

113-037-5518
MOTC-IOT-112-IDB020

電動大客車數據分析與應用計畫(1/2) -數據研析與關鍵指標建立



交通部運輸研究所

中華民國 113 年 5 月

113-037-5518
MOTC-IOT-112-IDB020

電動大客車數據分析與應用計畫(1/2) -數據研析與關鍵指標建立

著者：林幸加、周諺鴻、曾依蘋、曹晉瑜、廖建韋、味詩捷、
王彥婷、涂仁維、袁堂耀、黃宜人、吳東凌、陳翔捷

交通部運輸研究所

中華民國 113 年 5 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

電動大客車數據分析與應用計畫(1/2)-數據研析與
關鍵指標建立/林幸加, 周諺鴻, 曾依蘋, 曹晉瑜,
廖建韋, 味詩捷, 王彥婷, 涂仁維, 袁堂耀, 黃宜
人, 吳東凌, 陳翔捷著. -- 初版. -- 臺北市 :
交通部運輸研究所, 民 113. 03

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-595-5(平裝)

1. 電動大客車 2. 營運數據分析 3. 關鍵指標

557.15

113006032

電動大客車數據分析與應用計畫(1/2)-數據研析與關鍵指標建立

著 者：林幸加、周諺鴻、曾依蘋、曹晉瑜、廖建韋、味詩捷、
王彥婷、涂仁維、袁堂耀、黃宜人、吳東凌、陳翔捷

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話：(02)2349-6789

出版年月：中華民國 113 年 5 月

印 刷 者：全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 56 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：380 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸科技及資訊組・電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號・電話：(04)2226-0330

GPN: 1011300568

ISBN: 978-986-531-595-5(平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所
書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：電動大客車數據分析與應用計畫(1/2)-數據研析與關鍵指標建立			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-595-5(平裝)	政府出版品統一編號 1011300568	運輸研究所出版品編號 113-037-5518	計畫編號 112-IDB020
本所主辦單位：運輸科技及資訊組 主管：吳東凌 計畫主持人：吳東凌 研究人員：陳翔捷 聯絡電話：(02)23496886 傳真號碼：(02)25450426	合作研究單位：鼎漢國際工程股份有限公司 計畫主持人：林幸加 研究人員：周諺鴻、曾依蘋、曹晉瑜、 廖建韋、味詩捷、王彥婷、 涂仁維、袁堂耀、黃宜人 地址：臺北市信義區松山路 130 號 5 樓 聯絡電話：(02)27488822		研究期間 自 112 年 6 月 至 112 年 12 月
關鍵詞：電動大客車、營運數據分析、關鍵指標			
摘要： 國發會公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」中的運輸部門產業轉型策略「運具電氣化」，訂定市區公車 2030 年全面電動化之目標。為達成此目標，交通部、經濟部與環保署持續推動相關策略；其中，交通部運研所自 108 年開始建置電動大客車營運數據監控管理平臺，並建立資料傳輸作業機制，持續追蹤與掌握導入之電動大客車輛營運績效與長期行駛特性。 本計畫針對電動大客車營運數據監控管理平臺與跨域平臺(如天氣、駕駛行為、電量與放電深度、充電、路線型態等)經年累積蒐集之巨量靜態與動態數據，建立營運關鍵分析指標，並研提適合我國電動大客車之大數據分析與應用架構，以精進電動大客車營運管理與推動策略。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
113 年 5 月	318	380	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註： 1. 本研究之結論與建議不代表交通部意見 2. 本研究係使用交通部公路局經費辦理。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Electric Bus Data Analysis and Application (1/2) - Data Analysis and Key Indicators Establishment			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-531-595-5(pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011300568	IOT SERIAL NUMBER 113-037-5518	PROJECT NUMBER 112-IDB020
DIVISION: Transportation Technology and Information System Division DIVISION DIRECTOR: Dong-Ling Wu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Dong-Ling Wu PROJECT STAFF: Siang-Jie Chen PHONE: 886-2-23496886 FAX: 886-2-25450426			PROJECT PERIOD FROM June 2023 TO December 2023
RESEARCH AGENCY: THI Consultants Inc. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsing-Chia Lin PROJECT STAFF: Yi-Ping Tseng, Chin-Yu Tsao, Chien-Wei Liao, Shih-Chieh Wei, Yen-Ting Wang, Jen-Wei Tu, Tang-Yao Yuan, I-Ren Huang ADDRESS: 5F., No. 130, Songshan Rd., Xinyi Dist., Taipei City 110048, Taiwan PHONE: 886-2-27488822			
KEYWORDS: Electric bus, Performance analysis, Key indicator			
ABSTRACT: The National Development Council has released the ""Taiwan's Pathway to Net-Zero Emissions in 2050," and the transportation sector of "Electric and Carbon-Free Vehicles " has been one of the 12 key strategies. The goal is to achieve the complete electrification of city bus by 2030. To accomplish this objective, the Ministry of Transportation and Communications, the Ministry of Economic Affairs, and the Environmental Protection Administration are actively promoting relevant strategies. Starting from 2019, the Institute of Transportation, MOTC (IOT) has established the Electric Bus Operational Data System, and set up data transmission protocols to continuously collect long-term practical performance for electric buses online. IOT holds a two-year project in order to continuously improve the overall operational quality of electric buses. In the first year, it aims to utilize the vast amount of static and dynamic data collected from the platform and cross-domain platforms (such as weather, driving behavior, battery capacity and discharge depth, charging, route patterns, etc.) to establish the key operational analysis indicators. Furthermore, the project has proposed a suitable big data analysis and application framework for electric buses in Taiwan and define the application directions of artificial intelligence (AI) technology for electric bus data research, with the aim of enhancing electric bus operational management and driving strategies.			
DATE OF PUBLICATION May 2024	NUMBER OF PAGES 318	PRICE 380	
1. The conclusions and recommendations of this study do not represent the opinion of the Ministry of Transportation and Communication." 2. The budget of this research project is contributed by Highway Bureau, MOTC.			

目 錄

第一章 緒論	1-1
1.1 計畫背景與目的	1-1
1.2 計畫內容與工作項目	1-1
1.3 計畫範圍與對象	1-4
1.4 計畫流程	1-6
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 國內電動大客車推動相關研究計畫成果掌握	2-1
2.2 電動大客車營運數據分析與應用掌握	2-7
2.2.1 國內電動大客車營運數據分析與應用概況與發展趨勢	2-7
2.2.2 國外電動大客車營運數據分析與應用概況與發展趨勢	2-18
2.3 交通巨量數據分析方法與標竿案例	2-26
2.3.1 雲端化分析軟體回顧	2-26
2.3.2 交通巨量數據分析方法	2-33
2.3.3 交通巨量數據分析標竿案例	2-44
2.4 小結	2-76
第三章 電動大客車營運數據監控管理平臺之數據分析與關鍵指標建立	3-1
3.1 電動大客車營運管理精進示範對象研擬	3-1
3.2 客運業者課題掌握與專家學者訪談交流	3-4
3.3 電動大客車營運數據分析與關鍵指標建立	3-11
3.3.1 電動大客車營運數據監控管理平臺之指標	3-11
3.3.2 營運數據分析關鍵指標探勘分析	3-12
3.3.3 分析結果回饋	3-66

3.4 電動大客車導入指南與政策推動建議.....	3-68
第四章 電動大客車營運數據應用架構建立.....	4-1
4.1 整體研究分析架構.....	4-1
4.2 電動大客車營運數據應用架構.....	4-5
4.3 結合跨域資料之數據驅動模型初探.....	4-13
4.3.1 數據驅動模型整體分析構想	4-13
4.3.2 第一年期(112 年)數據驅動模型初探.....	4-15
4.4 電動大客車營運數據應用推動建議.....	4-57
第五章 成果推廣.....	5-1
5.1 辦理成果發表會	5-1
5.2 辦理成果展示及國內交流.....	5-1
5.3 成果資料製作.....	5-3
5.4 成果投稿研討會、運輸計劃季刊或國內、外期刊.....	5-4
5.5 計畫成果推動國際合作初步構想.....	5-5
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論	6-1
6.2 後續建議.....	6-4

參考文獻

附錄一 電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會議重點紀要

附錄二_成果說明影片腳本字幕

附錄三_成果簡報

附錄四_期中報告審查意見處理情形

附錄五_期末報告審查意見處理情形

表 目 錄

表 1.3-1 本計畫研究對象	1-5
表 2.2-1 華德動能智慧車輛管理系統蒐集資料項目	2-9
表 2.2-2 行車紀錄資料封包回傳格式	2-10
表 2.3-1 三大公有雲布局與可用區域比較	2-27
表 2.3-2 三大公有雲優劣勢比較	2-28
表 2.3-3 三大公有雲各服務比較	2-32
表 2.4-1 國內營運數據分析應用案例彙整	2-78
表 2.4-2 國外營運數據分析應用案例彙整	2-79
表 2.4-3 電動大客車交通數據分析標竿案例彙整	2-81
表 3.2-1 客運業者回饋與本計畫建議	3-9
表 3.2-2 專家學者回饋與本計畫建議	3-10
表 3.3-1 營運數據分析公車路線基本資料	3-13
表 3.3-2 路線 R1 各車輛及駕駛行駛班次統計表	3-14
表 3.3-3 路線 R1 用電資料遺漏班次對照表.....	3-15
表 3.3-4 路線 R1 駕駛資料遺漏班次對照表.....	3-16
表 3.3-5 路線 R1 各車輛每班次用電效率表.....	3-18
表 3.3-6 路線 R1 各駕駛每班次用電效率表.....	3-19
表 3.3-7 路線 R2 各車輛及駕駛行駛班次統計表	3-28
表 3.3-8 路線 R2 用電資料遺漏班次對照表.....	3-29
表 3.3-9 路線 R2 駕駛資料遺漏班次對照表.....	3-29
表 3.3-10 路線 R2 各車輛每班次用電效率表.....	3-31
表 3.3-11 路線 R2 各駕駛每班次用電效率表.....	3-32

