

東 海 大 學

工業工程與經營資訊學系

碩士論文

電動載具電池交換站設置數量及  
選址最佳化之研究

研 究 生：林哲楷

指導教授：翁紹仁 教授

中 華 民 國 一 〇 五 年 五 月

# **Optimal Resource Allocation Decision on the Number and Location of Electric Car Battery Exchange Stations**

By  
Jhe-Kai Lin

Advisor : Prof. Shao-Jen Weng

A Thesis  
Submitted to the Institute of Industrial Engineering and Enterprise  
Information at Tunghai University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science  
in  
Industrial Engineering and Enterprise Information

May 2016  
Taichung, Taiwan

# 電動載具電池交換站設置數量及選址最佳化之研究

學生：林哲楷

指導教授：翁紹仁 教授

東海大學工業工程與經營資訊學系

## 摘 要

因綠色交通崛起，電動載具近年來在全球各大都會區受到積極地推廣，但電動載具的缺點是充電慢、行駛距離相較於汽油機車短，而需要較長的時間充電。電池交換站是預先將電池充滿電，將能避免等待電池充電的時間，直接進行電池的交換，因此完善規畫電池交換站的設置位置與數量將影響整體系統的使用狀況。本研究以模擬東海大學為場域，建置電動載具電池交換站系統，考慮電池交換站的設置位置、設置數量與行駛中無電量之電動載具數量等決策變數，利用系統模擬最佳化求解綠色交通系統電池交換站的問題，達到最佳的資源配置。本研究的結果為在東海大學的 ST 大樓、教堂、乳品小站與音美館設置電池交換站，電池交換站設置數量為 4 個，其平均電池交換站使用率達 73%，而行駛中無電量之電動載具為 5 輛，此為最佳的資源配置。

**關鍵字：**系統模擬、綠色交通、電動載具、電池交換站

# Optimal Resource Allocation Decision on the Number and Location of Electric Car Battery Exchange Stations

Student : Jhe-Kai Lin

Advisor : Prof. Shao-Jen Weng

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information  
Tunghai University

## ABSTRACT

There are many cities around the world build a bike rental system in order to provide the public and tourists to use as a short-haul journey. The main problem is the design of the bike rental station and batter charge station allocation problems. Therefore, the better system planning will affect the overall system efficiency and cost issues. Our study is going to simulate Tunghai University building electric bicycle rental system, regardless of the number of variables and set the location decision-campus battery exchange stations. The study will use the system simulation method to solve the number and location of green transportation system's battery exchange station of multi-objective optimization problem, to reduce the unnecessary cost of setting the electric bicycle battery exchange stations.

**Keywords:** Simulation, Green Transportation, Electric Bicycle, Battery Exchange Stations

## 致謝詞

論文能順利的完成，首先要感謝我的指導教授翁紹仁老師，老師給予我非常大的啟發，讓我選擇各自有興趣的領域做研究，並從旁提供寶貴的意見與協助。很感謝老師不只提供課本上的知識，更多的是給予我們許多待人處世的經驗，老師並會提醒我健康的重要，因此老師會在下課後，約我們打球，使我的身體與心靈都達到最佳的狀態。

在 2 年的研究生活，感謝 ODSRTEAM 朋友們的照顧與幫助，同屆的吳唯銘同學與陳宏勳同學這一路上的幫助與支持。而在課程上受周鈺傑和朱昱正的幫助，在此特別地感謝所有人。

另外，在論文口試中，承蒙吳信宏老師、徐永煜老師與邱銘傳老師對本論文提供研究方向的建議，並指出本研究之缺失以及仍須改善之處，使本論文能夠更加嚴謹與完善，謹此表達我的敬意與謝忱。

最後，謹將此論文獻給我最親愛的父親與母親，在這麼多年的求學過程中，有了你們生活上的支持與精神上的鼓勵，方使我無後顧之憂，順利完成學業，深深感謝你們的支持。

林哲楷 謹誌於  
東海大學工業工程與經營資訊學系  
中華民國一〇五年六月

# 目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
致謝詞.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	v
圖目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	4
1.3 研究架構與流程.....	5
第二章 文獻探討.....	6
2.1 電動載具.....	7
2.2 公共租賃系統之資源配置.....	8
第三章 研究方法.....	14
3.1 研究對象介紹.....	14
3.2 系統模擬最佳化的架構.....	17
3.3 問題定義及假設.....	18
3.4 系統模組模型建構參數、變數與邏輯說明.....	22
第四章 研究結果及分析.....	34
4.1 Optimization Model 架構.....	34
4.2 策略分析.....	41
4.3 策略最佳化搜尋過程.....	43
4.4 策略分析綜合比較.....	51
第五章 結論與建議.....	54
5.1 結論.....	54
5.2 未來研究建議.....	56
參考文獻.....	57

## 表目錄

表 1.1 全台灣公共自行車租賃站數量與自行車數量.....	1
表 3.1 各景點間之距離.....	15
表 3.2 電動載具、電池容量規格及電池交換站資訊.....	15
表 3.3 電動載具電池交換站系統的全球性變數(Global Variable).....	26
表 3.4 景點與景點之間坡度關係.....	29
表 3.5 景點與景點之間的電動載具電池電量之消耗.....	30
表 3.6 電動載具電池交換站系統之設置位置與數量可行性組合.....	33
表 4.1 最佳化搜尋過程.....	38
表 4.2 策略一的電池交換站設置地點.....	44
表 4.3 策略二的電池交換站設置地點.....	46
表 4.4 策略三的電池交換站設置地點.....	48
表 4.5 策略四的電池交換站設置地點.....	50
表 4.6 策略綜合分析比較.....	51

## 圖目錄

圖 1.1 經銷商通路，壁掛式充電.....	2
圖 1.2 智慧型充電站.....	2
圖 1.3 全台灣電動車的充電設施分布.....	3
圖 1.4 研究架構與流程.....	6
圖 2.1 系統模擬建構順序.....	12
圖 3.1 東海大學地圖.....	16
圖 3.2 研究方法及架構.....	17
圖 3.3 電池交換站之可行性組合例子.....	18
圖 3.4 東海大學 10 個景點分佈.....	19
圖 3.5 電動載具電池交換站系統.....	25
圖 4.1 決策變數設置 資料來源：本研究整理.....	36
圖 4.2 限制條件.....	37
圖 4.3 目標設置.....	37
圖 4.4 最佳化搜尋過程.....	39
圖 4.5 最佳化結果-電池交換站設置位置.....	40
圖 4.6 策略一的最佳化搜尋過程.....	43
圖 4.7 策略一最佳化結果-電池交換站設置位置.....	44
圖 4.8 策略二的最佳化搜尋過程.....	45
圖 4.9 策略二最佳化結果-電池交換站設置位置.....	46
圖 4.10 策略三的最佳化搜尋過程.....	47
圖 4.11 策略三最佳化結果-電池交換站設置位置.....	48
圖 4.12 策略四的最佳化搜尋過程.....	49
圖 4.13 策略四最佳化結果-電池交換站設置位置.....	50
圖 4.14 電池交換站位置綜合比較.....	53



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

近年來隨著全球暖化的嚴重性，環境保護意識逐漸提高，世界各國積極推動綠色交通概念，綠色交通能解決交通污染問題並且達到節能減碳的目標，而綠色交通(Green Transport)定義是採用低污染、適合都市環境的交通載具，來完成社會活動的一種交通概念(張學孔，2001)。一般「綠色交通載具」包括自行車、電動載具與大眾運輸等對環境低污染的交通載具(許添本，2003)，而在綠色交通中的公共自行車租賃系統與電動載具都是先進國家低污染政策之一。

公共自行車租賃系統解決了許多交通問題及環境污染問題的永續發展概念。因此綠色交通已成為全世界交通發展的主要概念之一(王俊偉，2011)。目前全世界最大的公共自行車租賃系統為巴黎的 Velib，其中共有 1,639 個租賃站與 20,000 輛自行車，並提供前 30 分鐘免費騎乘優惠。如表 1.1 所示，台灣的台北於 2009 年設置公共自行車租賃站，現有 515 租賃站與 8,325 輛自行車，高雄、台中、彰化與桃園目前也都有設置公共自行車租賃站，租賃站數量分別為 187 個、79 個、68 個與 10 個，自行車數量分別為 1,400 輛、1,630 輛、1,591 輛與 166 輛。因此，公共租賃的概念是新興的綠色運輸載具系統。

表 1.1 全台灣公共自行車租賃站數量與自行車數量

地點	公共自行車租賃站數量	自行車數輛
台北	515 個	8,325 輛
高雄	187 個	1,400 輛
台中	79 個	1,630 輛
彰化	68 個	1,591 輛
桃園	10 個	166 輛

資料來源：本研究整理

全球龐大數量的汽機車持續地燃燒石油與排放廢氣，是造成地球不可再生能源耗竭和產生永久性環境污染的主要因素，以綠色載具來解決環境污染及交通壅塞的概念因應而生，其中以電力驅動的汽機車及近年來風行的公共自行車共享系統最受矚目(梁瑜庭，2013)。電動車是減少碳排放量的交通載具，相較一般汽油車，沒有燃燒石油後產生的空氣污染物問題，加上電力的價格非常穩定，且電能有再生能源、水力、火力、核能發電等多元化來源(王進和，2011)，此優勢使得電動載具在近年來有相當大的發展空間。台灣在 2011 年正式啟動「智慧電動車先導運行營運典禮」，正式宣示智慧電動車先導運行計劃上路運行，持續朝向智慧電動載具普及化目標前進。以「世界的大台中-夢想生態城綠色交通計畫」取得地方政府的台中市政府，希望藉此促進大台中綠色交通的發展，進而達到減少車輛廢氣污染，淨化空氣品質之目標，而電動載具的充電設施分為三種(1)經銷商通路(圖 1.1): 設置位置為各電動車業者經銷地點，主要是壁掛式充電設備，需充電 2 小時、(2)智慧型充電站(圖 1.2):提供電插座，插電後進行充電的動作，設置位置在澎湖縣政府、(3)電池交換站系統:先進行充電的動作，快速進行電池的交換，避免等待充電的時間(李正雄、沈珮君，2012)。



圖 1.1 經銷商通路，壁掛式充電  
資料來源：經濟部工業局



圖 1.2 智慧型充電站  
資料來源：經濟部工業局

在全台灣電動載具的充電設施分布(圖 1.3)，北部有 421 個經銷商通路充電，中部有 282 個經銷商通路充電，南部有 536 個經銷商通路充電，東部有 95 個經銷商通路充電(李正雄、沈佩君，2012)。目前在政府與業者的努力下，台灣電動載具的使用性與電池交換站的便利性，不輸汽油機車，在台北電池交換站與充電站分布密度比加油站還高，結合機車經銷商售通路設置電池交換站或充電站的據點，因此，該如何配置充電站位置是重要的議題。Dong, Liu & Lin (2014)提到電動車的缺點是充電慢、行駛距離不足，而充電站的充電時間需要 2 小時以上，而電池交換站是先將電池充完電，再進行電池的交換，避免等待電池充電的時間，因此未來都將朝向電池交換站發展。若能在城市中遍布設置電池交換站，則可解決二個問題，一是電池交換站交換電池的時間非常短，二是可解決行駛距離問題，因為機車在亞洲大多為都市區交通，如通勤、快遞送貨等使用，只要能在都市區普遍設立電池交換站，就可大為提升電動機車的實用性，解除過去電動載具最大的障礙。假設在資源有限的情況下，如何資源配置最佳化，找到最好的電池交換站位置與數量，不會使電池交換站位置過於密集或兩站離太遠，導致使用者在行駛中，發生電動載具無電量，因此希望將行駛中無電量之電動載具數量降到最低，找出最佳的電池交換站設置位置與數量為本研究的重點。

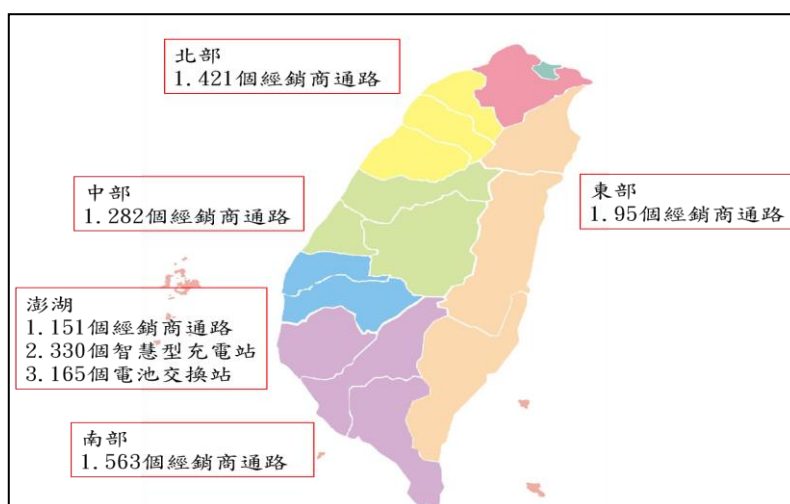


圖 1.3 全台灣電動車的充電設施分布

資料來源：本研究整理

## 1.2 研究目的

劉宜青(2012)、洪菁蓬(2011)與王俊偉(2011)等研究關於要如何配置自行車租賃站的設置位置，利用系統模擬，擬定不同方案，探討各種營運策略的成本比較。自行車的租賃站位置可分為選址調度、自行車數量配置、營運管理及使用者行為等層面，選址調度考慮相關限制條件、設站容量及自行車配置方式，上述研究只考慮自行車租賃站位置與自行車初期數量，假如是電動載具租賃站系統，將會考慮電池交換站的設置數量與位置。梁瑜庭(2013)結合「電動機車」與「載具共享」兩大綠色運輸的概念，探討都市區中對通勤需求而設計的公共電動載具租賃系統之初期車輛佈署策略，但此研究尚未探討電池交換站最佳的設置位置與設置數量。

本研究透過系統模擬，以東海大學為場域，蒐集校園內電動載具的資訊、各電池交換站充電時間等參數，利用系統模擬建置電動載具電池交換站系統，以藉由此系統找到電池交換站的最佳化設置位置與數量。

本研究為了達到以下目的：

1. 利用系統模擬的最佳化求解電動載具電池交換站系統之設置位置與數量，達到最佳的資源配置。
2. 在不同的限制條件下，提出不同的電池交換站之設置數量與位置的策略，進行綜合策略分析，探討不同的設置位置及數量對於電動載具電池交換站系統之影響。

### 1.3 研究架構與流程(圖 1.4)

本研究共分為五章節，各章節內容如下：

#### 第一章 緒論

說明研究背景與動機、研究目的、研究架構與流程

#### 第二章 文獻探討

針對公共自行車租賃系統之資源配置、系統模擬應用在電動車的資源配置，找出最佳的公共自行車初始配置數量或是公共電動車租賃系統之初期車輛佈署策略，因電動車需多加考慮電池交換站與租賃站的關係。

