、結論

太陽能電動車已發展了二、三十年，現今國際上已有些車廠開始推出結合太陽光電充電之車款。本研究選擇一個賽車型太陽能電動車（Nuna 6）為測試載具，以太陽能較豐沛的南台灣（台南市成功大學至屏東墾丁國家公園，約150公里長）沿海公路來回行程為測試路段，平均車速以60 km/hr以及行車時間在09:00至15:00間來計算分析。結果顯示對Nuna 6車型而言，一年中有半年（4-9

表 5 Sino Sonata Hybrid 太陽能車輛數據 [9, 10]

	Sion	Sonata Hybrid
尺寸	車長：4.11 公尺 車寬：1.79 公尺 車高：1.68 公尺	車長：4.85 公尺 車寬：1.86 公尺 車高：1.47 公尺
車重	1601 公斤	1400 公斤
車種	電動車	油電混合車
滾動阻力	150 N	171 N
風阻	180 N	163 N

月），太陽能可提供所需之行車動力能量；在陽光最不豐沛之12月，太陽能分率亦可達0.494。但不論是一年中的哪一個月，皆須配置電瓶方可在陽光尚不足以支應行車動力需求之時段提供動力，維持車子之行進。

符號說明

A：車輛迎風面積（ m^2 ）

C_D ：風阻係數

d：行進點與參考位置的距離

E：式(6)之修正項（參見[6]）

F_w ：風阻

F_r ：滾動阻力

f：太陽能分率

f_r ：滾動阻力係數

H：某地一個月日射量之每天平均值

I：某地每分鐘日射量

L_{std} = 所在時區中線的經度

L_{local} = 所在地的經度

LCT：當地時間

LST：當地太陽時間

N：車重（kg）

T：當天日照時間長度（秒）

V：車速（km/hr）

α_s ：太陽高度角（solar altitude angle），單位



為度

δ : 當天太陽傾斜角 (declination angle), 單位為度

λ_i : 權重

ρ : 空氣密度 ($=1.23 \text{ kg/m}^3$)

ϕ : 當地緯度

ω_1, ω_2 : 當時時角 (hour angle), 單位為度

ω_{sunset} : 日落當時時角 (sunset hour angle), 單位為度

參考文獻

1. J. F. Rene. "Modeling of the global solar radiation distribution in Taiwan using residual Kriging method", 國立成功大學航空太空研究所碩士論文, 台南, 台灣, 106 年。
2. 張克勤、嚴偉倫、劉家維, 「國內 2004-2013 年間經典氣象年之日射量調查分析」, 台灣能源期刊, 第三卷, 第一期, 1-13 頁, 105 年。
3. J. Tovar-Pescador, H. Alsamamra, J. A. Ruiz-Arias, and D. Pozo-Va. "A comparative study of ordinary and residual Kriging techniques for mapping global solar radiation over southern Spain", *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 149, pp. 1343-1357, 2009.
4. <https://www.vattenfallsolarteam.com/legacy/nuna6/>
5. <https://gisgeography.com/inverse-distance-weighting-idw-interpolation/>.
6. P. A. Duffie and W. A. Beckman. "Solar Engineering of Thermal Processes", 4th ed., Chaps. 1 and 2, John Wiley, 2013.
7. Tires and Passenger Vehicle Fuel Economy, Chap. 3, Transportation Research Board, Washington, D. C., U. S. A., 2006.
8. 「貨車導風板對風阻及油耗之影響」, 工業研究院研究成果, 車輛能源效率評估與提升研究計畫, 90 年, https://auto.itri.org.tw/research/DOC/menu5_2_3.pdf, p.8.
9. <https://sonomotors.com/sion.html/>
10. <https://www.motor1.com/news/361071/2020-hyundai-sonata-hybrid-revealed/>