表 3.3-12 路線 R3 用電資料遺漏班次對照表.....	3-41
表 3.3-13 路線 R3 各車輛每班次用電效率表.....	3-41
表 3.3-14 各充電站車輛開始充電 SOC 資料統計表	3-63
表 3.4-1 電動大客車導入指南(草案)歷次補充內容重點整理	3-68
表 4.1-1 數據驅動模型來源數據資料一覽表	4-2
表 4.2-1 營運數據應用設備規格建議表	4-6
表 4.2-2 地端與雲端比較	4-9
表 4.3-1 大數據蒐集項目範圍表	4-19
表 4.3-2 路線行經道路之地方 VD	4-23
表 4.3-3 用電效率-營運特性數據驅動模型輸入變數.....	4-25
表 4.3-4 用電效率-營運特性數據驅動模型路線資料品質	4-27
表 4.3-5 用電效率-營運特性數據驅動模型車型資料品質	4-27
表 4.3-6 用電效率-營運特性數據驅動模型資料品質	4-28
表 4.3-7 用電效率-營運特性數據驅動模型描述性統計.....	4-29
表 4.3-8 用電效率-營運特性數據驅動模型變數相關分析.....	4-31
表 4.3-9 用電效率-營運特性數據驅動模型(全路線模型)變數重要性順序.....	4-33
表 4.3-10 用電效率-營運特性數據驅動模型(全路線模型)變數	4-34
表 4.3-11 用電效率-營運驅動模型(全路線模型)預測結果輸出	4-34
表 4.3-12 用電效率-營運特性數據驅動模型(第一群)變數重要性順序 ..	4-35
表 4.3-13 用電效率-營運特性數據驅動模型(第一群)模型變數	4-37
表 4.3-14 用電效率-營運驅動模型(第一群)預測結果輸出	4-37
表 4.3-15 用電效率-營運特性數據驅動模型(第二群)變數重要性順序 ..	4-38
表 4.3-16 用電效率-營運特性數據驅動模型(第二群)模型變數	4-39
表 4.3-17 用電效率-營運驅動模型(第二群)預測結果輸出	4-39

表 4.3-18 用電效率-營運特性數據驅動模型(第三群)變數重要性順序 ..	4-40
表 4.3-19 用電效率-營運特性數據驅動模型(第三群)模型變數	4-41
表 4.3-20 用電效率-營運驅動模型(第三群)預測結果輸出	4-41
表 4.3-21 指數回歸輸入變數權重排序	4-42
表 4.3-22 用電效率-營運特性數據驅動模型模型變數	4-43
表 4.3-23 用電效率-營運驅動模型預測結果輸出	4-43
表 4.3-24 指數回歸輸入變數權重排序	4-43
表 4.3-25 用電效率-營運特性數據驅動模型模型變數	4-44
表 4.3-26 用電效率-營運驅動模型預測結果輸出	4-44
表 4.3-27 指數回歸輸入變數權重排序	4-45
表 4.3-28 用電效率-營運特性數據驅動模型模型變數	4-46
表 4.3-29 用電效率-營運驅動模型預測結果輸出	4-46
表 4.3-30 隨機森林輸入變數重要性順序	4-47
表 4.3-31 用電效率-營運特性數據驅動模型模型變數	4-47
表 4.3-32 用電效率-營運驅動模型預測結果輸出	4-48
表 4.3-33 機器學習(xgboost)輸入變數重要性順序	4-48
表 4.3-34 用電效率-營運特性數據驅動模型模型變數	4-49
表 4.3-35 用電效率-營運驅動模型預測結果輸出	4-49
表 4.3-36 深度學習(h2o)輸入變數重要性順序	4-50
表 4.3-37 用電效率-營運特性數據驅動模型模型變數	4-50
表 4.3-38 用電效率-營運驅動模型預測結果輸出	4-51
表 4.4-1 用電效率-營運特性數據驅動模型輸入範例	4-59
表 4.4-2 用電效率-營運特性數據驅動模型預測結果輸出	4-59

圖 目 錄

圖 1.4.1 本計畫執行流程圖.....	1-6
圖 2.1.1 車載機、充電設施及靜態資料之傳輸方式與頻率	2-2
圖 2.1.2 電動大客車導入指南架構.....	2-4
圖 2.1.3 智慧充電排程服務系統架構圖.....	2-5
圖 2.1.4 充電樁車輛充電時程表.....	2-5
圖 2.1.5 電動大客車充電規格.....	2-6
圖 2.1.6 合作示範場域-中興巴士集團北士科站	2-6
圖 2.2.1 華德動能車輛管理系統.....	2-7
圖 2.2.2 華德動能車輛管理系統架構.....	2-9
圖 2.2.3 總盈汽車行車紀錄器資料分析系統.....	2-10
圖 2.2.4 總盈汽車智慧公車管理平臺系統架構圖	2-11
圖 2.2.5 總盈汽車智慧公車管理平臺.....	2-11
圖 2.2.6 總盈汽車電動大客車用電效率及行車分析	2-12
圖 2.2.7 唐榮車輛 BMS 電池管理系統.....	2-13
圖 2.2.8 凱勝綠能使用之能海電能營運管理系統	2-14
圖 2.2.9 創奕能源公司車隊管理系統.....	2-15
圖 2.2.10 創奕能源公司電池管理系統.....	2-16
圖 2.2.11 成運汽車製造股份有限公司車隊管理系統	2-17
圖 2.2.12 Proterra 智慧連網車輛系統.....	2-19
圖 2.2.13 Proterra 充電管理介面.....	2-19
圖 2.2.14 Volvo I-COACHING 車隊管理系統.....	2-20
圖 2.2.15 Mercedes-Benz 智慧交通系統(eMobility)架構.....	2-22

圖 2.2.16 Gemamex 管理系統	2-23
圖 2.2.17 Abrites 管理系統	2-24
圖 2.2.18 Trapeze – LIO-Volta 管理系統	2-25
圖 2.3.1 各雲端服務提供之機器學習功能比較	2-29
圖 2.3.2 巨量資料 5V 特性	2-33
圖 2.3.3 資料探勘、機器學習、人工智慧比較	2-34
圖 2.3.4 決策樹模式概念圖	2-35
圖 2.3.5 隨機森林模式概念圖	2-36
圖 2.3.6 類神經網路模式概念圖	2-37
圖 2.3.7 深度學習模式概念圖	2-38
圖 2.3.8 集成學習概念圖	2-40
圖 2.3.9 機器學習法正確率比較	2-41
圖 2.3.10 深層淺層學習方法正確率比較	2-42
圖 2.3.11 模型於資料集的平均排名(CD = Critical Difference)	2-42
圖 2.3.12 模型 ROC 曲線與訓練時間比較	2-43
圖 2.3.13 混合神經網路分析電池壽命架構	2-45
圖 2.3.14 混合神經網路分析電池壽命之精度與其他方法比較	2-47
圖 2.3.15 LGBM 方法分析電池壽命架構	2-50
圖 2.3.16 LGBM 方法分析電池壽命方法應用	2-50
圖 2.3.17 隨機森林分析用電量預測精準度架構圖	2-52
圖 2.3.18 隨機森林模型的三項精準度指標比較	2-53
圖 2.3.19 不同行程長度範圍內的平均絕對相對誤差	2-53
圖 2.3.20 資料透過排列獲得的標準化變數重要性	-254
圖 2.3.21 指數迴歸方法與其他分析方法之分析精度比較	2-56

圖 2.3.22 指數迴歸方法於開/關空調時之分析精度比較	2-57
圖 2.3.23 指數迴歸方法環境溫度對於車輛能耗之敏感度分析	2-58
圖 2.3.24 指數迴歸方法行駛時間對於車輛能耗之敏感度分析	2-59
圖 2.3.25 指數迴歸方法車體重對於車輛能耗之敏感度分析	2-60
圖 2.3.26 指數迴歸方法電池容量對於車輛能耗之敏感度分析	2-60
圖 2.3.27 bp Pulse 智慧充電管理架構	2-63
圖 2.3.28 bp Pulse 智慧充電管理軟體(OMEGA)示意圖	2-64
圖 2.3.29 TWAICE 電池分析平臺架構圖	2-67
圖 2.3.30 TWAICE 電池監控軟體示意圖	2-68
圖 2.3.31 EV-OPS 平台資料蒐集與上傳示意圖	2-69
圖 2.3.32 即時電池數位孿生功能架構圖	2-70
圖 2.3.33 EV-OPS 平台電池與車輛監控畫面	2-71
圖 2.3.34 宇通客車「睿控 e 平台」具備功能	2-73
圖 2.3.35 TDX 治理應用服務整體架構	2-74
圖 2.3.36 TDX 治理平臺雲端架構圖	2-75
圖 2.3.37 雲端建置流程與交付文件	2-76
圖 3.1.1 電動大客車營運管理精進示範對象替選清單	3-2
圖 3.2.1 用電效率與溫度關係-單一路線調度車輛	3-4
圖 3.2.2 用電效率與溫度關係-電/油車混合調度車輛	3-4
圖 3.3.1 路線 R1 各車輛每班次用電效率趨勢圖	3-17
圖 3.3.2 路線 R1 各駕駛每班次用電效率趨勢圖	3-17
圖 3.3.3 路線 R1 各車輛每班次分時用電效率趨勢圖	3-21
圖 3.3.4 路線 R1 各駕駛每班次分時用電效率趨勢圖	3-22
圖 3.3.5 路線 R1 每班次分時 SOC 使用量趨勢圖	3-24

圖 3.3.6 路線 R1 各車輛一周 SOC 變化趨勢圖	3-25
圖 3.3.7 路線 R1 一周 SOC 變化趨勢圖(SOC < 20%車輛).....	3-26
圖 3.3.8 路線 R2 各車輛每班次用電效率趨勢圖	3-30
圖 3.3.9 路線 R2 各駕駛每班次用電效率趨勢圖	3-32
圖 3.3.10 路線 R2 各車輛每班次分時用電效率趨勢圖	3-35
圖 3.3.11 路線 R2 各駕駛每班次分時用電效率趨勢圖	3-36
圖 3.3.12 路線 R2 每班次分時 SOC 使用量趨勢圖	3-38
圖 3.3.13 路線 R2 各車輛一周 SOC 變化趨勢圖	3-39
圖 3.3.14 路線 R3 各車輛行駛班次數統計圖	3-40
圖 3.3.15 路線 R3 各車輛每班次用電效率趨勢圖	3-42
圖 3.3.16 路線 R3 每班次分時用電效率趨勢圖	3-43
圖 3.3.17 路線 R3 每班次分時 SOC 使用量趨勢圖	3-45
圖 3.3.18 路線 R3 各車輛一周 SOC 變化趨勢圖	3-46
圖 3.3.19 路線 R3 一周 SOC 變化趨勢圖	3-47
圖 3.3.20 班次發車起始電量-用電效率分布圖(冬季)	3-50
圖 3.3.21 班次發車起始電量-用電效率分布圖(春季)	3-51
圖 3.3.22 班次發車起始電量-用電效率分布圖(夏季)	3-52
圖 3.3.23 班次發車起始電量-用電效率分布圖(尖峰時段)	3-54
圖 3.3.24 班次發車起始電量-用電效率分布圖(非尖峰時段)	3-55
圖 3.3.25 班次發車起始電量-SOC 使用量分布圖(冬季).....	3-57
圖 3.3.26 班次發車起始電量-SOC 使用量分布圖(春季).....	3-58
圖 3.3.27 班次發車起始電量-SOC 使用量分布圖(夏季).....	3-59
圖 3.3.28 班次發車起始電量-SOC 使用量分布圖(尖峰時段).....	3-61
圖 3.3.29 班次發車起始電量-SOC 使用量分布圖(非尖峰時段).....	3-62