#### 第三章 研究方法

定義本研究之研究範圍與資料來源，並針對本研究所使用的系統模擬與最佳化進行理論基礎與定義說明，瞭解其背後的涵義。

#### 第四章 實證結果與分析

針對本研究所運用的系統模擬參數為參考依據，進而蒐集數據與利用統計方法進行分析與篩選，帶入參數進模擬模組，利用系統模擬搜尋最佳化電池交換站之數量與設置位置。

#### 第五章 結論與建議

根據本研究之實證結果，提出本論文之研究發現，並對後續研究提出建議與方向

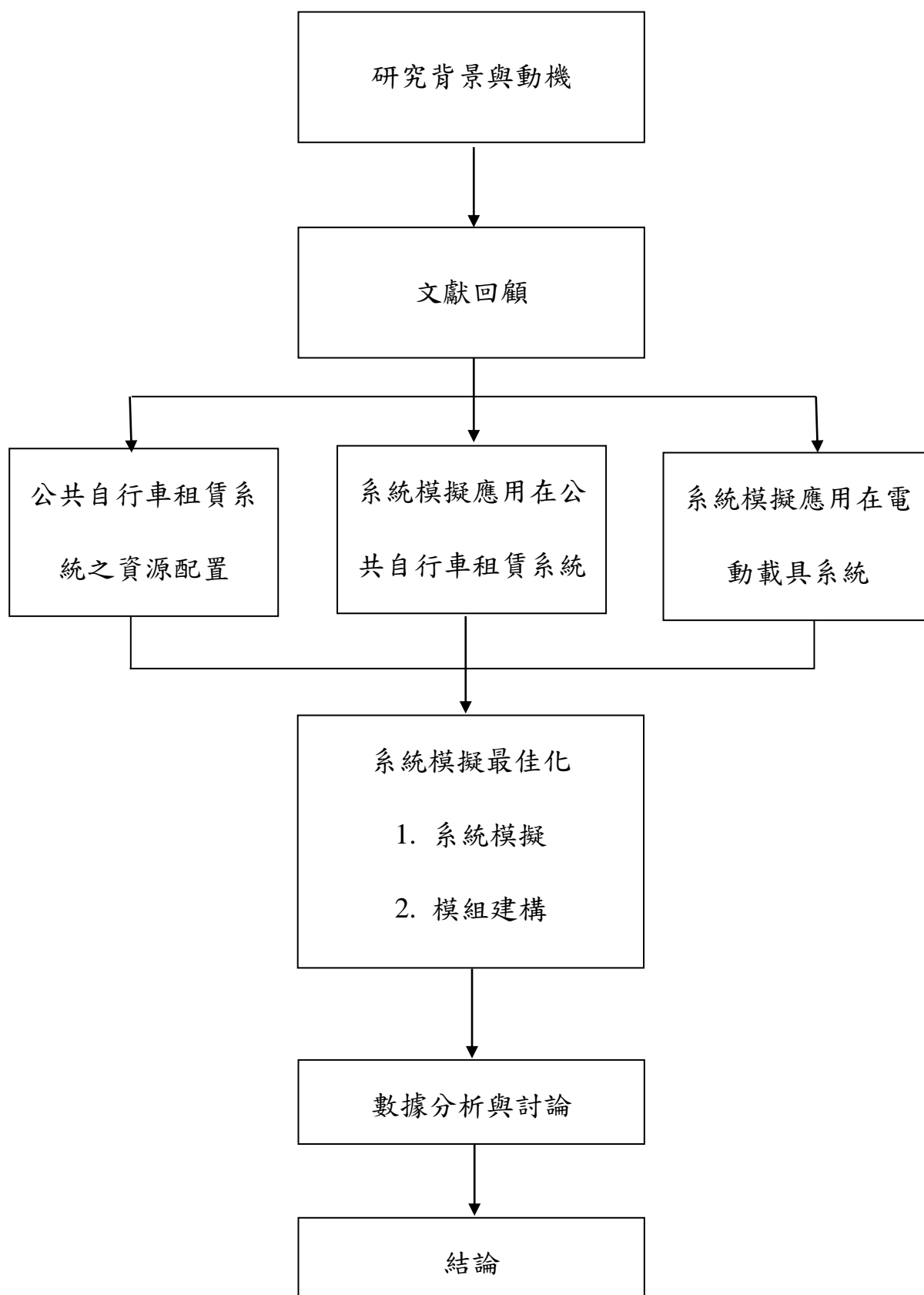


圖 1.4 研究架構與流程

## 第二章 文獻探討

### 2.1 電動載具

全球的綠能載具發展蓬勃，以替代能源與節約電能為主要目標，此類載具逐漸在國際嶄露頭角，除了大型電動載具（電動汽車、電動巴士）的開發成長，陸陸續續出現設計小型便利於都會區短程行駛的輕型電動載具，例如：電動機車、電動自行車、電動滑板車、電動三輪載具等，其行駛路徑與時間相較其他載具短暫，主要路徑為城市中點對點往返，提供人類便捷快速之通勤(林保超，2015)。再加上電動載具中所需的電子、電機、電池等技術在台灣的十分純熟，因此在發展電動載具產業上極具國際上的優勢和競爭力(財團法人自行車暨健康科技工業研究發展中心，第36期)。依交通部規定，輕型電動載具最大行駛速率在每小時 25km 以下，其中輕型電動載具的電動自行車屬於助動性質，以人力驅動為主，電動輔助為輔，具一般自行車藉踏板踩踏前進特性。而電動自行車必須採取電力方式啟動，即使半途沒電，也可像一般傳統自行車一樣輕鬆踩動前進，免除無電量，而造成無法行駛的情況，一般也稱為「電動腳踏車」。根據市場調查指出，電動自行車的消費者主要考量於不需要考駕照、不用戴安全帽、速度較機車慢、無污染，而在使用消費族群，多半為銀髮族、國高中生、小朋友以及年輕女性(梁世安、余國璋，2005)。而電動載具的電動機車是以電力公司電能為主要能源，利用車上充電器儲存在車上電瓶，然後透過控制系統以馬達及傳動系統達到推動車輛的目的，燃油機車的動力系統則以汽油為主要能源，透過內燃機引擎及傳動系統達到推動車輛的目的(吳南億，2001)。假如半途沒電，將會造成無法行駛的情況，因此對於電動車而言，電池交換站或充電站的設置位置與設置數量是一個重要的議題。

## 2.2 公共租賃系統之資源配置

### 2.2.1 公共自行車租賃系統之資源配置

劉宜青(2012)研究公共租賃系統之自行車數量配置問題，因此指出系統規畫者若未針對各租賃站設置適當的自行車數量，自行車租賃者可能無車可借或無位可還，進而降低整體自行車使用效率。

洪菁蓬(2011)、Yang, Lin & Chang (2010)與 Lin & Yang (2011)皆曾提出自行車租賃系統設計之相關研究，主要決定租賃站點之個數、位置、站點間之網路設計，並參考選擇運輸站點問題的相關文獻，挑選合適於自行車系統建置之因素，再將之前自行車租賃站位置設置的相關研究尚未考慮實際租賃情境的部分加以重新規劃，加入了租賃者在各路段行走或騎乘時間為服從特定機率分配的條件，進而發展一隨機型整數規劃模式，並設計演算法求解最佳租賃站的位置、容量及自行車配置運補模式。

### 2.2.2 系統模擬應用在公共自行車租賃系統

王俊偉(2011)以系統模擬的方式，擬定不同方案，探討各種營運策略得成本比較，亦考慮租還需求上的變動性，結果發現善用系統模擬的歷史及時租賃資訊最有效改善營運績效。Rainer Harbach, Papazek & Raild (2013)在自行車研究可分為選址調度、自行車數量配置、營運管理及使用者行為等層面，選址調度考慮相關限制條件，租賃站設置位置、設站容量及自行車配置方式。因此使用系統模擬以求得車輛配置方式。

張立蓁(2010)建立自行車租賃之系統模擬，以靜態之歷史資料作為已知之租賃需求(包括租賃者起訖點需求、各起訖點至各候選租賃站之步行距離、各候選租賃站吸收租賃需求的情況等)，發展系統模擬求解最小設置成本及租還車便利性高的租賃站個數、位置與各租賃站應設置之停車柱數。



### 2.2.3 系統模擬應用在電動載具系統

梁瑜庭(2013)將「充電站」及「電池交換站」等兩類延長電池續航力之技術與設施納入共享系統的規劃考量，利用系統模擬來預估各租賃站初期應擺放的車數，以滿足一定程度的租賃需求，達到預設的服務水準，將電池消耗電速率列入考慮，並以不同起訖需求之相對比例關係來分配電動機車租賃流量，分析比較不同的電池續航力延伸技術以及不同的耗電與充電速率對服務水準與成本的影響。

Fong & Liu (2010)研究大都會區電動載具充電站的設置位置，而電動載具充電站通常是設置在交通密集的点，但考慮不同的限制和其他因素，將重新配置電動載具充電站的設置位置與數量，利用系統模擬最佳化求解綠色交通系統電動載具充電站的設置位置與數量。

Wang & Lin (2013)與 Zeng, Dong, Meng, Zhao & Qiu (2014)皆提出電動載具系統設計之相關研究，主要決定電動載具電池交換站之設置位置與數量之網路設計，並以優化模型決定最小成本的設站地點與車輛配置數量，並探討如何配置電池交換站配置位置，以及如何以運補方式運補電池至電池交換站的調度，以減少此系統「有車無電池」和「無電池有車」的情況。

## 2.3 系統模擬

模擬是針對某一已存在或構想中之操作性系統行為，藉由電腦快速運算的能力下，建構一個以電腦為基礎之數學或邏輯模式，且建立於機率統計、資訊技術與系統理論上，並在此模擬實驗上進行各種不同組合之決策評估以及透過模擬的運作過程來瞭解系統的主要運行模式與活動(林則孟，2002)，以下為其他學者對模擬的定義。

- 1 模擬為了解一系統的行為和評估該系統在不同策略下的運作情形所進行的模式設計與利用模式進行實驗的過程(Shannon et al., 1995)。
- 2 廣泛的來說，電腦模擬是一個真實系統和模型的數學邏輯模型設計的過程(Pritsker, 1986)。
- 3 模擬是一個設計真實系統模型與模型實驗的處理，以了解系統的行為並對系統的運作評估各式各樣的策略(Shannon et al., 1975)。
- 4 Banks, Law & Kelton (1998) 給模擬的定義為：使用電腦技術去模仿真實的系統或流程。
- 5 模擬使用電腦程式模仿系統中因果對應事件與活動間之關係(林則孟，2002；侯東旭等，1999；姜林杰祐等人，2001；張怡秋與吳憲璋，1999)。

利用模擬技術來模擬整個製造環境的運作情形，適合「描述」系統的動態行為，然後根據模擬結果產生「最好」策略結果，模擬過程中所用各種演算法或啟發式方法的相對最好。模擬在實務應用上具有許多的優點，例如可以應用在避免實際操作上的風險以及如何在短時間預知長期效果，運用的範圍也很廣，例如在物流業、金融業、服務業、醫療業、製造業等，也可應用在解決不同的問題上面，例如排程系統的建構、派工系統、生產與配送、等候理論等。

模型的建立有助於對系統的了解，也便於對問題提出解答。因此各類的研究均嘗試建立不同的模型，以促進對其關心的系統之了解。模擬建構的模型基本上屬於邏輯模型，現在結合電腦科技強大的計算能力，除了可以呈現系統的流程外，還能提供許多量性的資料。其最大特色是可以描述動態而不規則的系統。在現實的環境中，大部分的系統都是動態而不規則

的，也因此模擬模型更能反映真實環境來協助研究者找出解答(侯東旭等人，1999；Banks, 1998)。

雖然模擬在實際應用上有許多的好處，但它並非沒有缺點，首先，它無法像許多數學模型一樣，可以提供最適當的解答。只能透過不同條件的設定，找出近似的最佳答案。另一方面，建構模擬模型需花費較多的時間與精神，因此在使用模擬之前，仍需事先評估系統的特性。綠色網絡本身有相當的複雜性，且作業流程的改變，往往面臨不可逆或重大資源浪費的風險，因此以模擬作為研究工具是非常適當的分析工具。

當前也已經有許多學者將模擬技術應用在各方面，以解決系統本身所遭遇到的種種問題，結合模擬本身具備的成本低廉、節省時間等優勢下，相信透過模擬技術來解決系統方面相關問題將是未來發展之趨勢，表 3 列出應用模擬技術於各方面的應用實例。

Law & Keltion(1991)指出模擬是仿造真實世界的運作系統，為了符合真實現況，有一套標準的系統模擬建構順序(圖 2.1)，包含確立問題、建立模型、資料收集、輸入模型、模型驗證、建構新模式、結果分析與實際運用。

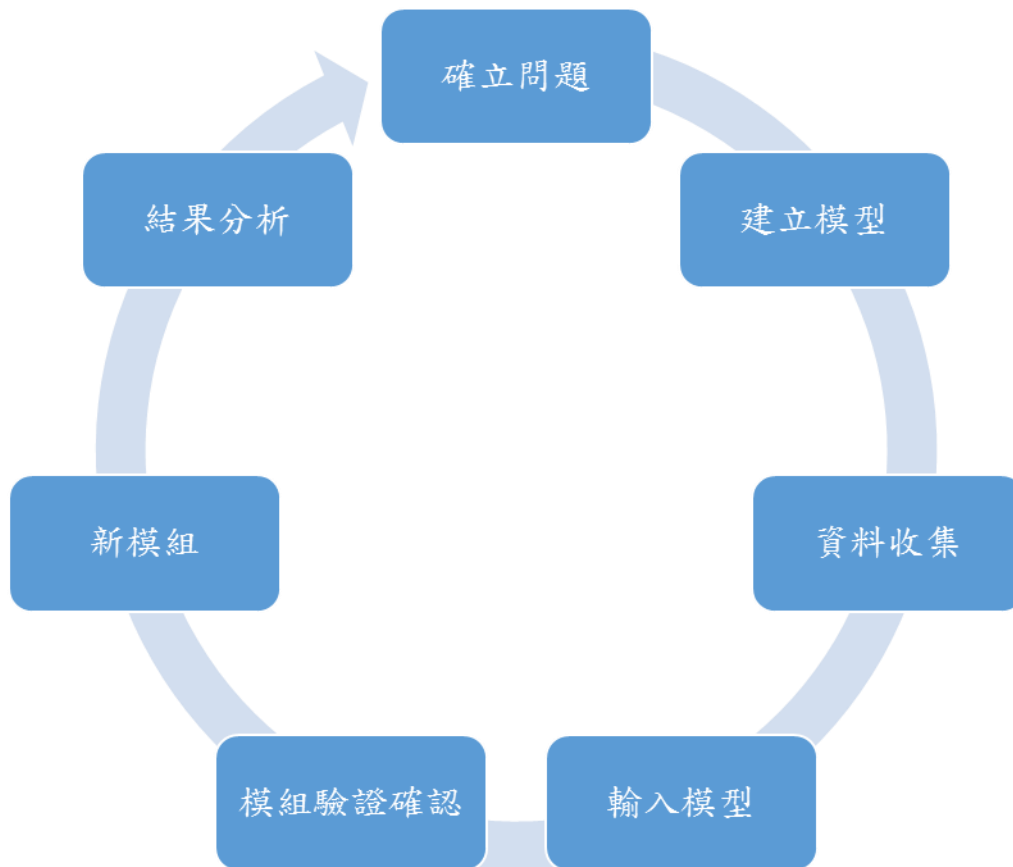


圖 2.1 系統模擬建構順序

資料來源：本研究整理

Law & Keltion (2000)針對確立問題、建立模型、資料收集、輸入模型、模型驗證、建構新模式、結果分析與實際運用進行步驟的分析，其步驟如下：

#### 1. 確立問題

了解所欲探討的問題及模擬預定所要達成的目標，並對問題的相關因素進行觀察，如果有需要，並加上數學模型的方式，將問題公式化，幫助模型建立。

#### 2. 建立模型

了解研究目的後，針對整提的問題進行定義，問題包含哪些因素會影響整個模型，以考慮每一個物件之間的關聯性與交互作用，以及所發生的先後順序，使建立模型時，可以完整的建構出來。

### 3. 資料蒐集

根據建構模型的所需資料，進行實際的蒐集，並整理與分析資料，統計出參數，使所使用的資料正確性趨近於真實。

### 4. 輸入模型

將所蒐集的資料及相關參數，輸入到模擬模組中，進行電腦分析。

### 5. 模組驗證與確認

模型建構完成後，藉由模組的驗證與確認，來確立模組模型是否適正確的、運作的模式是否有符合真實的情況，模擬驗證有關資料的正確性，模組模擬是否能正常進行。一般而言，驗證能透過與專家的討論，進行模式的確認或是利用歷史資料進行模式的確認。

### 6. 建構新的模組

依照不同的策略模式，進行資源的重新分配，或是考慮流程，使新的模擬模組更有效率的進行。

### 7. 結果分析

對於建構新的模組，運用模擬軟體進行模擬結果，並針對模擬所得知的資訊進行分析，討論所建構的模組是否有完成原始定義問題的需求，以及與新的模組是否有顯著的差異，與不同策略下的情況，使用不同模組，哪一個組模組是比較高效率的。

### 8. 實際運用

將分析所得到的數據結果，套到真的問題情況，從研究的角度去探討要如何去運作，達到研究的成果與貢獻。

## 第三章 研究方法

### 3.1 研究對象介紹

本研究以東海大學為場域(圖 3.1)，因東海大學校地廣大，有兩大校區，兩大校區的步行時間約 30 分鐘且路程中多為上陡坡，使東海大學師生與旅客須以校內接駁公車往返兩大校區或以汽車往返兩大校區(需校內證件)，而每到假日總有大量的人潮，東海大學校為了提倡環保且無污染的綠概念，禁止遊客開車進入校園，然而校園占地面積廣闊，東海大學的校區面積排名前十，因此將會造成旅客需要花費大量時間前往各個景點。在 2011 年智慧電動車先導運行營運，東海大學校園積極響應市府計畫，以綠色大學之姿，成為台中市綠色交通園區之標竿典範，於 2012 年 10 月正式啟動電動自行車暨生態藝術步道，而東海大學工學院研發「東海乳牛系列」電動輔助自行車，數量為 5 台，充電方式主要是利用電池交換站，目前只提供工學院各系行政正洽公使用，而此電池交換站目前放置第二校區，數量為一個。假設考慮東海大學師生與旅客的數量，在東海大學設置「電動載具電池交換站系統」，電池交換站的數量與位置該如何配置在哪些景點，希望透過此研究提供給東海大學作為參考

本研究整理東海大學內各景點的距離(表 3.1)包含 ST 大樓、中正堂、圖書館、教堂、陽光草皮、乳品小站、乳牛場、東海湖、音美館、管理學院。並考慮電動載具、電池容量規格及電池交換站等資訊(表 3.2)，電池交換站的充電時間為 2 小時，電池容量為  $24V \times 4.2Ah = 100Wh$ ，並假設上陡坡的電池消耗為每 100 公尺消耗 1Wh、3W、6W、平地的電池消耗為每 100 公尺消耗 0.4Wh、下坡的電池消耗為每 100 公尺消耗 0.1Wh，而在電池交換站內有 10 個槽，9 個電池能提供交換，當電動車低於電量的 20% 時，將進行電池交換。

表 3.1 各景點間之距離

景點 景點	ST 大樓	中正 堂	圖書 館	教堂	陽光 草皮	乳品 小站	乳牛 場	東海 湖	音美 館	管理學 院
ST 大樓	0	0.2	0.1	0.8	0.8	1	1.2	2	3.5	4
中正堂	0.2	0	0.1	0.8	1	1.2	1.5	2.2	3.7	4.1
圖書館	0.3	0.1	0	0.7	1.1	1.5	1.7	2.3	3.9	4.3
教堂	0.8	0.8	0.7	0	0.5	0.9	1	1.5	2.5	3.6
陽光 草皮	0.8	1	1.1	0.5	0	0.3	0.5	1	2.2	3
乳品 小站	1	1.2	1.5	0.9	0.3	0	0.2	0.8	1	2
乳牛場	1.2	1.5	1.7	1	0.5	0.2	0	0.5	1	1.5
東海湖	2	2.2	2.3	1.5	1	0.8	0.5	0	0.8	1
音美館	3.5	3.7	3.9	2.5	2.2	1	1	0.8	0	0.5
管理 學院	4	4.1	4.3	3.6	3	2	1.5	1	0.5	0

資料來源：本研究整理 (單位：公里)

表 3.2 電動載具、電池容量規格及電池交換站資訊

電池容量	
電池電量	24Vx4.2Ah=100Wh
電動載具耗電量	平路: 100 公尺消耗 0.4Wh
	上坡: 100 公尺消耗 1Wh、3W、6W
	下坡: 100 公尺消耗 0.1Wh
車輛數	假設有 100 輛電動載具
可供交換電池數量	電池交換站內有 10 個槽，9 個電池提供交換
電池充電時間	100Wh 電池組的充電時間約 2 小時

資料來源：本研究整理

東海大學校園地圖 Tunghai University Campus Map

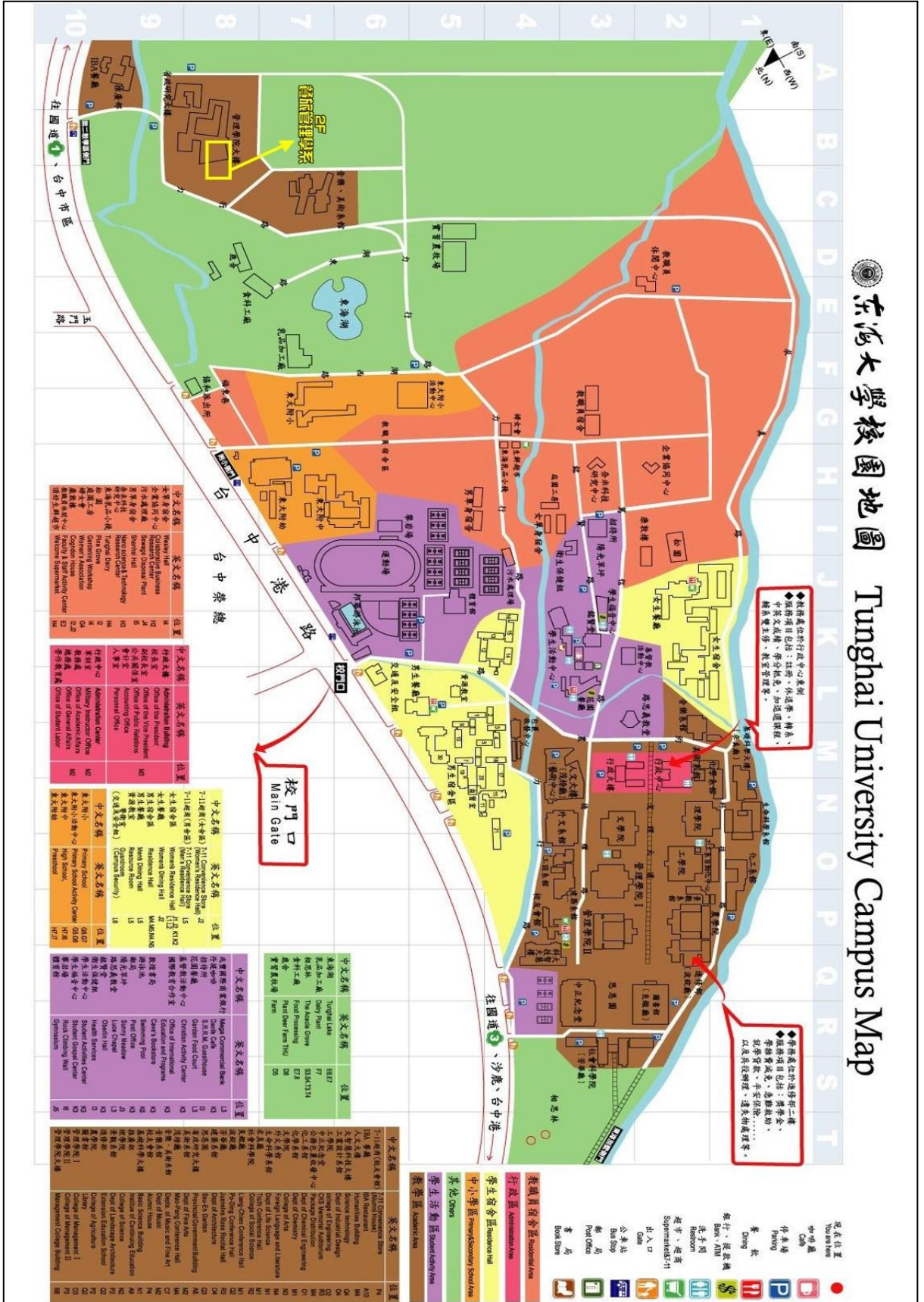


圖 3.1 東海大學地圖

資料來源：東海大學網站



### 3.2 系統模擬最佳化的架構(圖 3.2)

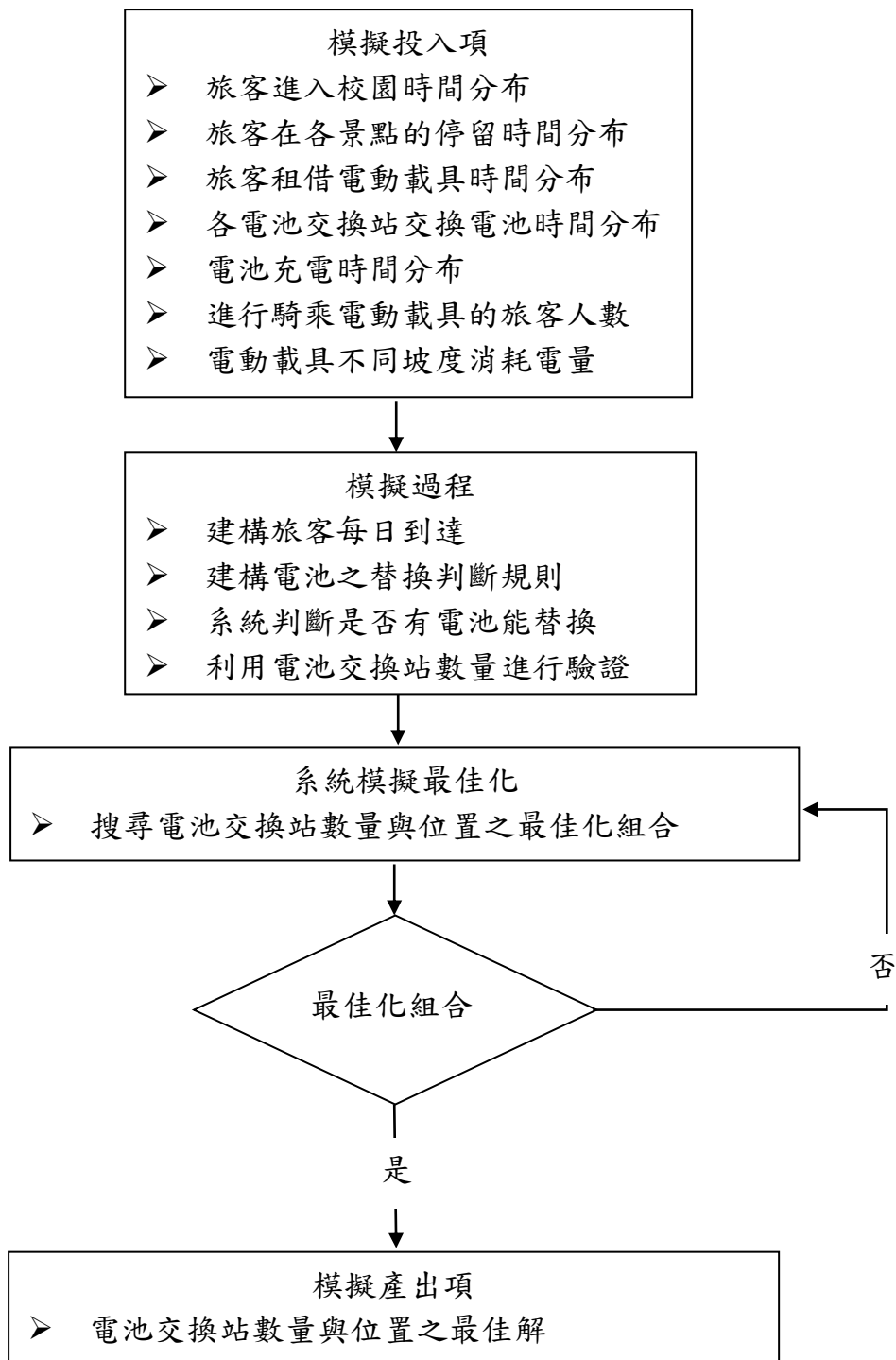


圖 3.2 研究方法及架構

### 3.3 問題定義及假設

#### 3.3.1 問題定義

在東海大學建構電動載具電池交換站系統，目前假設共有 10 個景點能設置電池交換站，10 個景點分別為 ST 大樓、中正堂、圖書館、教堂、陽光草皮、乳品小站、乳牛場、東海湖、音美館、管理學院(圖 3.3)，舉例來說，假如東海大學裡有 10 個可設置電池交換站的地點，考慮 5 個電池交換站要放置(●黑色圓圈)，如圖 3.4 所示，設置不同的電池交換站位置，2 種可行性的組合，本研究利用  $\sum C_n^N$  (N:可安排電池交換站位置總數量、n:可使用電池交換站數量)的計算方式，將有  $C_5^{10}=210$  種可行性組合，並考慮電池交換站的設置位置、數量等決策變數，並輸入電動載具、電池規格及電池交換站等相關基本資訊，在最低的行駛中無電量之電動載具數量的限制條件下，利用系統模擬最佳化求解綠色交通系統電池交換站的設置位置與數量，達到最佳的資源配置。