圖 3.3.30 各充電站充電時間分時統計圖.....	3-64
圖 3.3.31 各充電站充電 SOC 統計圖.....	3-65
圖 3.4.1 營運階段排班調度與充電注意事項.....	3-71
圖 3.4.2 智慧充電實際案例執行效益.....	3-72
圖 3.4.3 補助作業要點規定內容重點-交通部、環境部	3-73
圖 4.1.1 電動大客車營運數據整體研究分析架構圖	4-4
圖 4.2.1 電動大客車營運數據應用架構圖.....	4-5
圖 4.2.2 機器學習流程架構.....	4-7
圖 4.2.3 應用視覺化分析示意圖表.....	4-7
圖 4.2.4 交易鎖定示意圖.....	4-8
圖 4.2.5 地端與雲端佈署流程圖.....	4-10
圖 4.3.1 用電效率-營運特性分析流程	4-17
圖 4.3.2 數據驅動模型大數據處理流程圖.....	4-18
圖 4.3.3 ETL 數據整合	4-24
圖 4.3.4 用電效率-營運特性數據驅動模型輸入資料.....	4-24
圖 4.3.5 用電效率-營運特性	4-32
圖 4.3.6 移動平均-每日 7 時預測結果	4-52
圖 4.3.7 移動平均-每日 14 時預測結果	4-52
圖 4.3.8 移動平均-每日 17 時預測結果	4-52
圖 4.4.1 模型分析應用構想圖.....	4-57
圖 4.4.2 能耗資料分析應用方向-剩餘 SOC 監控儀表板(示意圖).....	4-60
圖 4.4.3 能耗資料分析應用方向-SOC 健檢儀表板(示意圖).....	4-61
圖 4.4.4 能耗資料分析應用方向-傳輸資料監控儀表板(示意圖)	4-62
圖 5.1.1 本計畫成果發表會邀請函.....	5-2

圖 5.1.2 成果發表會現場紀錄照片	5-3
圖 5.2.1 2023 年運輸年會成果海報現場展示	5-4
圖 5.4.1 交通部運輸研究所運輸計劃季刊	5-5

第一章 緒論

1.1 計畫背景與目的

依據行政院 2030 年公車全面電動化之目標，交通部、經濟部與環境部持續推展 2030 年電動大客車推動策略，交通部運輸研究所(以下簡稱運研所)已於 108 年開始建置電動大客車營運數據監控管理平臺並建立資料傳輸作業機制，以持續追蹤與掌握導入之電動大客車輛營運績效、長期行駛特性等關鍵指標。

運研所於 109~111 年進行平臺維運、資料傳輸與檢核作業，並已於 112 年 1 月 1 日將平臺移交公路局，而為持續提升電動公車整體營運品質，預計進一步透過分析平臺所累積之電動大客車輛營運靜態數據，以提供業者經營管理及後續政策檢討之參據。

隨著人工智慧(AI)與大數據分析應用逐漸成熟，AI 對於大量、多樣與密集化資料相關的交通運輸課題具有高度發展潛力，將 AI 技術應用列為業務重點發展工作之一，以適時向交通部相關單位爭取經費持續推動專案計畫，而電動大客車營運數據監控管理平臺所蒐集與經年累積之巨量靜態與動態數據，深具應用大數據與 AI 技術之分析價值。本計畫除針對電動大客車營運關鍵指標進行研析，並將自大數據分析與 AI 應用等面向進行電動大客車數據研究，以精進電動大客車之營運與管理。

1.2 計畫內容與工作項目

本計畫為 2 年期計畫，第 1 年期(112 年)執行之計畫內容與工作項目說明如下，未來將依計畫成果研擬第 2 年期(113 年)之計畫內容與工作項目：

1.透過文獻回顧與國際案例蒐集，探討如何分析與應用電動大客車數據。

(1)透過文獻回顧蒐集近 5 年歐洲與亞太地區國家，在電動大客車數據分析與應用最新發展趨勢(至少 5 個標竿案例)，並依照數據來源、AI 或資料探勘案例、分析主題進行綜整，探討如何透過電動大客車營運數據監控管理平臺蒐集之數據，綜合國內外發展趨勢，針對本計畫數據分析主題、關鍵指標與視覺化介

面、AI 應用案例(Use Case)等議題，進行先期規劃與研提方案。

(2)透過文獻回顧交通巨量數據分析標竿案例之演算法、模型與雲端化分析軟體(Google Cloud、Microsoft Azure、Amazon AWS 等)功能與差異，以及比較標竿案例中不同交通資料探勘、機器學習及 AI 模型之發展與部署流程，據以探討電動大客車數據分析應用之合適演算法、模型或雲端化分析軟體。

2.針對電動大客車營運數據監控管理平臺數據，進行數據分析與關鍵指標建立。

(1)以問卷、訪談或座談等方式調查公共運輸主管機關與業者之電動大客車使用經驗與痛點(如排班調度、營運管理等議題)，以及對本計畫數據分析與關鍵指標之期待與建議、未來資料視覺化介面與 AI 應用案例等需求，據以滾動修訂 1-(1)規劃與研提之方案(數據分析主題、關鍵指標等)，並實際運用電動大客車營運數據監控管理平臺所累積之靜態與動態數據，進行數據分析與關鍵指標建立。

(2)依據平臺數據與關鍵指標，持續追蹤車輛營運績效，據以修訂電動大客車之導入指南與研提政策推動建議，並研析客運業者因應電動公車特性於營運與排班調度上之可能精進方向與作為。

(3)依據 2-(1)與 2-(2)分析結果，研提與評估合適之運輸場站或業者，以利於 113 年延續應用 112 年研究成果，共同合作與推動數據導向之電動大客車營運管理或排班調度精進作為。

3.研提電動大客車之大數據分析與應用架構，並進行 AI 或機器學習方法之初探。

(1)依據電動大客車動靜態數據格式與特性、本計畫預計使用的大數據分析工具與視覺化介面，以及 1-(1)、1-(2)探討結果，研提電動大客車大數據分析與應用架構，做為本計畫推動電動大客車巨量資料研析的穩固基礎。

(2)透過平臺與跨域巨量數據(如天氣、駕駛行為、電量與放電深度、充電或路線型態)，應用 R 或 Python 語言進行資料探勘分析，針對合適主題(如車輛能耗)以 AI、機器學習技術結合統計分析方法，應用至少 5 個以上數據驅動模型進行初探、試作，據以研提 113 年計畫之 AI 導向應用案例(Use Case)。

- (3)描繪整體研究分析架構圖(concept model)，於架構圖中說明與闡述本計畫 2-(1)、3-(2)各項電動大客車數據分析成果之數據種類、程序及對應營運管理與政策推動建議之間的關聯性。
- 4.針對計畫重要成果，製作海報及影片電子檔，並協助相關行政事宜。
- (1)辦理成果發表會，製作海報(中英文各 1 份)與宣傳品，並運用本計畫重要成果與國內相關單位進行交流。
- (2)製作本計畫期末報告之成果說明影片(中英文各 1 份)、期末成果摘要報告(中英文各 1 份，Word 檔案)與期末成果發表簡報(中英文各 1 份，Powerpoint 檔案)。
- (3)針對計畫成果，協助相關行政事宜，包含成果資料之彙整填報與簡報製作，以及參與競賽、上級交辦與本計畫相關之電動大客車推動工作。
- 5.綜合考量國際發展趨勢與本計畫推動成果，以評估與研提未來如何應用本計畫成果進行國際合作(如雙邊合作或 APEC-TPTWG 之相關專家小組)。
- 6.將本期計畫成果投稿研討會、運輸計劃季刊或國內外期刊至少 1 篇。
- 7.參考「政府研究資訊系統(GRB)」 「績效指標(實際成果)資料格式」及「佐證資料格式」，就本計畫成果之特性選填合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究/計畫成果及重大突破。計畫績效指標項目至少包括下列第(1)~(3)項：
- (1)論文與研究報告：發表在國際上重要學術研討會或期刊(如：SCI、SSCI、EI、AHCI、TSSCI 等)之論文篇數、被引用情形及影響係數、論文獲獎等情形，或研究成果被引用或被參採情形等。
- (2)培育及延攬人才：如學生畢業後從事相關行業、延攬國際級專業人才情形等。
- (3)辦理學術活動：包含研討會(workshop)、學術會議(symposium)、學術研討會(conference)、論壇(forum)等。

(4)前述其他可供列入之績效指標與佐證資料。

1.3 計畫範圍與對象

本計畫研究範圍主要為 109 年以後申請補助上路電動大客車(包含市區公車及公路客運)之營運管理、關鍵績效指標分析所需之資料，以及電動大客車大數據分析與 AI 應用相關案例資料。

依前述工作項目及研究範圍，研究對象包含電動大客車製造商、充電設施廠商、客運業者、平臺案例與雲端運算、政府單位等類別，各類別對象如表 1.3-1 所示。

表 1.3-1 本計畫研究對象

類別	對象	備註
電動大客車製造商	國內電動大客車製造商	平臺資料蒐集之電動大客車製造商
充電設施廠商	國內電動大客車充電設施製造商	包括 飛宏、車王電子、起而行、鉅智新能源等
客運業者	電動大客車營運數據監控管理平臺傳輸業者	109 年 7 月之後一般型計畫核定業者 110 至 111 年示範計畫核定業者
平臺案例與雲端運算	國外電動大客車數據分析與應用案例	以歐洲與亞太地區為主要參考對象
	跨域巨量數據資料	包括汽車客運業路線別成本計算平臺、運輸資料流通服務平臺(TDX)及可取得之客運業者營運資料等
	雲端化分析軟體	包括 Google Cloud、Microsoft Azure、Amazon AWS 等
政府機關/法人機構	交通部(路政及道安司、運研所、公路局)	- 補助政策與推動策略制訂 - 電動大客車營運數據監控管理平臺管理單位
	經濟部產業發展署	技術與產業輔導
	工業技術研究院	技術與產業輔導
	地方政府	- 經營環境建置單位 - 營運路線補貼單位