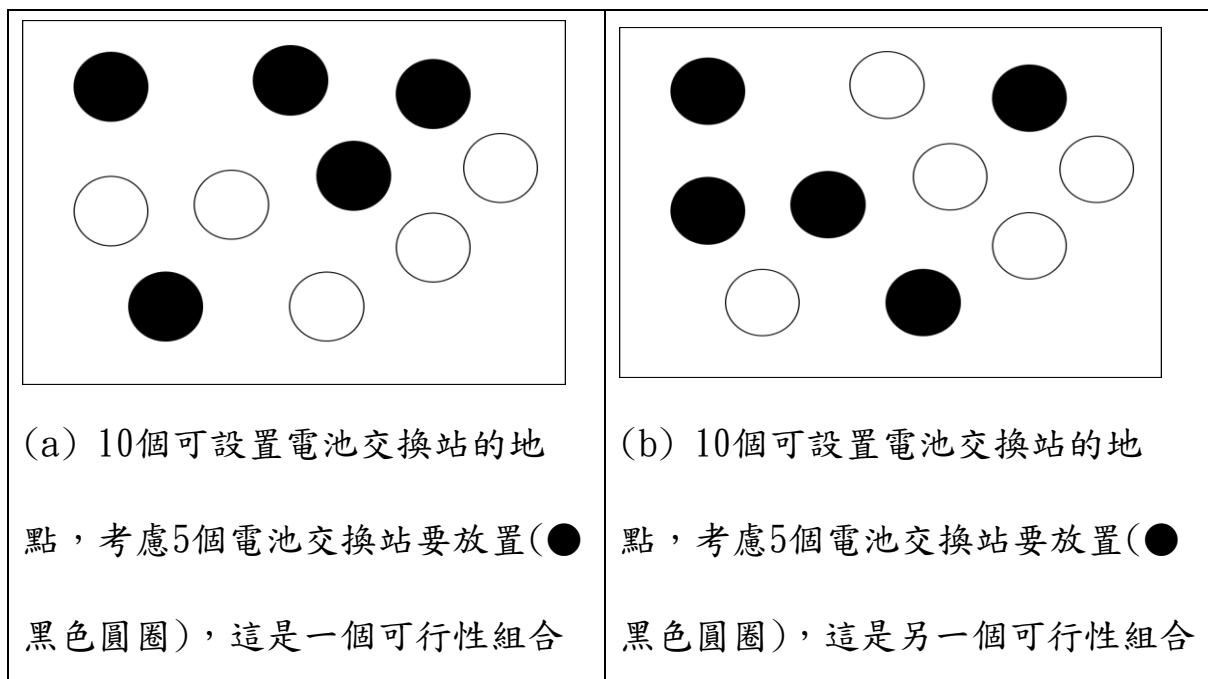


圖 3.4 電池交換站之可行性組合例子

資料來源：本研究整理

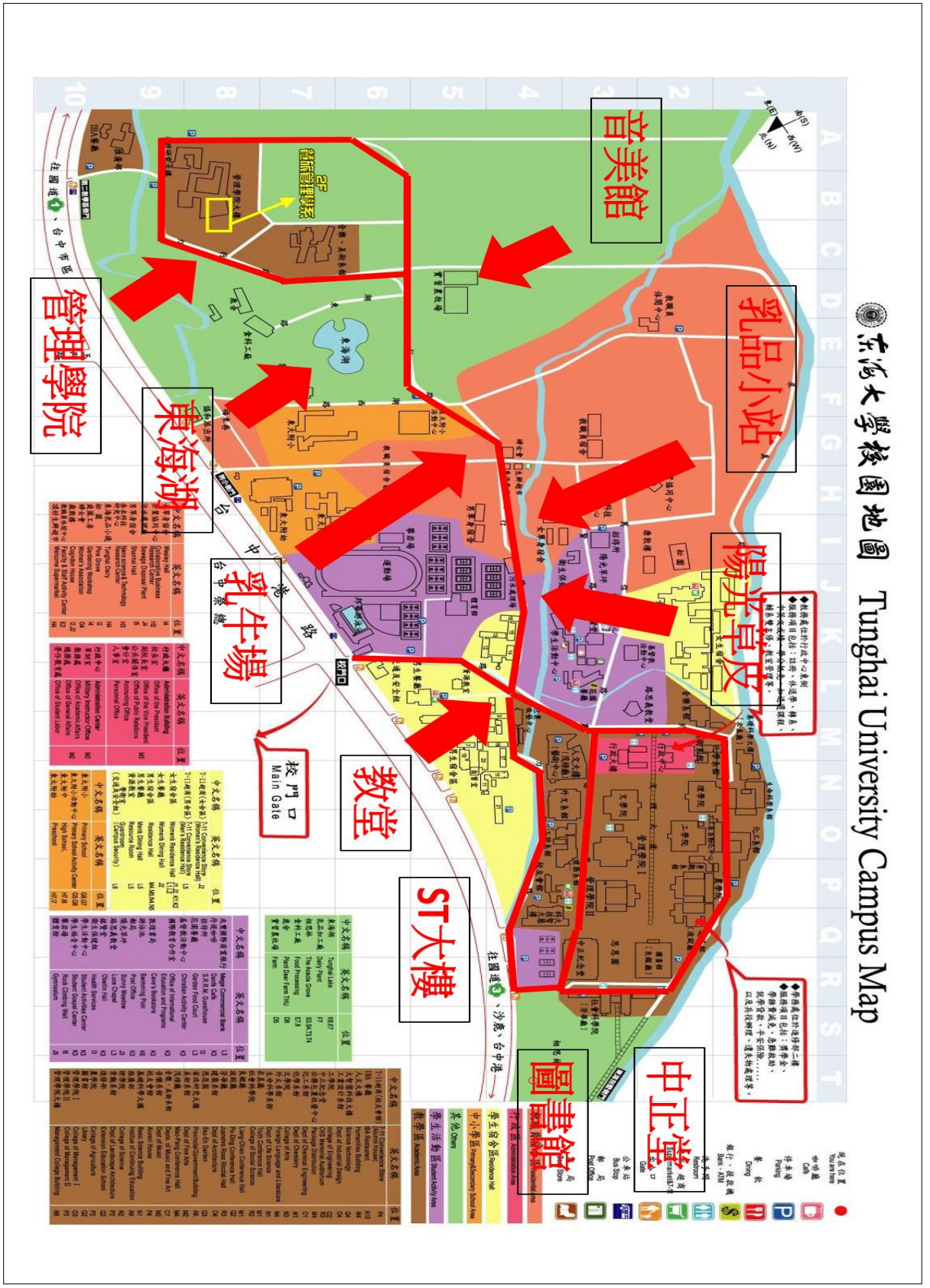


圖 3.3 東海大學 10 個景點分佈

資料來源：修改自東海大學網站

本研究模擬所有的可行性組合，而所有的可行性組合的計算方式如下：  
電動載具電池交換站設置數量及選址之可行方案

$$= \sum C_n^N \quad (N: \text{可安排電池交換站位置總數量、} n: \text{可使用電池交換站數量})$$

- 設置 10 個電池交換站 V.S. 10 個設置位置站 →  $\sum C_{10}^{10} = 1$  個組合
- 設置 9 個電池交換站 V.S. 10 個設置位置站 →  $C_9^{10} = 10$  個組合
- 設置 8 個電池交換站 V.S. 10 個設置位置站 →  $C_8^{10} = 45$  個組合
- 設置 7 個電池交換站 V.S. 10 個設置位置站 →  $C_7^{10} = 120$  個組合
- 設置 6 個電池交換站 V.S. 10 個設置位置站 →  $C_6^{10} = 210$  個組合
- 設置 5 個電池交換站 V.S. 10 個設置位置站 →  $C_5^{10} = 252$  個組合
- 設置 4 個電池交換站 V.S. 10 個設置位置站 →  $C_4^{10} = 210$  個組合
- 設置 3 個電池交換站 V.S. 10 個設置位置站 →  $C_3^{10} = 120$  個組合
- 設置 2 個電池交換站 V.S. 10 個設置位置站 →  $C_2^{10} = 45$  個組合
- 設置 1 個電池交換站 V.S. 10 個設置位置站 →  $C_1^{10} = 10$  個組合

$$\text{總共為} = \sum C_n^N = C_{10}^{10} + C_9^{10} + C_8^{10} + C_7^{10} + C_6^{10} + C_5^{10} + C_4^{10} + C_3^{10} + C_2^{10} + C_1^{10}$$

$= 1 + 10 + 45 + 120 + 210 + 252 + 210 + 120 + 45 + 10 = 1023$  個組合設置電池交換數量及選址之可行解，因考慮逐一將組合列出並模擬計算是相當耗時的，故採用系統模擬最佳化進行。本研究模擬工具為Simul8，其內建之最佳化方法為類神經網路，屬於平行計算系統，透過電腦快速運算且不斷的學習來搜尋最佳解。

### 3.3.2 系統模擬條件假設

在東海大學模擬設置電動載具電池交換站系統之設置位置與數量，此系統是非常複雜及隨機動態的，其原因是包括不同的人為因素，電池交換站交換時間，上坡、平地與下坡的耗電量、更換電池的規則、行駛中無電量之電動載具的處理，故此對模擬系統進行條件假設，包含以下四點：

1. 景點停留時間一致，設定每一旅客停留時間參數為 Average(10)，代表平均停留時間 10 分鐘就會前往下一個景點。
2. 旅客騎車速度一致。
3. 交換站的電池交換時間一致，設定交換時間參數為 Average(2)，代表平均交換時間為 2 分鐘。
4. 假設上陡坡的電池消耗為每 100 公尺消耗 1Wh、3W、6W、平地的電池消耗為每 100 公尺消耗 0.4Wh、下坡的電池消耗為每 100 公尺消耗 0.1Wh，而在電池交換站內有 10 個槽，9 個電池能提供交換，當電動車低於電量的 20% 時，將進行電池交換。
5. 當使用者遇到行駛中無電量的情況發生時，電動載具電池交換站系統會將行駛中無電量者直接送往等待區，判定為電動載具不能使用，使用者將無法繼續使用。

## 3.4 系統模組模型建構參數、變數與邏輯說明

### 3.4.1 系統模組模型建構說明

電動載具電池交換站系統的模擬模組採用東海大學之場域為基礎，如圖 3.5，在 ST 大樓、中正堂、圖書館、教堂、陽光草皮、乳品小站、乳牛場、東海湖、音美館、管理學院可設置電池交換站，將利用系統模擬工具 Simul8 內的五大基本站建構電動載具電池交換站系統，五大基本站如下：

#### 1. 進入站(Work Entry)

一系統的進入點，此站的任務是把物件(旅客)帶入電動載具電池交換站系統內，物件(旅客)的抵達時間可以規劃，可依據不同情況或機率分配來控制物件(旅客)是單一抵達或是成群(batching)抵達，也能設定不同的功能。

#### 2. 工作站(Work Center)

一系統的機台服務區或是服務員執行工作的站所，工作站的操作時間可以根據資料的收集進行分析來控制或是利用機率分配控制。工作站能與工作站進行連結，根據系統的規則與參數設定需求。

#### 3. 暫存區(Storage Area)

一系統的流程中物件的等待站所，大部分是根據下一站的執行工作速度來決定是否要等待，亦能設定規則與參數，以控制去暫存區等待的情況。

#### 4. 離開站(Work Exit Point)

一系統的物件離開站所。流程中可設定最終產品的離開或是流程中不良品的離開站。

## 5.資源(Resources)



一系統工作站的作業員，如在電動載具電池交換站系統，資源為電池，一個電池交換站(Work)有 9 個電池(Resources)。

在建構電動載具電池交換站系統中，總共使用 1 種進入站(Work Entry)、8 種工作站(Work Center)、3 種暫存區(Storage Area)、1 種離開站(Work Exit Point)、一種離開站(Work Exit Point)與資源(Resources)，如下


### 1.進入站(Work Entry)：1 種







在電動載具電池交換站系統中，共有 2 個進入站(Work Entry)分別為東海大學一校區門口與二校區門口，旅客將從進入站(Work Entry)進入電動載具電池交換站系統，而旅客的抵達時間機率分配是指數分配(Exponential distribution)，代表旅客進入電動載具電池交換站系統的時間間隔。


### 2.工作站(Work Center)：8 種




 為電動載具租賃站，當旅客進入此系統後，會進行電動載具的租賃，而此時間機率分配為 Average，代表平均租賃電動載具的時間。


 為路口選擇方向，此工作站(Work Center)並無時間機率分配，功能只有隨機分配旅客前往不同的景點。此系統總共有 12 個路口選擇方向

   分別為上坡、平地與下坡，此工作站(Work Center)的功能為消耗電池的電量，消耗的電量分別為上坡的電池消耗為每 100 公尺消耗 1Wh、3Wh、6Wh、平地的電池消耗為每 100 公尺消耗 0.4Wh、下坡的電池消耗為每 100 公尺消耗 0.1Wh。此系統總共有 27 個上坡、平地與下坡。

 為電池交換站，此工作站(Work Center)的功能：當旅客的電動載具之電池電量低於 20% 時，將會進入此工作站進行電池的交換，而電池交換的時間機率分配為 Average，在一個電池交換站有 10 個槽，9 個電池能提供交換。此系統總共有 10 個電池交換站。

 為東海大學景點，此工作站(Work Center)的功能：當旅客抵達景點後，將會在此景點停留，而停留的時間機率分配為 Average，停留結束後，將會前往下一個景點。此系統總共有 10 個景點，分別為 ST 大樓、中正堂、圖書館、教堂、陽光草皮、乳品小站、乳牛場、東海湖、音美

館、管理學院。

 為檢查點，此工作站(Work Center)的功能：當旅客離開景點後，會先進行電池電量的檢查，判斷規則為當電池電量大於 20%，就能往下一個景點前進或電池電量小於 20%，就會進入電池交換站，來交換電池。此系統總共有 10 個檢察點。

### 3. 暫存區(Storage Area)：3 種

在電動載具電池交換站系統中，暫存區有 3 種，一是電動載具租賃站前，當旅客在電動載具租賃站接受服務時，下一位旅客將在暫存區等待，二是電池交換站前，當旅客在電池交換站接受服務時，下一位旅客將在暫存區等待，三是行駛中無電量之電動載具存放區，代表當旅客騎到半途沒電量時，此系統會將此類的電動載具儲存在此暫存區，以便系統進行判斷。