資料來源：本計畫彙整。

1.4 計畫流程

本計畫執行流程如圖 1.4.1 所示。

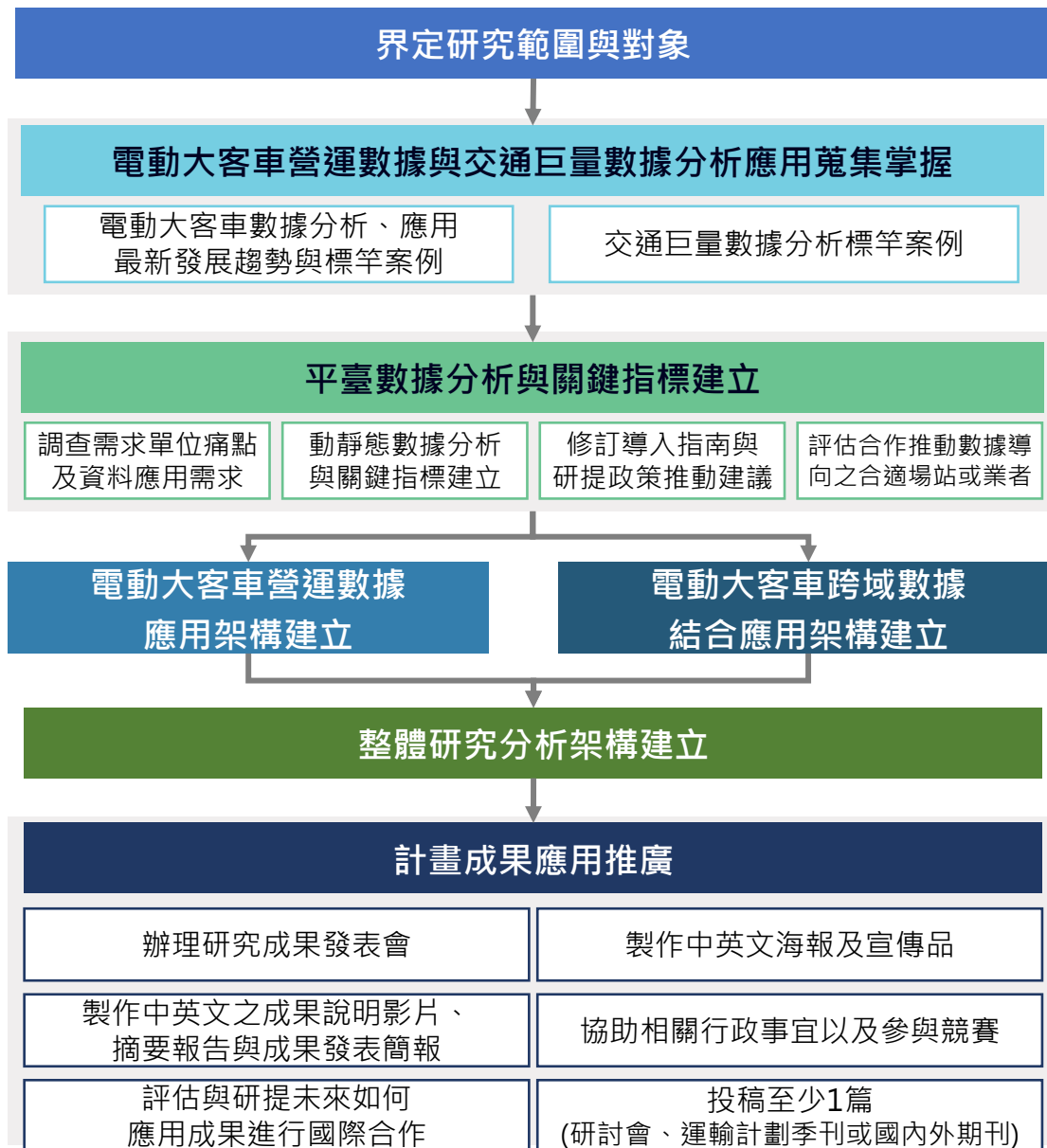


圖 1.4.1 本計畫執行流程圖

第二章 文獻回顧

本計畫回顧國內先前推動電動大客車相關計畫的研究成果，並彙整國內、外電動大客車營運數據分析與智慧充電管理之應用，藉以掌握發展趨勢。此外，亦掌握目前交通巨量數據分析方法與雲端化分析軟體應用之經驗，並從中選取若干個標竿案例，做為後續研究方向之參考。

2.1 國內電動大客車推動相關研究計畫成果掌握

本節回顧交通部運輸研究所「108 年電動公車示範計畫執行績效分析與推動策略支援應用(1/2)」、「109 年電動公車示範計畫執行績效分析與推動策略支援應用(2/2)」及「電動大客車智慧充電示範計畫(1/2)-示範系統規劃」過往推動電動大客車相關研究計畫，並從中掌握各自的研究成果。

- 1.交通部運輸研究所「108 年電動公車示範計畫執行績效分析與推動策略支援應用(1/2)」及「109 年電動公車示範計畫執行績效分析與推動策略支援應用(2/2)」。

為掌握各主導業務機關、客運業者、車廠業者之分析與監控管理需求，於計畫第一年期時建置電動大客車營運數據管理平臺，廣納電動大客車的營運數據，以提供客運與車廠業者辦理電動大客車推廣與車輛應用之參考。營運數據於平臺內以視覺化方式呈現，除可作為分期檢核與營運補助的參據，亦可用來檢視客運業者車隊的營運表現。

為有效蒐集電動大客車營運數據，平臺內亦建立資料傳輸機制，並整理成〈電動大客車營運數據監控管理平臺資料傳輸作業規範(以下簡稱規範)〉，業者須依規範進行資料傳輸作業。

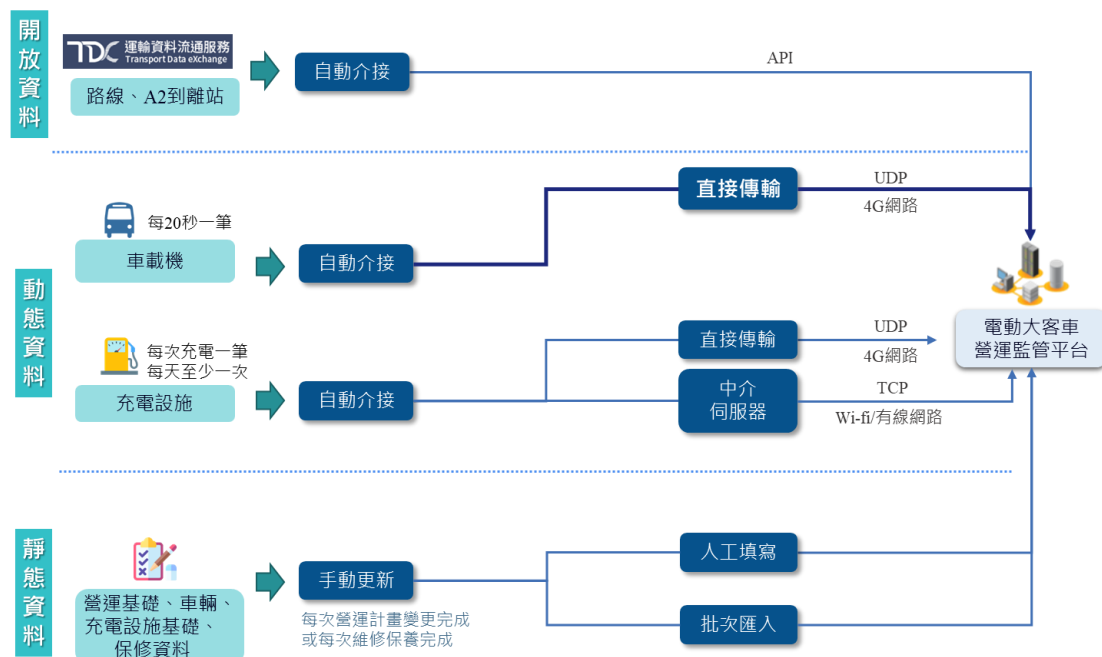
(1) 電動大客車營運數據蒐集資料項目

平臺蒐集營運數據資料項目包含下列各項，其中車載機資料及充電設施運作資料為動態資料，其餘資料屬靜態資料。

- ① 電動大客車車載機資料
- ② 電動大客車充電設施運作資料
- ③ 電動大客車充電設施基礎資料
- ④ 電動大客車營運基礎資料
- ⑤ 電動大客車車輛資料
- ⑥ 電動大客車保修資料

(2) 電動大客車資料傳輸機制

電動大客車車載機、充電設施之資料傳輸方式與頻率如圖 2.1.1 所示，依據傳輸規範，車載機資料每 20 秒至少傳輸 1 筆資料，充電設施資料則是每日至少須傳輸 1 次。



資料來源：本計畫整理自交通部運輸研究所「109 年電動公車示範計畫執行績效分析與推動策略支援應用(2/2)」。

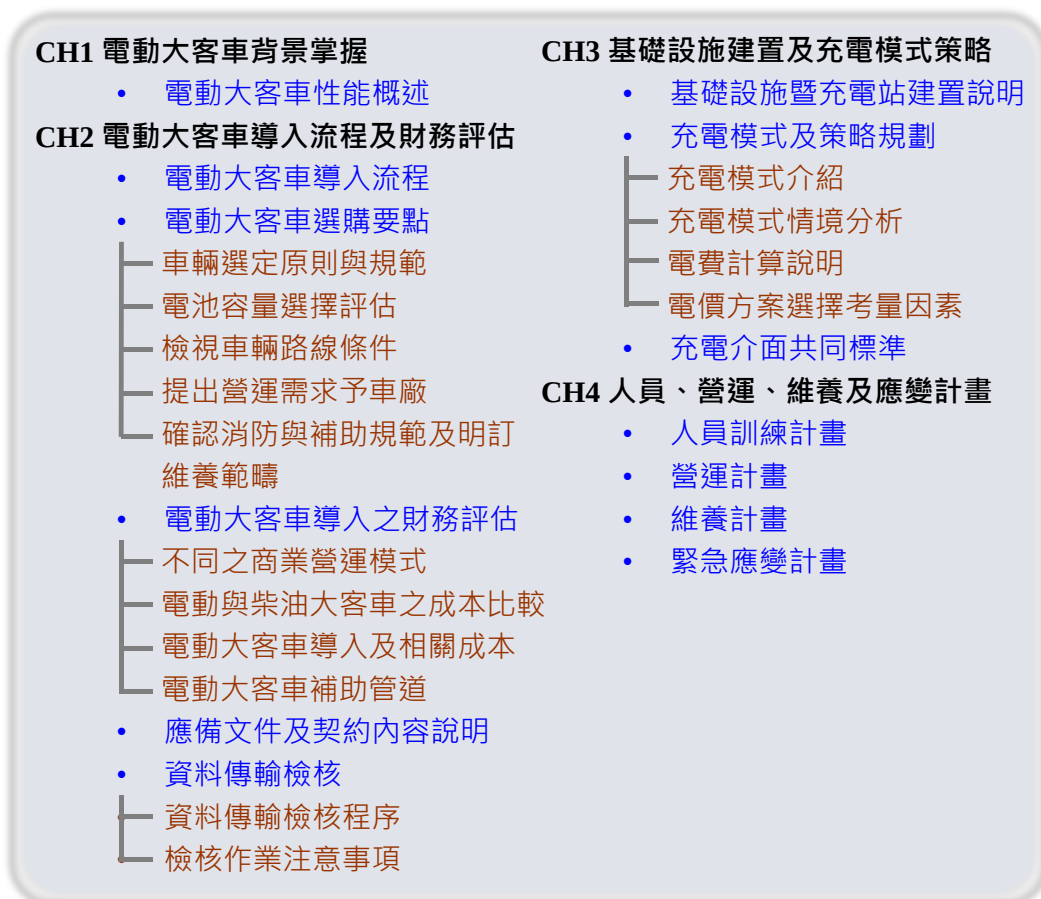
圖 2.1.1 車載機、充電設施及靜態資料之傳輸方式與頻率

動態資料系統架構須以自動介接做為基礎傳輸方式，並以即時傳輸取代批次傳輸，自動介接亦可分為直接傳輸與中介傳輸，直接傳輸是由車載設備直接回傳後台，通訊方式通常為 4G 傳輸，中介傳輸則需透過中介伺服器進行處理，為確保資料傳輸鏈精簡，介接機制設計則以直接傳輸為設計標準。

同時為確保所蒐集資料之正確性、一致性與完整性，將於路線正式營運前進行資料檢核，其應檢核項目如下。

- ①傳輸可行性檢核：確認電動大客車車載機資料、充電設施運作資料是否符合規範內的資料傳輸協定。
- ②資料一致性檢核：檢核比對車載機及充電設施儲存裝置所記錄之資料與本平臺所接收之電動大客車車載機資料、電動大客車充電設施運作資料是否一致。
- ③資料完整性檢核：檢核電動大客車車載機資料及充電設施運作資料之傳輸接收完整比率(即實際接收完整資料之筆數／應接收資料筆數)是否均達 80%以上；以及電動大客車充電設施基礎資料、營運基礎資料及車輛資料是否均已完整提供。

為提升客運業者對於電動大客車的接受度，該計畫亦透過廣納蒐集各家客運業者之意見與國外的技術發展及營運經驗，建立導入指南。其目的在於協助客運業者透過在導入電動大客車的過程中查閱指南相關資訊，並作為營運規劃之參考。電動大客車導入指南之架構如圖 2.1.2 所示。

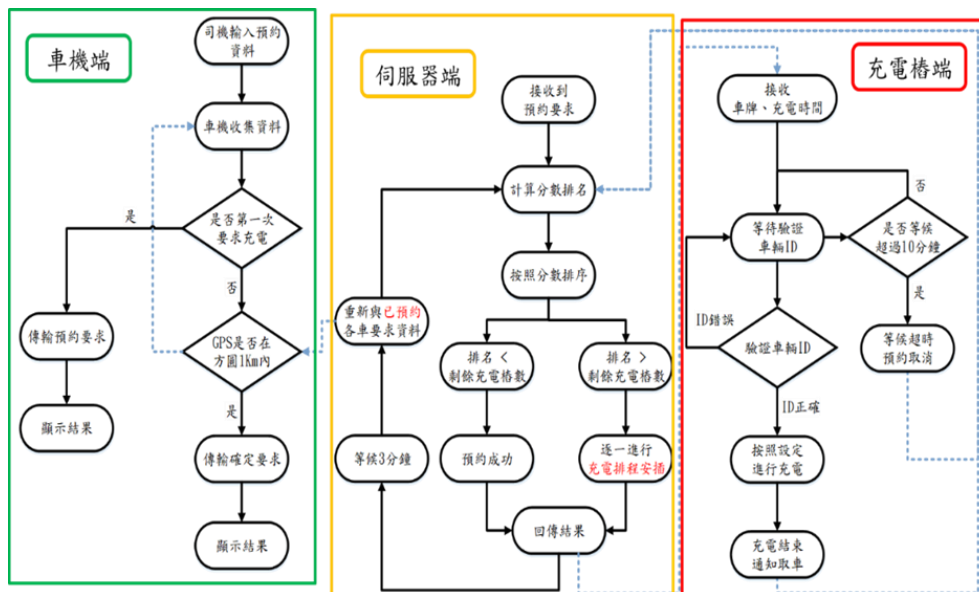


資料來源：本計畫整理自交通部運輸研究所「109 年電動公車示範計畫執行績效分析與推動策略支援應用(2/2)」。

圖 2.1.2 電動大客車導入指南架構

2.交通部運輸研究所「電動大客車智慧充電示範計畫(1/2)-示範系統規劃」

有鑑於行政院宣布 2030 年市區公車全面電動化，屆時充電需求增加，勢必會直接影響電動大客車營運。故此計畫基於充電場域特性與車輛狀態，發展「充電場域建置成本優化分析軟體」和「電巴車隊充電最優化排程控制軟體」，結合充電樁資訊(包含充電樁狀態)及車機資料(包含車牌、SOC 及 GPS)等資訊，建置智慧充電管理系統，使達到初步智慧排程及調度，並協助政府部門或客運業者完成充電場域的規劃分析和後續的充電優化管理。系統伺服器端接收充電預約資料時，會根據車輛充電需求的緊急程度與充電樁的閒置狀況，進行最佳充電排程。智慧充電排程服務系統之架構圖如圖 2.1.3 所示。



資料來源：本計畫整理自交通部運輸研究所「電動大客車智慧充電示範計畫(1/2)-示範系統規劃」。

圖 2.1.3 智慧充電排程服務系統架構圖

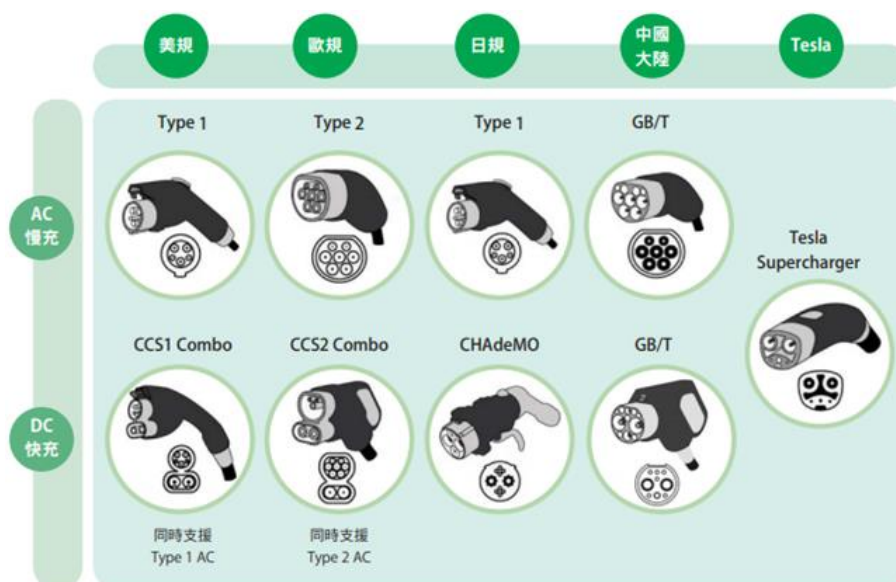
由於希望各車都能有機會進行充電並使充電樁使用率最大化，為避免車輛長時間占用充電樁，會在各司機進行車輛充電預約時，限制單次最長充電時間，來讓各車都能有機會進行電量補充。同時，系統亦會在考慮各車剩餘到站時間、距離充電站距離、目前電量、目前能耗等資訊下，針對各個充電樁製作獨立的車輛充電時程表，充電樁之時程表如圖 2.1.4 所示。

Charger				10x4x3 double									
val(:, :, 1) =				val(:, :, 2) =				val(:, :, 3) =					
ID	抵達時間	充電時間	充電樁編號										
27	555	40	1	6	570	20	2	34	580	37	3		
15	635	35	1	3	590	30	2	9	620	25	3		
1	690	33	1	36	640	40	2	2	660	30	3		
6	750	24	1	13	715	37	2	NaN	NaN	NaN	NaN		
19	800	40	1	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN		
7	890	26	1	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN		
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN		
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN		
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN		
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN		

資料來源：本計畫整理自交通部運輸研究所「電動大客車智慧充電示範計畫(1/2)-示範系統規劃」。

圖 2.1.4 充電樁車輛充電時程表

此外，為使智慧充電管理系統與電動車的普及化，故推動 CCS 系統（含 CCS1、CCS2）做為統一之充電規格，並選定中興巴士集團所經營的北士科站為電動大客車智慧充電管理系統示範場域。電動大客車充電規格如圖 2.1.5 所示，北士科示範場域圖如圖 2.1.6 所示。



資料來源：本計畫整理自交通部運輸研究所「電動大客車智慧充電示範計畫 (1/2)-示範系統規劃」。

圖 2.1.5 電動大客車充電規格



資料來源：本計畫整理自交通部運輸研究所「電動大客車智慧充電示範計畫 (1/2)-示範系統規劃」。

圖 2.1.6 合作示範場域-中興巴士集團北士科站

2.2 電動大客車營運數據分析與應用掌握

本節蒐集國內、外業者導入電動大客車營運數據管理平臺的相關實際案例，掌握各個案例的蒐集資料、系統功能、數據分析等應用發展趨勢，藉以做為本計畫之參考。

2.2.1 國內電動大客車營運數據分析與應用概況與發展趨勢

國內案例的部分，華德、總盈、唐榮、凱勝、創奕、成運等國內主要生產電動大客車之廠商，皆有開發營運數據管理系統，說明如下：

1. 華德動能科技股份有限公司

華德動能科技股份有限公司於民國 94 年成立，主要業務為電動商用車的研發與製造，其車輛管理系統包含自行開發之電池管理系統及整車操控系統，能監控所有電池效能，且其車輛零件皆經電子化處理，包含儀表顯示、控制開關及電池管理等功能皆可透過車內控制系統呈現於觸控螢幕，已無設置傳統客車機械式開關及按鈕。(圖 2.2.1)



資料來源：本計畫整理自華德動能科技股份有限公司網站，
<http://www.racev.com.tw/index.htm>。

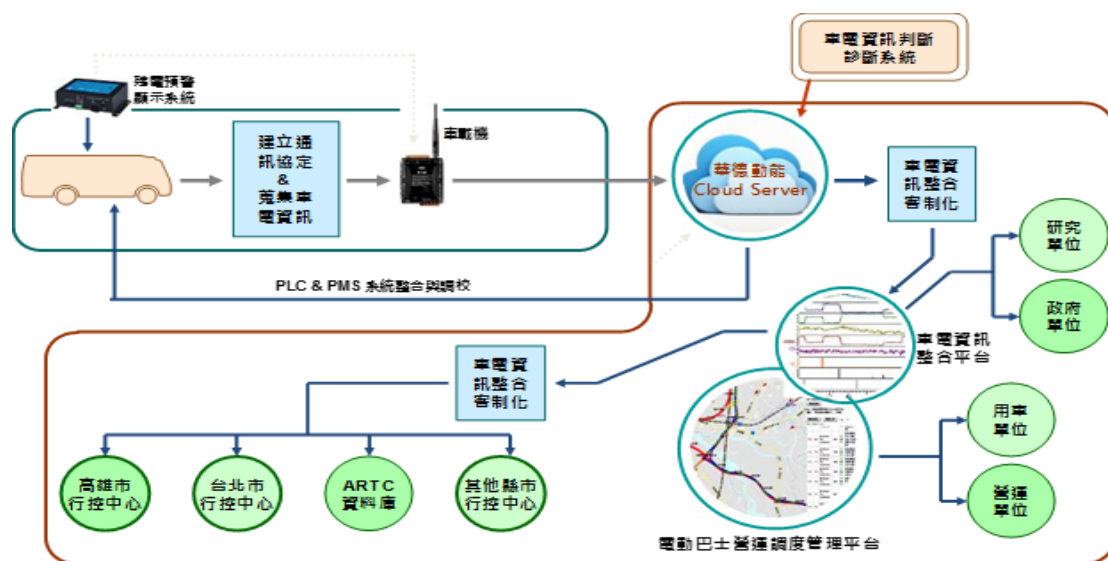
圖 2.2.1 華德動能車輛管理系統

華德動能於民國 107 年起與佳世達科技合作，導入佳世達「智慧車輛管理系統」(圖 2.2.2)，藉由車隊即時監控狀況、影像即時傳輸，以大數據解決方案提供行車數據分析、影像監控、車輛設備狀況掌握、車輛調度優化及最佳化行駛路線規劃等智慧應用，以達到落實車隊管