### 4. 離開站(Work Exit Point)

在電動載具電池交換站系統中，此系統之旅客離開的站所，當旅客完成電動載具的服務後，將會從離開站離開。此系統總共有 2 個離開站。

### 5. 資源(Resources)

在電動載具電池交換站系統中，代表是一個電池交換站的資源，而裡面有 9 個電池(資源)能進行交換，能提供旅客電池。此系統總共有 10 個電池交換站的資源。



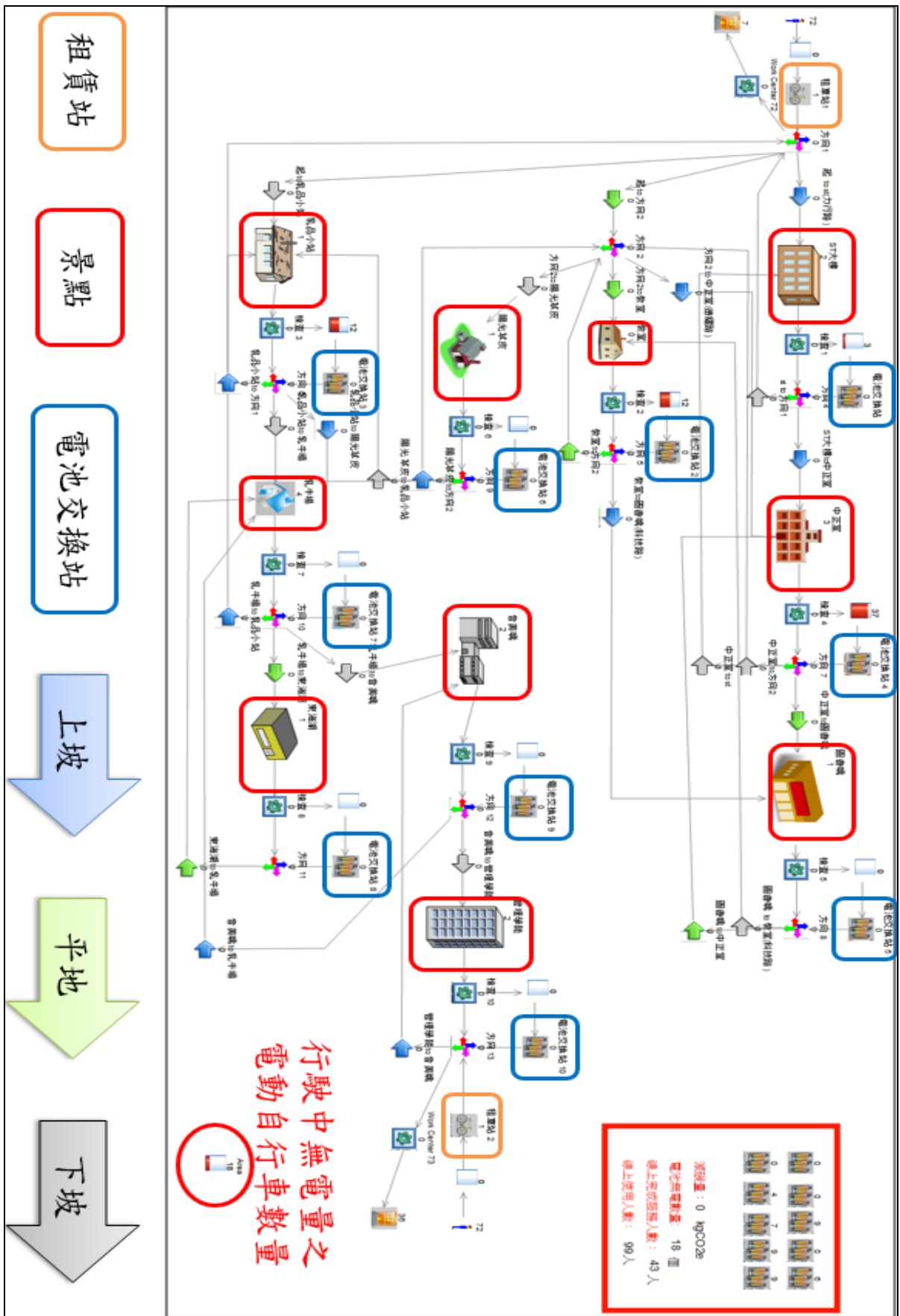


圖 3.5 電動載具電池交換站系統

資料來源：本研究整理

### 3.4.2 系統模組模型之變數與邏輯說明

本研究利用 Simul8 內建的 Visual Logic 之功能設定邏輯與參數，並設定 Information Store 的全球性變數(Global Variable)，主要目的是儲存變數，並能提供在 Visual Logic 中的設定邏輯，以下為電動載具電池交換站系統的變數(表 3.3)。

表 3.3 電動載具電池交換站系統的全球性變數(Global Variable)

變數項數	變數名稱	變數數值
G Battery	電池之總電量	100 瓦時(Wh)
G Battery Current	電池之目前電量	100 瓦時(Wh)
G Battery down	下坡所消耗電量	0.1 瓦時(Wh)
G Battery up1	上坡所消耗電量-1	1 瓦時(Wh)
G Battery up2	上坡所消耗電量-2	3 瓦時(Wh)
G Battery up3	上坡所消耗電量-2	6 瓦時(Wh)
G Battery flat	平地所消耗電量	0.5 瓦時(Wh)
G Distance-50	距離 50 公尺	50 公尺(M)
G Distance-100	距離 100 公尺	100 公尺(M)
G Distance-150	距離 150 公尺	150 公尺(M)
G Distance-200	距離 200 公尺	200 公尺(M)
G Distance-250	距離 250 公尺	250 公尺(M)

變數項數	變數名稱	變數數值
G Distance-300	距離 300 公尺	300 公尺(M)
G Distance-350	距離 350 公尺	350 公尺(M)
G Distance-400	距離 400 公尺	400 公尺(M)
G Distance-450	距離 450 公尺	450 公尺(M)
G Distance-500	距離 500 公尺	500 公尺(M)
G Distance-550	距離 550 公尺	550 公尺(M)
G Distance-600	距離 600 公尺	600 公尺(M)
G Distance-650	距離 650 公尺	650 公尺(M)
G Distance-700	距離 700 公尺	700 公尺(M)
G Distance-750	距離 750 公尺	750 公尺(M)
G Distance-800	距離 800 公尺	800 公尺(M)
G Number on line	目前線上人數	0 人
G Number on line	線上完成服務人數	0 人

資料來源：本研究整理

邏輯說明：

在電動載具電池交換站系統中，本研究在 Visual Logic 中的設定邏輯，並利用全球性變數(Global Variable)完成以下的邏輯設定。

1. 電動載具之電池消耗電量公式：

(1) 下坡的電池消耗電量之公式

$$G \text{ Battery Current} = G \text{ Battery} - [G \text{ Distance} \times G \text{ Battery down}]$$

代表：電池之目前電量=電池之總電量-[距離×下坡消耗電量]

註：下坡消耗電量為每 100 公尺消耗 0.1Wh

(2) 上坡的電池消耗電量之公式

$$G \text{ Battery Current} = G \text{ Battery} - [G \text{ Distance} \times G \text{ Battery up1}]$$

$$G \text{ Battery Current} = G \text{ Battery} - [G \text{ Distance} \times G \text{ Battery up2}]$$

$$G \text{ Battery Current} = G \text{ Battery} - [G \text{ Distance} \times G \text{ Battery up3}]$$

代表：電池之目前電量=電池之總電量-[距離×上坡消耗電量]

註：上坡消耗電量為每 100 公尺消耗 1Wh、3Wh、6Wh

(3) 平地的電池消耗電量之公式

$$G \text{ Battery Current} = G \text{ Battery} - [G \text{ Distance} \times G \text{ Battery flat}]$$

代表：電池之目前電量=電池之總電量-[距離×平地消耗電量]

註：平地消耗電量為每 100 公尺消耗 0.1Wh

經本研究整理東海大學景點與景點之間的坡度關係圖，在表 3.4 中，總共有 40 個上坡路段、40 個下坡路段與 8 個平地，因此能得知景點與景點之間的地形大部分都是斜坡，使旅客在東海大學的交通不便。

表 3.4 景點與景點之間坡度關係

終點 起點	ST 大樓	中正 堂	圖書 館	教堂	陽光 草皮	乳品 小站	乳牛 場	東海 湖	音美 館	管理學 院
ST 大樓	無	上坡	上坡	下坡	下坡	下坡	下坡	下坡	下坡	下坡
中正堂	下坡	無	平地	下坡	下坡	下坡	下坡	下坡	下坡	下坡
圖書館	下坡	平地	無	下坡	下坡	下坡	下坡	下坡	下坡	下坡
教堂	上坡	上坡	上坡	無	下坡	下坡	下坡	下坡	下坡	下坡
陽光 草皮	上坡	上坡	上坡	上坡	無	平地	上坡	下坡	下坡	下坡
乳品 小站	上坡	上坡	上坡	上坡	平地	無	下坡	下坡	下坡	下坡
乳牛場	上坡	上坡	上坡	上坡	下坡	上坡	無	平地	下坡	下坡
東海湖	上坡	上坡	上坡	上坡	上坡	上坡	平地	無	下坡	下坡
音美館	上坡	上坡	上坡	上坡	上坡	上坡	上坡	上坡	無	平地
管理 學院	上坡	上坡	上坡	上坡	上坡	上坡	上坡	上坡	平地	無

資料來源：本研究整理

本研究透過景點與景點之間的坡度關係，整理景點與景點之間的電動載具電池電量之消耗(表 3.5)，在電動載具電池交換站系統中，管理學院到圖書館的距離最遠，此路段為大部分為上坡，小部分為平地，而電池的電量消耗為 26 瓦時(Wh)，中正堂到 ST 大樓的距離最短，此路段大部分為下坡，小部分為平地，因此透過此表 3.5，將整理後的數據帶入電動載具電池交換站系統。

表 3.5 景點與景點之間的電動載具電池電量之消耗

終點 起點	ST 大樓	中正 堂	圖書 館	教堂	陽光 草皮	乳品 小站	乳牛 場	東海 湖	音美 館	管理學 院
ST 大樓	0	1.2	2.3	5	4	5	6	11	12	13
中正堂	0.5	0	5	4	5	6	7.5	8.5	13	14
圖書館	1.1	5	0	3.5	5.5	7.5	8.5	11.5	15	17
教堂	10	10	12	0	2.5	4.5	5	7.5	10	13
陽光 草皮	11	12	14	9	0	1.5	2.5	5	8.5	11
乳品 小站	14	15	16	12	9	0	1	4	6	9
乳牛場	15	16	18	13	12	9	0	2.5	5	7
東海湖	20	22	23	16	14	13	9	0	0.8	5
音美館	21	23	25	19	17	15	13	12	0	9
管理 學院	23	25	26	21	19	16	15	13	9	0

資料來源：本研究整理 (單位：瓦時, Wh)

### 3.5 模擬最佳化

本研究為建構電池交換站設置數量與位置之配置問題，目前有 10 個景點可設置電池交換站，考慮不同的設置電池交換站數量及地點，將會有 1023 組合，算法如下  $C_{10}^{10} + C_9^{10} + C_8^{10} + C_7^{10} + C_6^{10} + C_5^{10} + C_4^{10} + C_3^{10} + C_2^{10} + C_1^{10} = 1023$  個組合，假如要把 1023 個組合，每個模擬都建構一個模組模型是相當耗時得與費力的，故本研究採用系統模擬最佳化，將每一個可設置電池交換站的景點，利用系統模擬設置開關的概念，如表 3.6 所示，假設景點=1 就代表此景點有設置電池交換站，而景點=0 代表此景點無設置電池交換站，因此透過系統模擬最佳化的設定能使電動載具電池交換站系統能搜尋 1023 個組合中的最佳解。

表 3.6 電動載具電池交換站系統之設置位置與數量可行性組合

Run 設置景點	Run1	Run2	Run3	Run...	Run...	Run...	Run...	Run...	Run...	Run...	Run1023
ST 大樓	1	0	1		0		0		0		0
中正堂	1	1	0		0		0		0		0
圖書館	1	1	1		1		0		0		0
教堂	1	1	1		1		1		0		0
陽光草皮	1	1	1	....	1	...	1	...	1	...	0
乳品小站	1	1	1		1		1		1		0
乳牛場	1	1	1		1		1		1		0
東海湖	1	1	1		1		1		1		0
音美館	1	1	1		1		1		1		0
管理學院	1	1	1		1		1		1		1

資料來源：本研究整理



## 第四章 研究結果及分析

本研究以東海大學為場域，在相同的研究假設下，探討電池交換站的設置位置及數量對於系統內行駛中無電量之電動載具數量與電池交換站總使用率之影響，透過系統模擬工具的 Simul8，其內建的最佳化演算方法為類神經網絡，搜尋電池交換站資源配置之設置位置及數量的最佳化組合，其最佳化模式表示及說明如下：

### 4.1 Optimization Model 架構

Max  $f$  平均電池交換站使用率( $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, m, n$ )

s. t.

$$1 \leq \sum_{i=1}^{10} x_i \leq m$$

$$n < \text{TNPEC}$$

$$0 \leq x_i \leq 1$$

Lower bound  $\leq x_i, m, n \leq$  Upper bound

$x_i, m, n \in \text{integer } i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$

參數說明：

$f$  平均電池交換站使用率( $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, m, n$ )：代表目標函數平均電池交換站使用率的值，其為決策變數( $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, m, n$ )的對應目標函式。

$x_1$ ：在 ST 大樓設置電池交換站

$x_2$ ：在中正堂設置電池交換站

$x_3$ ：在圖書館設置電池交換站

$x_4$ ：在教堂設置電池交換站

$x_5$ ：在陽光草皮設置電池交換站

$x_6$ ：在乳品小站設置電池交換站

$x_7$ ：在乳牛場設置電池交換站

$x_8$ ：在東海湖設置電池交換站

$x_9$ ：在音美館設置電池交換站

$x_{10}$ ：在管理學院設置電池交換站

$m$ ：設置電池交換站總數量

$n$ ：行駛中無電量之電動載具數量(TNPEC, Total no power electric car)

在 Optimization Model 資源配置中，在總限制下找到最佳資源分配( $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, m, n$ )，以達電動載具租賃系統之最佳化電池交換站設置位置與數量，目標使其平均電池交換站使用率最大化。

### 4.1.1 最佳化的參數設置

利用 Simul8 模擬軟體內建的 Optquest 功能時，需投入決策變數有 11

個，如圖 4.1 所示。

Select	Variable Name	Lower Bound	Suggested Value	Upper Bound	Type
<input checked="" type="checkbox"/>	Attractions1.Number Available	0	0	1	Discrete (1) ▾
<input checked="" type="checkbox"/>	Attractions2.Number Available	0	0	1	Discrete (1) ▾
<input checked="" type="checkbox"/>	Attractions3.Number Available	0	0	1	Discrete (1) ▾
<input checked="" type="checkbox"/>	Attractions4.Number Available	0	0	1	Discrete (1) ▾
<input checked="" type="checkbox"/>	Attractions5.Number Available	0	0	1	Discrete (1) ▾
<input checked="" type="checkbox"/>	Attractions6.Number Available	0	0	1	Discrete (1) ▾
<input checked="" type="checkbox"/>	Attractions7.Number Available	0	0	1	Discrete (1) ▾
<input checked="" type="checkbox"/>	Attractions8.Number Available	0	0	1	Discrete (1) ▾
<input checked="" type="checkbox"/>	Attractions9.Number Available	0	0	1	Discrete (1) ▾
<input checked="" type="checkbox"/>	Attractions10.Number Available	0	0	1	Discrete (1) ▾
<input checked="" type="checkbox"/>	TNPEC.Number Available	0	0	30	Discrete (1) ▾

圖 4.1 決策變數設置

資料來源：本研究整理

決策變數包含以下

- Attractions1.Number.Available：是否有在 ST 大樓設置電池交換站
- Attractions 2.Number.Available：是否有在圖書館設置電池交換站
- Attractions 3.Number.Available：是否有在教堂設置電池交換站
- Attractions 4.Number.Available：是否有在陽光草皮設置電池交換站
- Attractions 5.Number.Available：是否有在乳品小站設置電池交換站
- Attractions 6.Number.Available：是否有在乳牛場設置電池交換站
- Attractions 7.Number.Available：是否有在東海湖設置電池交換站
- Attractions 8.Number.Available：是否有在音美館設置電池交換站
- Attractions 9.Number.Available：是否有在管理學院設置電池交換站
- Attractions 10.Number.Available：是否有在 ST 大樓設置電池交換站
- TNPEC.Number.Available：行駛中無電量之電動載具數量

在電動載具電池交換站系統中，利用開關(有無)的概念代表此景點是否有設置電池交換站，因此假設 Upper Bound =1 代表此景點有設置電池交換站，Lower bound=0 代表此景點無設置電池交換站，而行駛中無電量之電動載具數量的 Upper Bound =30 代表旅客的電動載具行駛途中無電量的數量限制在 30 輛以下，Upper Bound =0 代表旅客的電動載具行駛途中無電量的數量限制在 0 輛，上述資料型態為不連續，無法分割成小數點，所以資料型態為離散。

```
Attractions1.Number Available + Attractions2.Number Available + Attractions3.Number Available + Attractions4.Number Available
+ Attractions5.Number Available + Attractions6.Number Available + Attractions7.Number Available + Attractions8.Number Available
+ Attractions9.Number Available + Attractions10.Number Available + TNPEC.Number Available <= 10

Attractions1.Number Available + Attractions2.Number Available + Attractions3.Number Available + Attractions4.Number Available
+ Attractions5.Number Available + Attractions6.Number Available + Attractions7.Number Available + Attractions8.Number Available
+ Attractions9.Number Available + Attractions10.Number Available + TNPEC.Number Available >= 1

TNPEC.Number Available <= 10
TNPEC.Number Available >= 0
```

圖 4.2 限制條件

資料來源：本研究整理

如上圖 4.2 所示，將限制輸入到 Optquest 中，設置電池交換站總數量的限制為 10 個，至少有一個景點有設置電池交換站，在 1023 組合中，搜尋到最佳解，而在行駛中無電量之電動載具數量的限制為 10 輛以下。如下圖 4.3 所示，設定平均電池交換站使用率(Total battery exchange stations)的搜尋目標為最大化(Maximize Objective)。

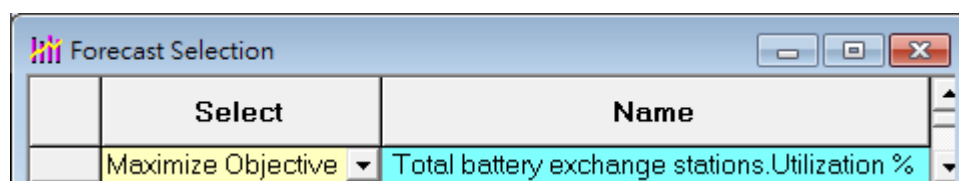


圖 4.3 目標設置

資料來源：本研究整理

#### 4.1.2 最佳化搜尋過程與結果

最佳化搜尋過程如下表 4.1 所示，利用系統模擬 Simul8 的 Optquest 進行最佳化搜尋，預設操作時間為 1023 次，表 10 中有模擬的次數、可設置電池交換站的景點、電池交換站總個數、平均電池交換站使用率、行駛中無電量之電動載具數量，模擬結果如下列。

第 4 次模擬結果：ST 大樓、圖書館、教堂、陽光草皮、乳品小站設置電池交換，電池交換站設置數量為 5 個，電池交換站使用率為 68%，

表 4.1 最佳化搜尋過程

各景點 \ 模擬次數(次)	第 4 次	第 9 次	第 170 次	第 252 次	第 536 次
ST 大樓	1	1	1	1	1
中正堂	0	0	0	0	0
圖書館	1	1	0	1	0
教堂	1	0	1	0	1
陽光草皮	1	1	1	1	0
乳品小站	1	0	0	1	1
乳牛場	0	1	0	0	0
東海湖	0	0	0	0	0
音美館	0	0	0	0	1
管理學院	0	1	1	1	0
電池交換站總數量	5 個	5 個	4 個	5 個	4 個
平均電池交換站 使用率	68%	69%	70.5%	71%	73%
行駛中無電量 之電動載具數量	10 輛	10 輛	5 輛	9 輛	5 輛

行駛中無電量之電動載具為 10 輛。

第 9 次模擬結果：ST 大樓、圖書館、陽光草皮、乳牛場、管理學院設置電池交換，電池交換站設置數量為 5 個，電池交換站使用率為 69%，行駛中無電量之電動載具為 10 輛。

第 170 次模擬結果：ST 大樓、教堂、陽光草皮與管理學院設置電池交換站，電池交換站設置數量為 4 個，電池交換站使用率為 70.5%，行駛中無電量之電動載具為 5 輛。

第 252 次模擬結果：ST 大樓、圖書館、陽光草皮、乳品小站與管理學院設置電池交換站，電池交換站設置數量為 5 個，電池交換站使用率為 73%，行駛中無電量之電動載具為 9 輛。

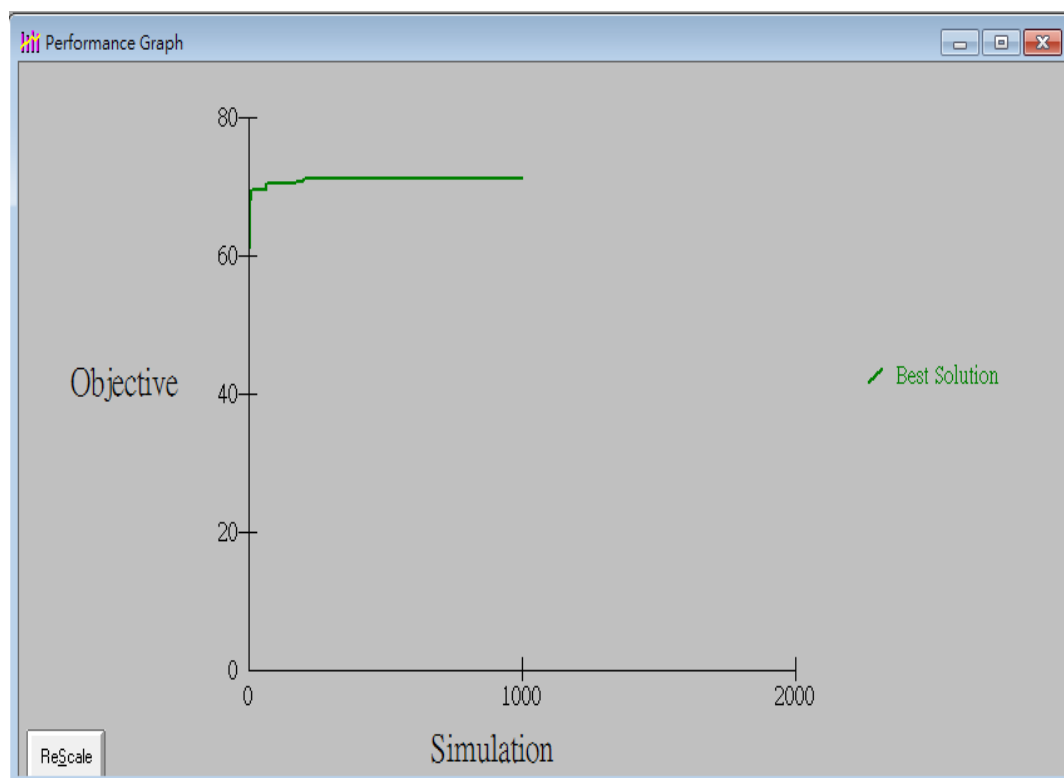


圖 4.4 最佳化搜尋過程

資料來源：本研究整理

根據最佳化搜尋過程(圖 4.4)，圖形在 536 次時，已趨緩於平線，以達收斂狀態，故搜尋到最佳解，此最佳解為在 ST 大樓、教堂、乳品小站與音美館設置電池交換站，電池交換站設置數量為 4 個，電池交換站使用率達 73%，而行駛中無電量之電動載具為 5 輛。

如下圖 4.5 所示，將最佳化結果-電池交換站設置位置，標記在東海大學地圖，本研究發現所設置的景點平均配置在東海大學校，ST 大樓與教堂的距離為 800 公尺、教堂與乳品小站為 900 公尺、乳品小站與音美館的距離為 1000 公尺，因此在行駛中無電量之電動載具數量限制為 10 輛的條件下，將電池交換站設置在 ST 大樓、教堂、乳品小站與音美館為最佳的資源配置。

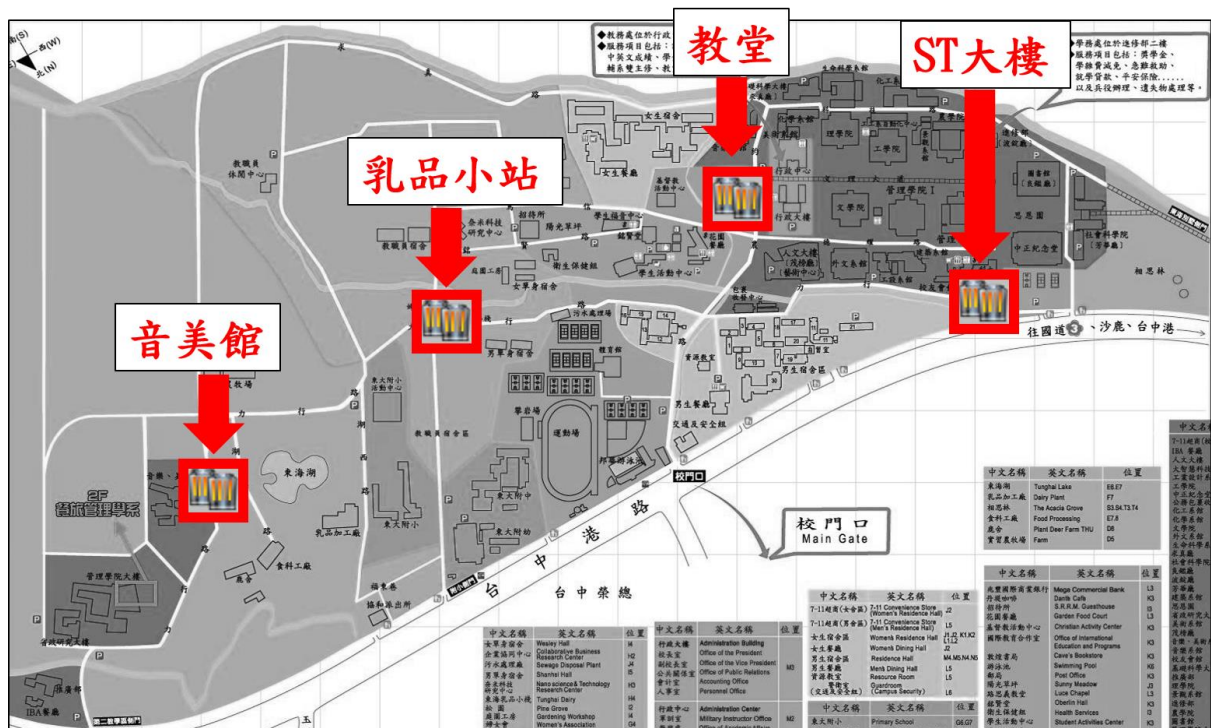


圖 4.5 最佳化結果-電池交換站設置位置  
 資料來源：修改自東海大學網站

## 4.2 策略分析

為探討在不同限制條件下，對於電動載具電池交換站的設置位置及數量之影響，本研究透過改變決策變數的限制，考慮決策變數會在一定的範圍內變動時，使電池交換站的設置位置與數量之改變，成為不同的策略方案，以系統模擬最佳化去搜尋不同策略的電池交換站設置位置及數量之最佳化組合，將提供決策者不同策略方案的參考，並探討在不同的電池交換站設置位置及數量時，電池交換站的使用率是如何變化。

### 4.2.1 策略說明

- 策略一：將決策變數中的行駛中無電量之電動載具限制設定為 15 輛
- 策略二：將決策變數中的行駛中無電量之電動載具限制設定為 20 輛
- 策略三：將決策變數中的行駛中無電量之電動載具限制設定為 25 輛
- 策略四：將決策變數中的行駛中無電量之電動載具限制設定為 30 輛

### 4.2.2 Optimization Model 架構

Max  $f$  平均電池交換站使用率( $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, m, n$ )

s. t.

$$1 \leq \sum_{i=1}^{10} x_i \leq m$$

$$n < 15、20、25、30$$

$$0 \leq x_i \leq 1$$

$$\text{Lower bound} \leq x_i, m, n \leq \text{Upper bound}$$

$$x_i, m, n \in \text{integer } i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$$



參數說明：

$f$  平均電池交換站使用率( $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, m, n$ )：代表目標函數平均電池交換站使用率的值，其為決策變數( $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, m, n$ )的對應目標函式。

$x_1$ ：在 ST 大樓設置電池交換站

$x_2$ ：在中正堂設置電池交換站

$x_3$ ：在圖書館設置電池交換站

$x_4$ ：在教堂設置電池交換站

$x_5$ ：在陽光草皮設置電池交換站

$x_6$ ：在乳品小站設置電池交換站

$x_7$ ：在乳牛場設置電池交換站

$x_8$ ：在東海湖設置電池交換站

$x_9$ ：在音美館設置電池交換站

$x_{10}$ ：在管理學院設置電池交換站

$m$ ：設置電池交換站總數量

$n$ ：行駛中無電量之電動載具數量(TNPEC, Total no power electric car)

### 4.3 策略最佳化搜尋過程

利用系統模擬 Simul8 的 OptQuest 進行最佳化計算，預設尋找次數為 1023 次，策略一的最佳化搜尋過程(圖 4.6)，此策略是將決策變數中的行駛中無電量之電動載具限制設定為 15 輛，數據運作約 398 次後，圖形已趨緩於平線，故推測已搜尋到最佳解，本研究將結果整理成表 4.2，此平均電池交換站使用率為 78%，行駛中無電量之電動載具為 11 輛，設置電池交換站為 4 個，設置的位置為中正堂、陽光草皮、乳牛場與管理學院。如下圖 4.7 所示，將策略一最佳化結果-電池交換站設置位置，標記在東海大學地圖。