理、行車安全性以及能耗分析，並可依據客運業者使用需求進行功能客製化，因此為另外付費系統，其系統功能包含：

- (1)車輛軌跡查詢：查詢車隊位置與時間。
- (2)車輛監控與紀錄管理：記錄車輛營運數據資料，包含：
 - ①路線基本資料：班表、路線、車號、駕駛姓名與聯絡方式。
 - ②車輛營運資料：行駛車速、行駛里程數與運作時間。
 - ③電池狀況：電池 SOC、電壓、電流、電池溫度。
 - ④其他資料：外界溫度、異常事件。
- (3)車輛異常警示：當車輛狀況或行駛路線出現異常時，將會收到警示資訊。
- (4)駕駛認證與 VIO 數據監控：供管理者編輯車輛使用權限，指定駕駛使用特定車輛。
- (5)行動管理：可透過行動裝置掌握系統資訊。
- (6)車輛維修即時提示：針對車輛即時行駛數據進行診斷分析，事先提醒系統管理員更換車輛零組件。

有關資料傳輸部分，華德動能車載機以 4G 通訊方式即時回傳資料至系統，資料通訊傳輸協定為 AMQP，上傳頻率為每 30 秒一筆，並可根據資料量進行傳輸頻率調整；另充電設施資料傳輸主要依據 CNS15511-24 規範，於充電時將資料傳輸至後台。表 2.2-1 為華德動能智慧車輛管理系統蒐集資料項目。



資料來源：本計畫整理自華德動能科技股份有限公司提供資料。

圖 2.2.2 華德動能車輛管理系統架構

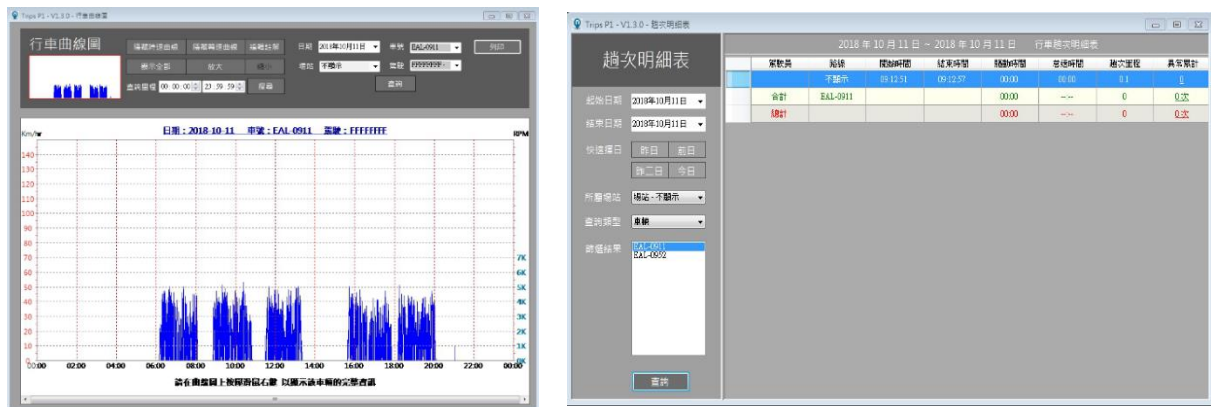
表 2.2-1 華德動能智慧車輛管理系統蒐集資料項目

車號	空調狀態	馬達內溫	馬達外溫	剩餘電量	最高電池電壓	最低電池電壓	時間	狀態	速度	位置	總電壓	總電源	行駛總里程	今日行駛里程	馬達電壓	空壓	充電狀態	電池最高溫度

資料來源：本計畫整理自華德動能科技股份有限公司提供資料。

2.總盈汽車有限公司

總盈汽車有限公司成立於民國 92 年，為國內大客車產值前三大的車輛製造廠，領先導入客車半自動化生產組裝技術，並於民國 107 年透過經濟部「A+企業創新研發淬鍊計畫—整合型研發計畫」，與鈱智新能源科技有限公司、港都客運共同合作辦理「快充式電動公車關鍵技術開發計畫」，導入數位式行車紀錄器，連接車上無線網路透過 API 將行車資料以 key-value pair 形式即時回傳至雲端伺服器。(圖 2.2.3)



資料來源：本計畫整理自總盈汽車有限公司提供資料。

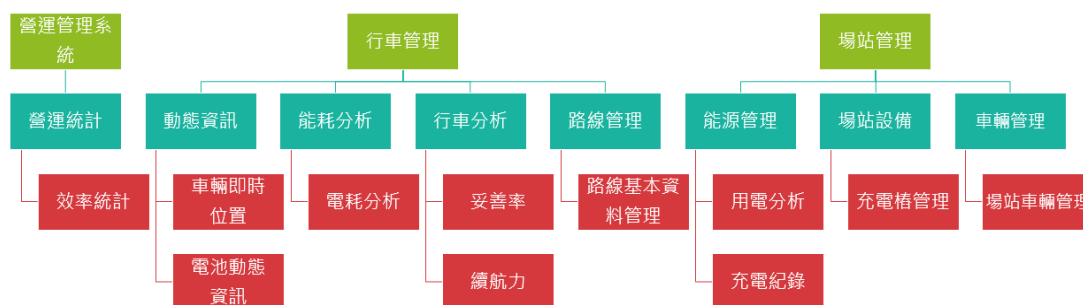
圖 2.2.3 總盈汽車行車紀錄器資料分析系統

表 2.2-2 行車紀錄資料封包回傳格式

資料欄位	資料格式及說明
序號	車機序號(max. 10 byte)
行車紀錄資料封包開始日期	UTC 日期，日月年(6 byte)
行車紀錄資料封包開始時間	UTC 時間，時分秒(6 byte)
行車紀錄資料封包開始之衛星定位狀態	[A]定位, [V]為定位(1 byte)
行車紀錄資料封包開始之 CSQ	網路訊號強度(2 byte)
行車紀錄資料封包開始之衛星數	衛星顆數值(2 byte)
行車紀錄資料封包開始里程	公尺(6 byte)
行車紀錄資料封包筆數	共兩碼(2 byte)
行車紀錄資料封包	根據行車記錄資料封包筆數累加，固定筆數 30 筆(Binary 360 byte)，未滿 30 筆之資料為 null。
行車紀錄資料封包 CRC checksum	使用行車紀錄資料封包所有筆數產生 CRC checksum(ASCII 4 byte)，使用 CRC-16 的格式為 CRC-CCITT，initial code 為 0

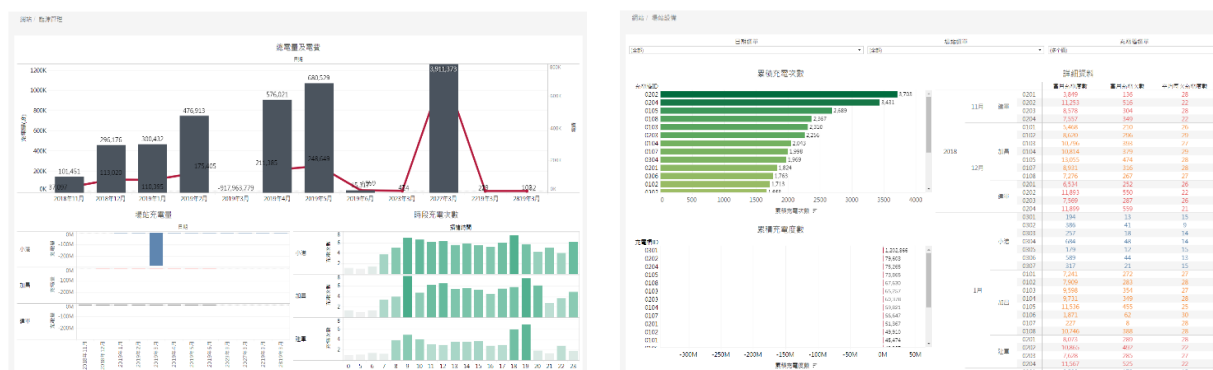
資料來源：本計畫整理自【快充式電動公車關鍵技術開發計畫，總盈汽車有限公司，民國 107 年】。

將行車紀錄器回傳資料透過其智慧公車管理平臺(圖 2.2.4 與圖 2.2.5)進行數據監控、分析及呈現，其平臺架構主要分為營運管理、行車管理及場站管理三大功能，營運管理功能主要針對旗下路線、車輛營運數據進行統計分析；行車管理功能包含車輛及電池即時動態監控、電耗分析、行車分析及路線管理，可即時監控電池電力消耗狀況、分析各路線或各車輛用電效率，並透過報表查詢各路線電動大客車行駛次數；場站管理功能則紀錄車輛充電次數、場站能源消耗量、充電樁使用狀況，用以掌握場站及充電設施電力消耗狀況及使用頻率。



資料來源：本計畫整理自【快充式電動公車關鍵技術開發計畫，總盈汽車有限公司，民國 107 年】。

圖 2.2.4 總盈汽車智慧公車管理平臺系統架構圖



資料來源：本計畫整理自【快充式電動公車關鍵技術開發計畫，總盈汽車有限公司，民國 107 年】。

圖 2.2.5 總盈汽車智慧公車管理平臺

除蒐集電動大客車相關數據資料進行即時監控及視覺化呈現外，並針對電動大客車營運指標如妥善率、用電效率及續航力進行分析，以各指標長期趨勢變化，掌握不同季節或特殊環境、路線之影響，此外，亦透過比較不同車輛之相關資料，找出對應之問題駕駛，以進一步進行駕駛溝通、教育訓練，達到改善整體營運效率。(圖 2.2.6)