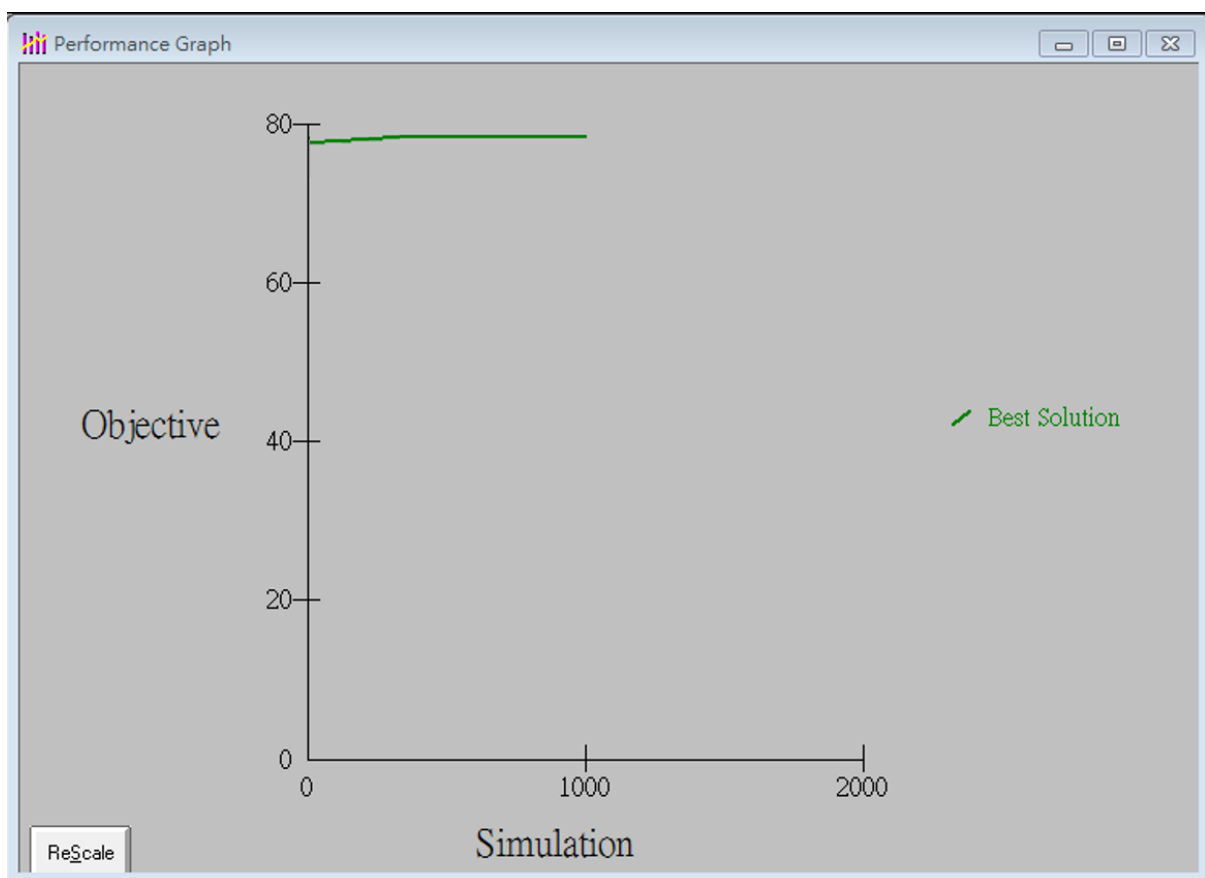


圖 4.6 策略一的最佳化搜尋過程

資料來源：本研究整理

表 4.2 策略一的電池交換站設置地點

各景點	0 代表無設置 1 代表有設置
ST 大樓	0
中正堂	1
圖書館	0
教堂	0
陽光草皮	1
乳品小站	0
乳牛場	1
東海湖	0
音美館	0
管理學院	1
電池交換站總數量	4 個
平均電池交換站 使用率	78%
行駛中無電量 之電動載具數量	11 輛

資料來源：本研究整理



圖 4.7 策略一最佳化結果-電池交換站設置位置

資料來源：修改自東海大學網站

策略二的最佳化搜尋過程(圖 4.8)，此策略是將決策變數中的行駛中無電量之電動載具限制設定為 20 輛，數據運作約 486 次後，圖形已趨緩於平線，故推測已搜尋到最佳解，本研究將結果整理成表 4.3，此平均電池交換站使用率為 81%，行駛中無電量之電動載具為 17 輛，設置電池交換站為 4 個，設置的位置為圖書館、教堂、乳牛場與管理學院。如下圖 4.9 所示，將策略二最佳化結果-電池交換站設置位置，標記在東海大學地圖。

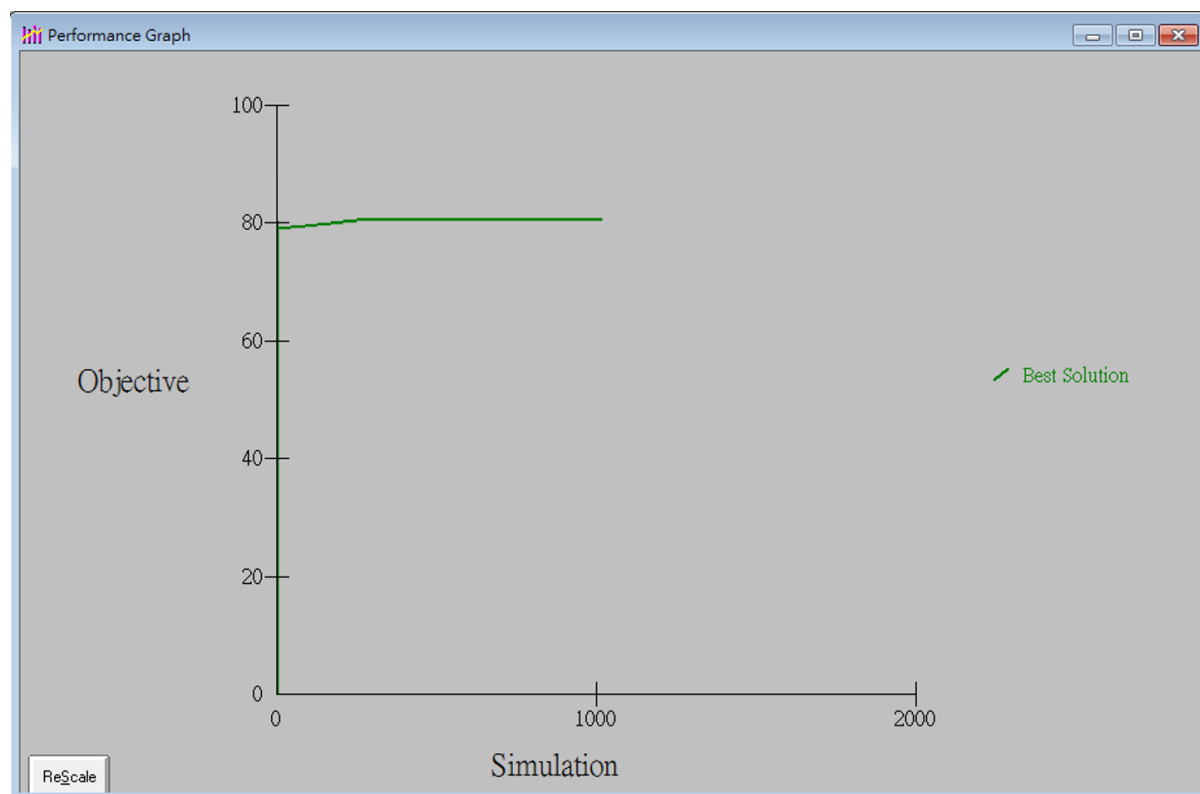


圖 4.8 策略二的最佳化搜尋過程

資料來源：本研究整理

表 4.3 策略二的電池交換站設置地點

各景點	0 代表無設置 1 代表有設置
ST 大樓	0
中正堂	0
圖書館	1
教堂	1
陽光草皮	0
乳品小站	0
乳牛場	1
東海湖	0
音美館	0
管理學院	1
電池交換站總數量	4 個
平均電池交換站 使用率	81%
行駛中無電量 之電動載具數量	17 輛

資料來源：本研究整理



策略三的最佳化搜尋過程(圖 4.10)，此策略是將決策變數中的行駛中無電量之電動載具限制設定為 25 輛，數據運作約 513 次後，圖形已趨緩於平線，故推測已搜尋到最佳解，本研究將結果整理成表 4.4，此平均電池交換站使用率為 85%，行駛中無電量之電動載具為 22 輛，設置電池交換站為 3 個，設置的位置為中正堂、乳品小站與音美館。如下圖 4.11 所示，將策略三最佳化結果-電池交換站設置位置，標記在東海大學地圖。

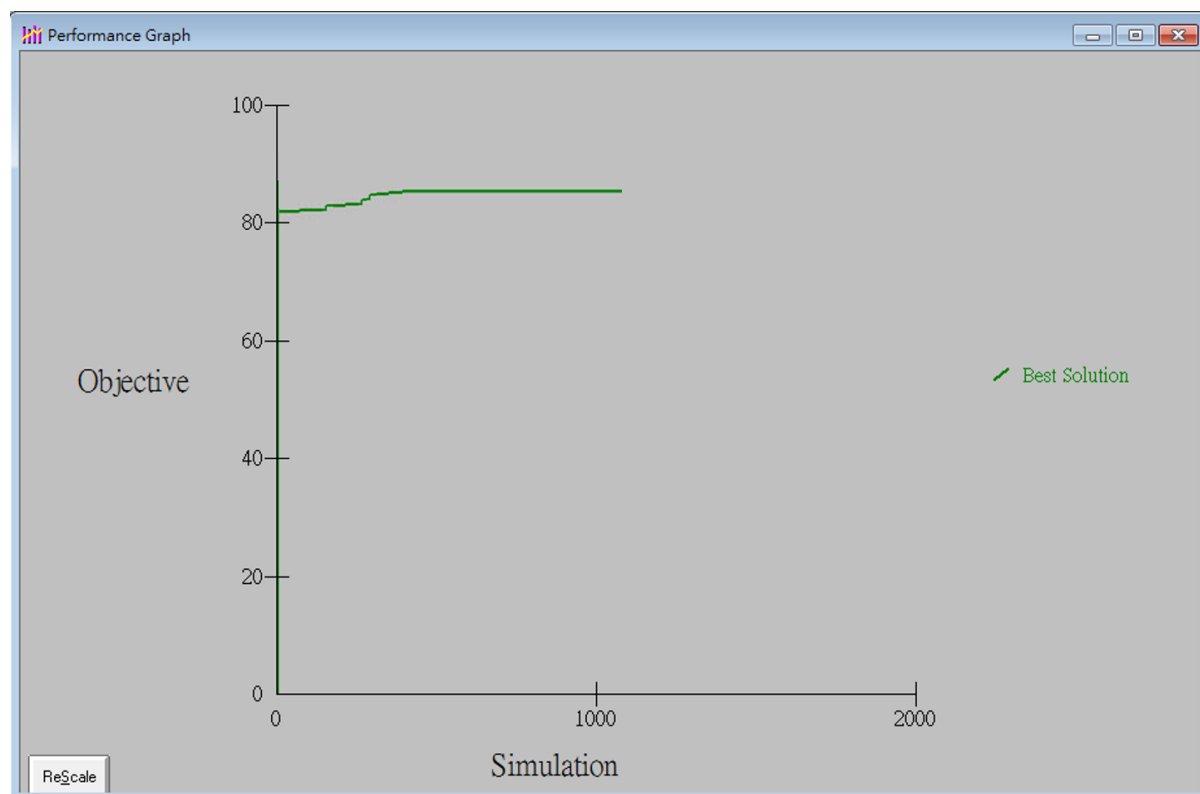


圖 4.10 策略三的最佳化搜尋過程

資料來源：本研究整理

表 4.4 策略三的電池交換站設置地點

各景點	0 代表無設置 1 代表有設置
ST 大樓	0
中正堂	1
圖書館	0
教堂	0
陽光草皮	0
乳品小站	1
乳牛場	0
東海湖	0
音美館	1
管理學院	0
電池交換站總數量	3 個
平均電池交換站 使用率	85%
行駛中無電量 之電動載具數量	22 輛

資料來源：本研究整理



圖 4.11 策略三最佳化結果-電池交換站設置位置

資料來源：修改自東海大學網站

策略四的最佳化搜尋過程(圖 4.12),此策略是將決策變數中的行駛中無電量之電動載具限制設定為 25 輛,數據運作約 568 次後,圖形已趨緩於平線,故推測已搜尋到最佳解,本研究將結果整理成表 4.5,此平均電池交換站使用率為 88%,行駛中無電量之電動載具為 26 輛,設置電池交換站為 3 個設置的位置為 ST 大樓、陽光草皮與管理學院。如下圖 4.13 所示,將策略四最佳化結果-電池交換站設置位置,標記在東海大學地圖。