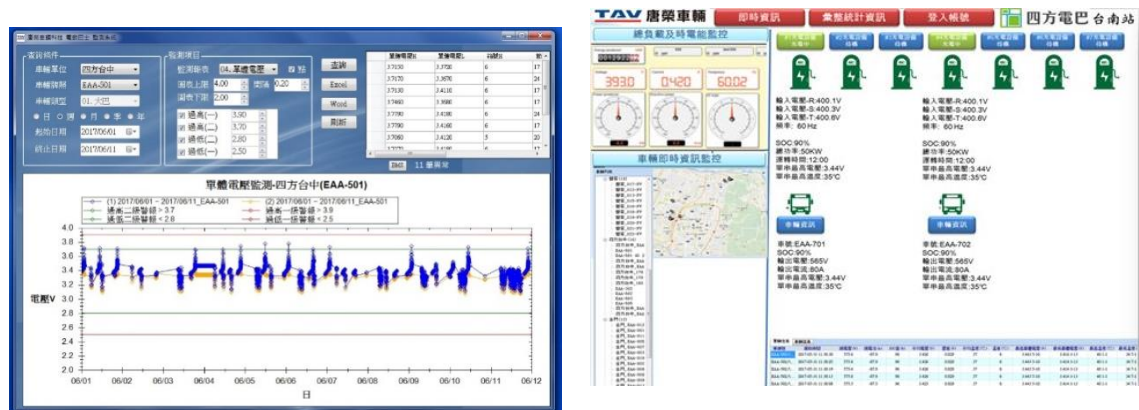
資料來源：本計畫整理自【快充式電動公車關鍵技術開發計畫，總盈汽車有限公司，民國 107 年】。

圖 2.2.6 總盈汽車電動大客車用電效率及行車分析

3.唐榮車輛科技股份有限公司

唐榮車輛科技股份有限公司於民國 91 年成立，民國 103 年起量產唐榮申沃電動大客車上市，並於桃園、臺中、臺南、高雄及金門等縣市設有充電站。其針對商用電動大客車建有 BMS 電池管理系統，由唐榮車輛內部監控電池狀況使用，車載機透過 4G 方式將資料傳輸至系統(圖 2.2.7)，充電裝置則於充電時傳輸資料，BMS 電池管理系統功能包含：

- (1)車輛電池及充電裝置即時監控：即時車輛電池與充電狀況。
- (2)互動式智慧儀表板：透過裝設之監控設備以 4G 即時傳送至車載系統，並由互動式智慧儀表板顯示即時提醒駕駛。
- (3)即時車輛分析：有關車輛之行車資訊同步傳送至雲端平臺，由遠端車輛控制中心進行即時分析、判斷車輛狀況。
- (4)異常排除：透過遠端方式針對車輛異常問題進行排除。



資料來源：本計畫整理自唐榮車輛科技股份有限公司提供資料。

圖 2.2.7 唐榮車輛 BMS 電池管理系統

4.凱勝綠能科技股份有限公司（及能海電能科技股份有限公司）

凱勝綠能科技股份有限公司於民國 101 年成立，主要業務為電動車研發、組裝生產及銷售。凱勝綠能於民國 107 年與研華科技共同開發車載機設備平臺，惟因開發成本問題，現已暫停開發，並於 108 年與詮鼎科技股份有限公司洽談，將以詮鼎現有柴油車載機平臺為基礎，另外開發電動大客車的車載機平臺。(圖 2.2.8)

凱勝綠能亦與以電動車充電站之設置、儲能系統研發、機電能源技術、租賃服務銷售為主之能海電能合作，開發充電設施搭配營運管理系統(大數據+物聯網+APP)，可於後台針對充電相關資料進行數據分析，包含電池單體及電池組健康狀況診測，透過比對新品電池及受測電池數據資料評估電池健康狀況，並透過視覺化儀表板呈現包含儲能站狀態、電能轉換運行、電池運行狀態等資訊。

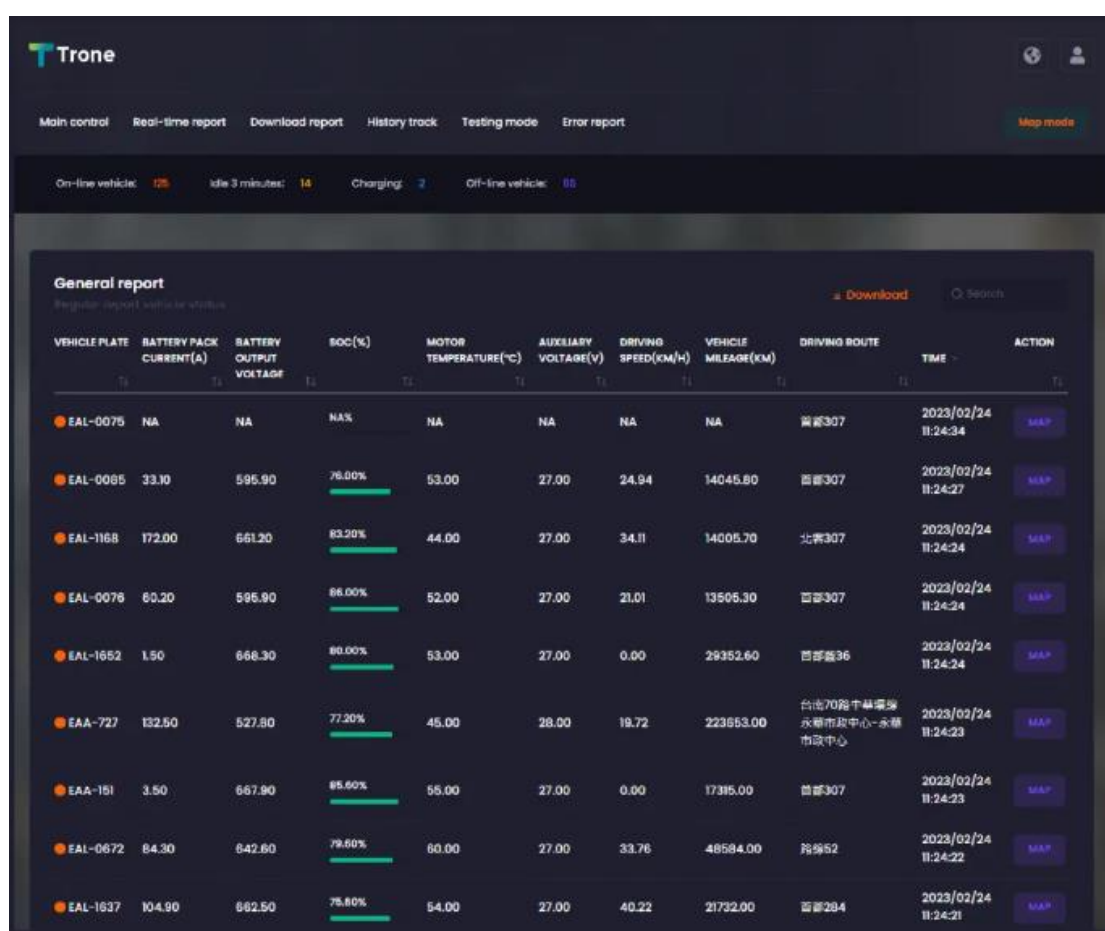


資料來源：本計畫整理自能海電能科技股份有限公司提供資料。

圖 2.2.8 凱勝綠能使用之能海電能營運管理系統

5. 創奕能源科技股份有限公司

創奕能源科技股份有限公司於民國 100 年成立，在民國 107 年為臺灣電動大客車最大供應商，並對動力及儲能材料、元件、系統有專業的開發技術及創新。創奕能源之雲端車管系統可遠程監控車輛狀況，並利用預防式維護，根據之前所蒐集的資料及經驗提早進行排程修復，提升產品之妥善率。其電動車輛也安裝動力電池，使用 BMS 電池管理系統進行車輛電池即時監控，估測電池剩餘電量、電池異常警告、電池電流測量、電池溫度測量等讓電池發揮最佳效能，達到最長壽命。（圖 2.2.9 與圖 2.2.10）



資料來源：本計畫整理自創奕能源科技股份有限公司網，

<https://tronetek.com/%E9%9B%BB%E5%8B%95%E8%BC%89%E5%85%B7/%E8%BB%8A%E9%9A%8A%E7%AE%A1%E7%90%86%E7%B3%BB%E7%B5%B1/>。

圖 2.2.9 創奕能源公司車隊管理系統

Home

電池監控報表

電池監控

裝置: TEST-3550

記錄時間: 2023-01-25 14:04:00 2023-03-30 14:04:48

查詢

Column visibility Copy CSV Excel error 儲存為 Tsv Excel

Search

2023-01-25 14:04:00 - 2023-03-30 14:04:48

序號	時間	最高電壓(mV)	最低電壓(mV)	最高電流(A)	最低電流(A)	最高溫度(°C)	最低溫度(°C)	電池SOC(%)	電池輸出電流(A)						
31 TEST-3550	2023-03-28 14:29:47	3270/3270/3270/3270	1/1/1/1	2/7/7/12	3240/3250/3250/3250	8/27/35/3	12/8/11/3	36/26/20/20	23/21/21/21	5/1/6/6	20/20/20/20	9/12/14	1/1/1/1	46.80	3.30
32 TEST-3550	2023-03-28 14:29:27	3250/3250/3250/3250	1/1/1/1	2/7/7/10	3230/3240/3240/3240	8/27/35/3	12/8/11/3	36/26/20/20	23/21/21/21	5/1/6/6	20/20/20/20	9/12/14	1/1/1/1	46.80	-10.40
33 TEST-3550	2023-03-28 14:29:07	3270/3260/3260/3260	2/1/1/1	2/7/7/10	3240/3240/3250/3250	8/27/35/3	12/8/11/3	36/26/20/20	23/21/21/21	5/1/6/6	20/20/20/20	9/12/14	1/1/1/1	46.80	-2.29
34 TEST-3550	2023-03-28 14:28:47	3270/3270/3270/3270	4/1/1/1	2/7/7/10	3240/3250/3250/3250	8/27/35/3	12/8/11/3	36/26/20/20	23/21/21/21	5/1/6/6	20/20/20/20	9/12/14	1/1/1/1	46.80	7.10
35 TEST-3550	2023-03-28 14:28:27	3270/3270/3270/3270	2/1/1/1	2/7/7/12	3240/3250/3250/3250	8/27/35/3	12/8/11/3	36/26/20/20	23/21/21/21	5/1/6/6	20/20/20/20	9/12/14	1/1/1/1	46.80	3.10
36 TEST-3550	2023-03-28 14:28:07	3270/3270/3270/3270	2/1/3/1	2/7/7/10	3240/3250/3250/3250	8/27/35/3	12/8/11/3	36/26/20/20	23/21/21/21	5/1/6/6	20/20/20/20	9/12/14	1/1/1/1	46.80	3.20
37 TEST-3550	2023-03-28 14:27:47	3270/3270/3270/3270	3/1/1/1	2/7/7/10	3240/3250/3250/3250	8/27/35/3	12/8/11/3	36/26/20/20	23/21/21/21	5/1/6/6	20/20/20/20	9/12/14	1/1/1/1	46.80	3.20
38 TEST-3550	2023-03-28 14:27:27	3270/3270/3270/3270	2/1/1/1	2/7/7/10	3240/3250/3250/3250	8/27/35/3	12/8/11/3	36/26/20/20	23/21/21/21	5/1/6/6	20/20/20/20	9/12/14	1/1/1/1	46.80	3.20
39 TEST-3550	2023-03-28 14:27:07	3270/3270/3270/3270	9/1/1/1	2/7/7/12	3240/3250/3250/3250	8/27/35/3	12/8/11/3	36/26/20/20	23/21/21/21	5/1/6/6	20/20/20/20	9/12/14	1/1/1/1	46.80	3.30
40 TEST-3550	2023-03-28 14:26:47	3270/3270/3270/3270	2/1/1/1	2/7/7/10	3240/3250/3250/3250	8/27/35/3	12/8/11/3	36/26/20/20	23/21/21/21	5/1/6/6	20/20/20/20	9/12/14	1/1/1/1	46.80	3.30

Showing 31 to 40 of 11386 entries

Previous

1

2

3

4

5

...