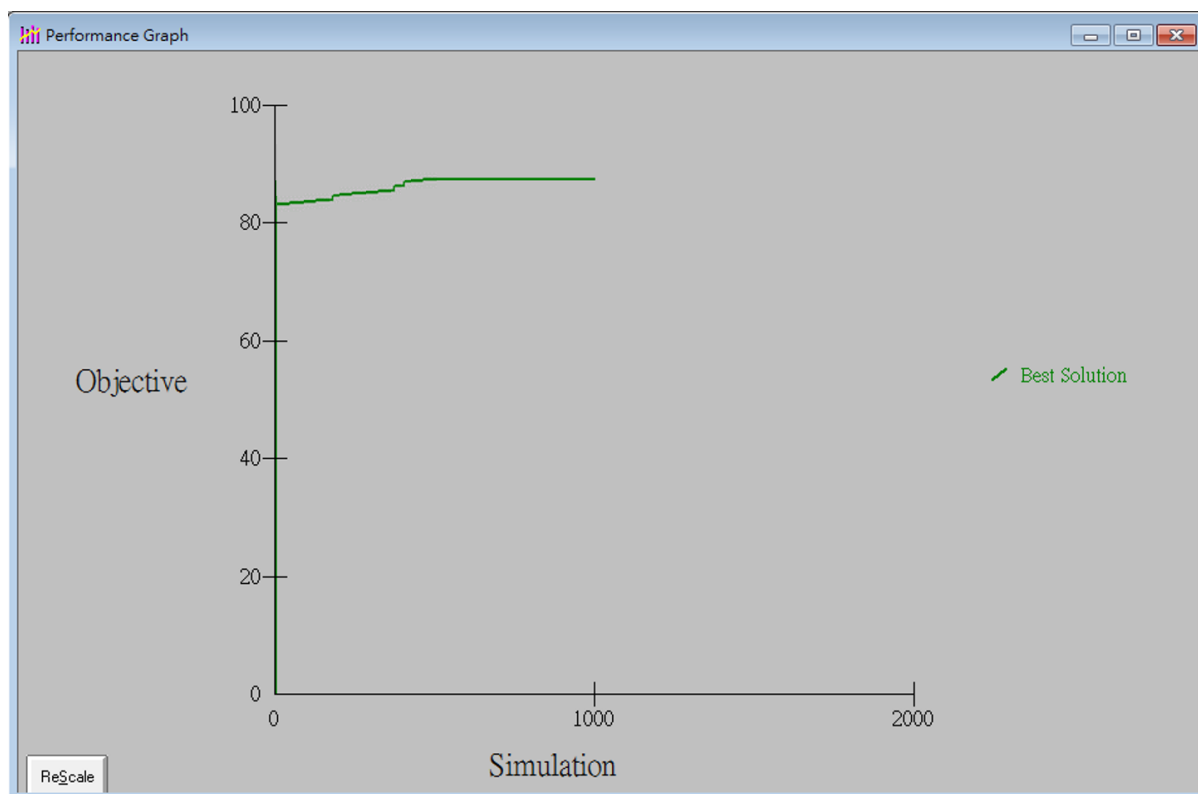


圖 4.12 策略四的最佳化搜尋過程

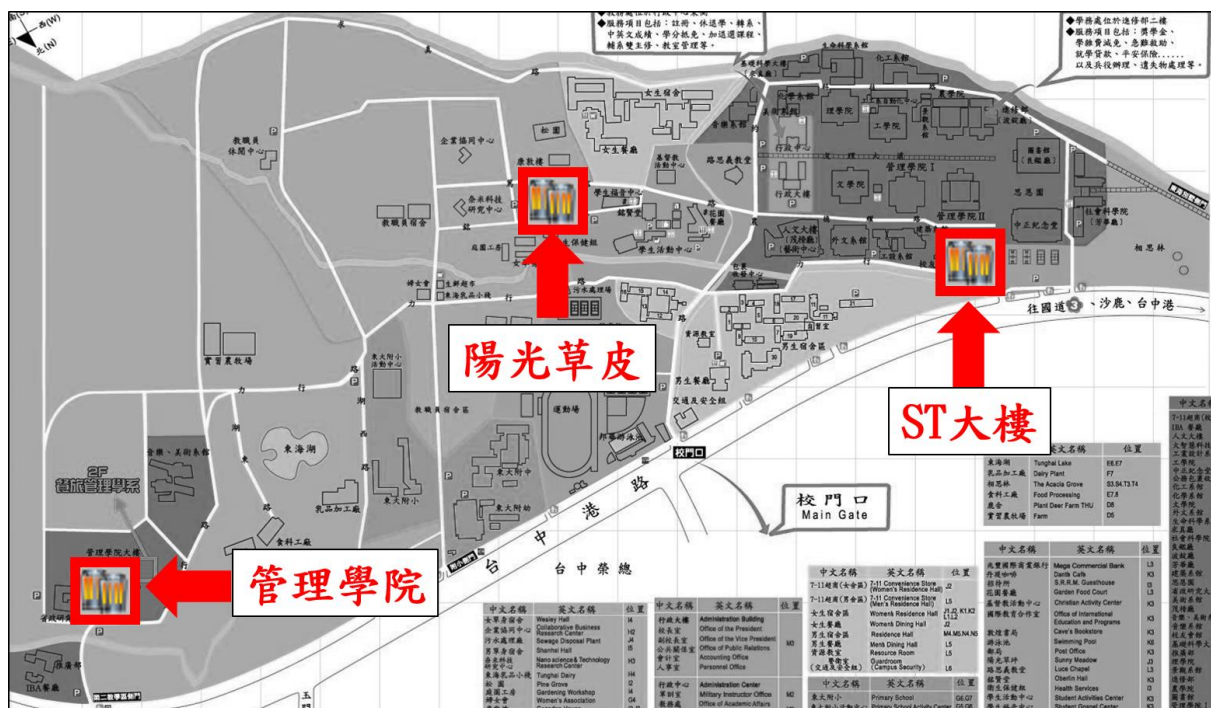
資料來源：本研究整理



表 4.5 策略四的電池交換站設置地點

各景點	0 代表無設置 1 代表有設置
ST 大樓	1
中正堂	0
圖書館	0
教堂	0
陽光草皮	1
乳品小站	0
乳牛場	0
東海湖	0
音美館	0
管理學院	1
電池交換站總數量	3 個
平均電池交換站 使用率	88%
行駛中無電量 之電動載具數量	26 輛

資料來源：本研究整理



#### 4.4 策略分析綜合比較

本研究將 5 個不同的電池交換站設置位置及數量的結果，整理成表 4.6 進行綜合比較，在原策略、策略一與策略二比較後，都是設置 4 個電池交換站，但因為電池交換站的設置地點不同，平均電池交換站使用率與行駛中無電量之電動載具數量隨著改變，原策略與策略一的平均電池交換站使用率差 5%，行駛中無電量之電動載具數量差 6 輛，策略一與策略二的平均電池交換站使用率差 3%，行駛中無電量之電動載具數量差 6 輛。

表 4.6 策略綜合分析比較

各景點 \ 策略	原策略	策略一	策略二	策略三	策略四
ST 大樓	1	0	0	0	1
中正堂	0	1	0	1	0
圖書館	0	0	1	0	0
教堂	1	0	1	0	0
陽光草皮	0	1	0	0	1
乳品小站	1	0	0	1	0
乳牛場	0	1	1	0	0
東海湖	0	0	0	0	0
音美館	1	0	0	1	0
管理學院	0	1	1	0	1
電池交換站總數量	4 個	4 個	4 個	3 個	3 個
平均電池交換站使用率	73%	78%	81%	85%	88%
行駛中無電量之電動載具數量	5 輛	11 輛	17 輛	22 輛	26 輛

在策略三與策略四比較後，都是設置 3 個電池交換站，但因為電池交換站的設置地點不同，平均電池交換站使用率與行駛中無電量之電動載具數量隨著改變，策略三與策略四的平均電池交換站使用率差 3%，行駛中無電量之電動載具數量差 4 輛。

本研究針對原策略與策略四進行分析，原策略雖然平均電池交換站使用率為 73%，與策略四的平均電池交換站使用率 88%，相差 15%，但是策略四的行駛中無電量之電動載具數量高達 26 輛，與原策略的行駛中無電量之電動載具數量 5 輛，相差 21 輛，在多一個電池交換站的情況下，能降低行駛中無電量之電動載具的數量，以提高電動載具電池交換站系統的服務品質。

在策略二、策略三與策略四的平均電池交換站使用率皆為 80% 以上，而策略二雖然平均電池交換站使用率為 81%，與策略四的平均電池交換站使用率 88%，相差 7%，但是策略四的行駛中無電量之電動載具數量高達 26 輛，與原策略的行駛中無電量之電動載具數量 17 輛，相差 9 輛，也是在多一個電池交換站的情況下，能降低行駛中無電量之電動載具的數量，以提高電動載具電池交換站系統的服務品質。

在經本研究分析後，設置 4 個電池交換站為最佳的策略，而原策略與策略二的比較，因電池交換站設置的位置不同，將此電池交換站設置位的置標記在東海大學地圖(圖 4.14)，正方形為原策略的電池交換站的設置位置，此位置為 ST 大樓、乳品小站、教堂與音美館。三角形為策略二的電池交換站的設置位置，此位置為圖書館、教堂、乳牛場與管理學院。圓形為原策略與策略二都有電池交換站的設置，本研究發現在教堂此點都會設置電池交換站，因為教堂為東海大學一校區通往二校區的需經過的景點之一，假如此景點無設置電池交換站，可能會造成旅客與學生從一校區的圖書館騎到二校區的管理學院時，電動載具中途無電量。在考慮原策略與策略二的平均電池交換站使用率與行駛中無電量之電動載具數量，假如決策者希望電池交換站的使用率能超過 80%的話，可選擇策略二為建構電動載具電池交換站系統的基礎，反之，假如決策者希望行駛中無電量之電動載具數量要最低，可選擇原策略為建構電動載具電池交換站系統的基礎。



圖 4.14 電池交換站位置綜合比較

資料來源：修改自東海大學網站

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

對於系統規畫者若未針對各租賃站設置適當的車輛或租賃站所設置的位置進行規劃，使用者可能會遇到無車可借或無位可還的問題，進而降低整體系統使用效率。假如是電動載具租賃站系統，將會考慮電池交換站的設置數量與位置，若電池交換站的設置位置與數量不適當的話，將會容易造成使用者騎乘電動載具中，中途無電量卻沒有地方能進行電池的交換站，以降低整體電動載具電池交換站系統的服務品質。

本研究利用系統模擬，以東海大學為場域，建構電動載具電池交換站系統，以系統模擬最佳化，求解電池交換站的設置位置與數量，並達成以下目標。

1. 本研究利用系統模擬，在行駛中無電量之電動載具數量為 10 輛的限制條件下，找到電池交換站使用率為最高的最佳設置位置及數量，此最佳解為在 ST 大樓、教堂、乳品小站與音美館設置電池交換站，電池交換站設置數量為 4 個，電池交換站使用率達 73 %，而行駛中無電量之電動載具為 5 輛，此為原策略。
2. 本研究利用系統模擬，在不同的限制條件下，提出 4 個不同的電池交換站之設置數量與位置的策略。
  - 策略一：此最佳解為中正堂、陽光草皮、乳牛場與管理學院設置電池交換站，電池交換站設置數量為 4 個，電池交換站使用率達 78 %，而行駛中無電量之電動載具為 11 輛。
  - 策略二：此最佳解為在圖書館、教堂、乳牛場與管理學院設置電池交換站，電池交換站設置數量為 4 個，電池交換站使用率達 81 %，而行駛中無電量之電動載具為 17 輛。
  - 策略三：此最佳解為在中正堂、乳品小站與音美館設置電池交換站，電池交換站設置數量為 3 個，電池交換站使用率達 85 %，而行駛中無電量之電動載具為 22 輛。
  - 策略四：此最佳解為在 ST 大樓、陽光草皮與管理學院設置電池交換站，電池交換站設置數量為 3 個，電池交換站使用率達 88 %，而行駛中無電量之電動載具為 26 輛。

本研究綜合上述分析，策略三與策略四為設置 3 個電池交換站，在行駛中無電量的電動載具數量皆超過 20 輛，雖然平均電池交換站使用率皆在 85%，但考慮整體電動載具電池交換站系統的服務品質，將考慮其他電池交換站設置位置與設置數量之策略。

原策略、策略一與策略二皆是設置 4 個電池交換站，在行駛中無電量的電動載具數量皆低於 20 輛，平均電池交換站使用率皆在 70~85%。但因不同的設置位置，行駛中無電量的電動載具數量與平均電池交換站數量也會不同。而本研究針對原策略與策略二分析，發現在教堂此點都會設置電池交換站，因為教堂為東海大學一校區通往二校區的需經過的景點之一，假如此景點無設置電池交換站，可能會造成旅客與學生從一校區的圖書館騎到二校區的管理學院時，電動載具中途無電量。在考慮原策略與策略二的平均電池交換站使用率與行駛中無電量之電動載具數量，假如決策者希望電池交換站的使用率能超過 80% 的話，可選擇策略二為建構電動載具電池交換站系統的基礎，反之，假如決策者希望行駛中無電量之電動載具數量要最低，可選擇原策略為建構電動載具電池交換站系統的基礎。

## 5.2 未來研究建議

本研究利用系統模擬最佳化去求解電動載具電池交換站系統，系統以最高的平均電池交換站使用率為目標，此屬於單一目標求解，在未來的研究方向，將能利用系統模擬方法結合粒子群最佳化 (Particle Swarm Optimization, PSO) 求解電動載具電池交換站系統之多目標問題，系統以設置成本與電池交換站使用率為多目標。

## 參考文獻

### 中文文獻

1. 王俊偉. (2011). 以系統模擬探討公共自行車租賃系統之建置及營運策略. 成功大學資訊管理研究所學位論文. 台南市.
2. 王進和. (2011). 探討電動車電池之發展趨勢-情境分析法之應用. 高雄大學國際高階經營管理碩士在職專班學位論文. 台南市.
3. 吳南億. (2001). 以數位信號處理器為基礎之電動機車無刷馬達驅動器. 冷凍與空調. 18. 59-65.
4. 林保超, 吳秉宸與張舜長. (2015). 輕型電動載具電池管理系統之研究. 科學與工程技術期刊. 11(1), 53-61.
5. 林則孟. (2002). 系統模擬理論與應用. 滄海書局. 台中市
6. 侯東旭, 黃志剛, 黃智偉, 沈武賢與蔡長煥. (1999). 應用模擬技術於流程改善評估之研究-以衛生署朴子醫院為例. 醫療資訊雜誌. 12(10), 27-40
7. 姜林杰祐, 張逸輝, 陳家明與黃家祚. (2001). 系統模擬 eM-Plant(S IMPL++)操作與實務. 華泰文化. 台北市
8. 洪菁蓬. (2011). 公共自行車租賃系統之最佳租賃站位址設置及車輛運補策略之研究. 成功大學工業與資訊管理學系學位論文. 台南市
9. 張立蓁. (2010). 都會區公共自行車租賃系統之設計與營運方式研究. 成功大學資訊管理研究所學位論文. 台南市
10. 張怡秋與吳憲璋. (1999). 應用企業再造與系統模擬於醫院的健康檢查. 中國工業工程學會論文集. 36-53.
11. 張學孔. (2001). 永續發展與綠色交通. 經濟前瞻. 76. 116-121
12. 梁世安, & 余國璋. (2005). 以科技接受模式探討二輪式電動代步車消費者接受程度. 行銷評論. 2(2). 13-21
13. 梁瑜庭. (2013). 公共電動機車共享系統之最佳車輛佈署策略研究. 成功大學資訊管理研究所學位論文. 台南市
14. 許添本. (2003). 人本交通與綠色交通的發展理念. 都市交通. 18(3). 41-52
15. 劉宜青. (2012). 以模擬最佳化求解公共自行車共享系統之初始車輛配置策略. 成功大學工業與資訊管理學系碩士在職專班學位論文. 台南市
16. 蔡致堅. (2011, 11月17號). 智慧電動車先導運行營運啟動. 全民體驗便利行動新生活. 汽車日報. 5版



## 英文文獻

1. Banks, J. (1998). *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. Cleveland: John Wiley & Sons.
2. Dong, J., Liu, C., & Lin, Z. (2014). Charging infrastructure planning for promoting battery electric vehicles: An activity-based approach using multiday travel data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 38, 44-55.
3. He, F., Wu, D., Yin, Y., & Guan, Y. (2013). Optimal deployment of public charging stations for plug-in hybrid electric vehicles. *Transportation Research Part B: Methodological*. 47. 87-101.
4. Ip, A., Fong, S., & Liu, E. (2010, November). Optimization for allocating BEV recharging stations in urban areas by using hierarchical clustering. In *Advanced Information Management and Service (IMS). 2010 6th International Conference on* (pp. 460-465). IEEE.
5. Kelton, W. D., & Law, A. M. (2000). *Simulation modeling and analysis*. Boston: McGraw Hill.
6. Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modeling & Analysis*. Cleveland: McGraw-Hill
7. Lin, J. R., & Yang, T. H. (2011). Strategic design of public bicycle sharing systems with service level constraints. *Transportation research part E: logistics and transportation review*. 47(2). 284-294.
8. Shannon, R. E. R. E. (1975). *Systems simulation; the art and science* (No. 04; T57. 62, S4.).
9. Shannon, R. E., Sadowski, R. P., & Pegden, C. D. (1995). *Introduction to simulation using SIMAN*. Boston: McGraw-Hill
10. Wang, Y. W., & Lin, C. C. (2013). Locating multiple types of recharging stations for battery-powered electric vehicle transport. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 58, 76-87.
11. Yang, T. H., Lin, J. R., & Chang, Y. C. (2010). Strategic design of public bicycle sharing systems incorporating with bicycle stocks considerations. In *Computers and Industrial Engineering (CIE). 2010 40th International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
12. Zheng, Y., Dong, Z. Y., Xu, Y., Meng, K., Zhao, J. H., & Qiu, J. (2014). Electric vehicle battery charging/swap stations in distribution systems: comparison study and optimal planning. *Power Systems. IEEE Transactions on*. 29(1). 221-229.