1138

Next

資料來源：本計畫整理自創奕能源科技股份有限公司網，
<https://tronetek.com/%E9%9B%BB%E5%8B%95%E8%BC%89%E5%85%B7/%E8%BB%8A%E9%9A%8A%E7%AE%A1%E7%90%86%E7%B3%BB%E7%B5%B1/>。

圖 2.2.10 創奕能源公司電池管理系統

6.成運汽車製造股份有限公司

成運汽車製造股份有限公司於民國 92 年成立，主要業務為柴油、電動大客車及其零件製造。成運汽車有成運汽車管理雲系統，監控車輛狀況並針對電動大客車營運指標進行大數據分析，同時也可追蹤巴士排班狀況及車輛零件維護資訊(圖 2.2.11)。成運汽車管理雲系統功能主要包含：

- (1)自動車輛定位及自動車輛監視：即時監控車輛位置與狀況。
- (2)車輛安全系統監控：針對車輛硬體設備及車輛周圍進行安全監控，同時利用即時意外通報系統掌握車輛突發狀況。
- (3)車輛數據分析：針對車輛及電池進行耗電及電源管理資料分析。
- (4)車輛資訊管理：利用系統紀錄車輛保險資訊及車輛各部位零件資訊，全車零件資料可掌握零件出廠日期、使用日期及是否通過安規檢驗以確保品質。
- (5)巴士車輛排班及追蹤系統：掌握每輛車排班調度狀況。
- (6)車輛系統溫度：車輛馬達及附屬系統溫度顯示，供後台管理單位以及駕駛可及早發現問題並有效排除。



圖 2.2.11 成運汽車製造股份有限公司車隊管理系統

2.2.2 國外電動大客車營運數據分析與應用概況與發展趨勢

國外案例的部分，Proterra、Volvo、Mercedes-Benz、Chariot Motors 等車廠，皆有開發營運管理系統。另 Trapeze Group 智慧交通系統開發公司及史丹佛大學和加州當地客運業者 AC Transit 合作，利用實際營運數據來預測與優化電動大客車的營運效率。說明如下：

1.Proterra

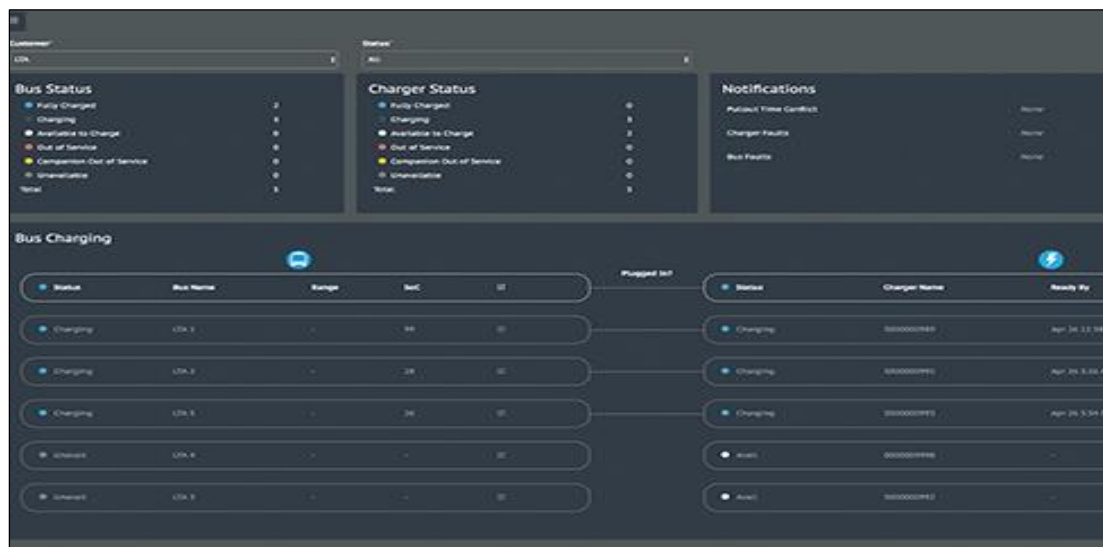
Proterra 為美國電動大客車廠商，開發以 Amazon AWS(Amazon Web Service)雲端資料為基礎之智慧連網車輛系統 Proterra® APEX™。客戶可透過該系統，取得電動巴士車隊之歷史與即時營運資訊，亦可透過大數據分析進行車輛及充電樁遠端診斷、異常排除與預防性維護作業，進而減少充電站及維修站到場處理(on-site visits)的頻率，並提供降低成本及提高營運效率之建議，達到車隊及充電營運最佳化（圖 2.2.12 與圖 2.2.13）。其功能包含：

- (1)車輛即時軌跡查詢：查詢車隊即時位置、路線與時間。
- (2)車輛監控與紀錄：以 15 秒 1 筆之頻率回傳車輛營運資料，已進行監控與紀錄車輛營運數據資料，上傳資料包含行駛車速、行駛時間與行駛里程數。
- (3)電池狀況監控與紀錄：以 15 秒 1 筆之頻率回傳電池資料，上傳資料包含電池溫度、電池 SOC、電池用量(Energy Usage)(kWh)、電池效率(kWh/英里)。
- (4)充電狀況監控與紀錄：於車輛充電時依據 OCPP1.6 充電協定進行資料傳輸，另可手動開啟或關閉監控系統，上傳資料包含充電開始時間、充電結束時間和充電設定限制。
- (5)車輛異常警示：當車輛狀況或行駛路線出現異常時，客戶將會由電子信件或簡訊通知收到警示資訊，Proterra 公司客服也會接收通知並從旁提供服務。
- (6)行動介面：系統上提供資料，客戶亦可透過行動裝置觀看，掌握系統資訊。
- (7)其他資料蒐集：如車輛行駛時之外部氣候、氣溫與該次行駛減少的溫室氣體排放量。



資料來源：本計畫整理自 Proterra Website，<https://www.proterra.com/>。

圖 2.2.12 Proterra 智慧連網車輛系統



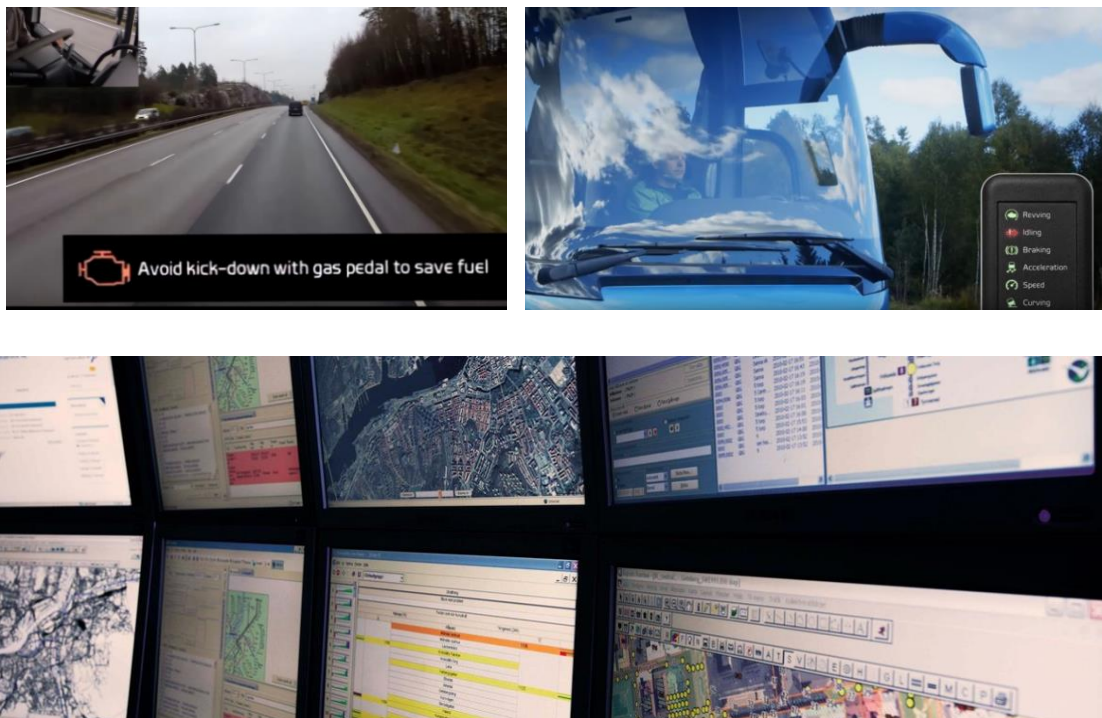
資料來源：本計畫整理自 Proterra Website，<https://www.proterra.com/>。

圖 2.2.13 Proterra 充電管理介面

2. Volvo I-COACHING

瑞典車廠 Volvo 之 I-COACHING 系統可即時追蹤多項動態參數、技術事件與地理位置，藉以即時擷取、處理資料並分析駕駛行為，藉以建議駕駛以更節能、安全且可提高乘客舒適之方式行駛。另外系統可透過車輛事件統計資料(如溫度警示、車門開啟次數等)，辨識系統性且重複發生的問題，進而針對每輛車提出個別的保養與維修計畫，以達到最大的成本效益（圖 2.2.14）。其功能包含：

- (1)追蹤駕駛行為參數：駕駛於行駛時若出現轉速(rpm)、怠速(hh:mm:ss)、煞車(m/s²)、加速度(m/s²)、車速(km/h)與彎曲度(m/s²)6種參數異常時，系統會立即提供駕駛警示燈號。
- (2)追蹤與管理車輛行為參數：追蹤車輛溫度、車門開啟的次數與車輛技術事件的警示，進行電池與車輛的監控與管理。
- (3)提供即時駕駛建議：系統會根據駕駛行駛狀況提供即時的駕駛建議與如何省油/省電的建議。
- (4)保養排程建議：提供駕駛人保養排程建議，並根據車輛使用狀況進行即時排程調整。



資料來源：本計畫整理自 Volvo Website，<https://www.volvobuses.com.tw/>。

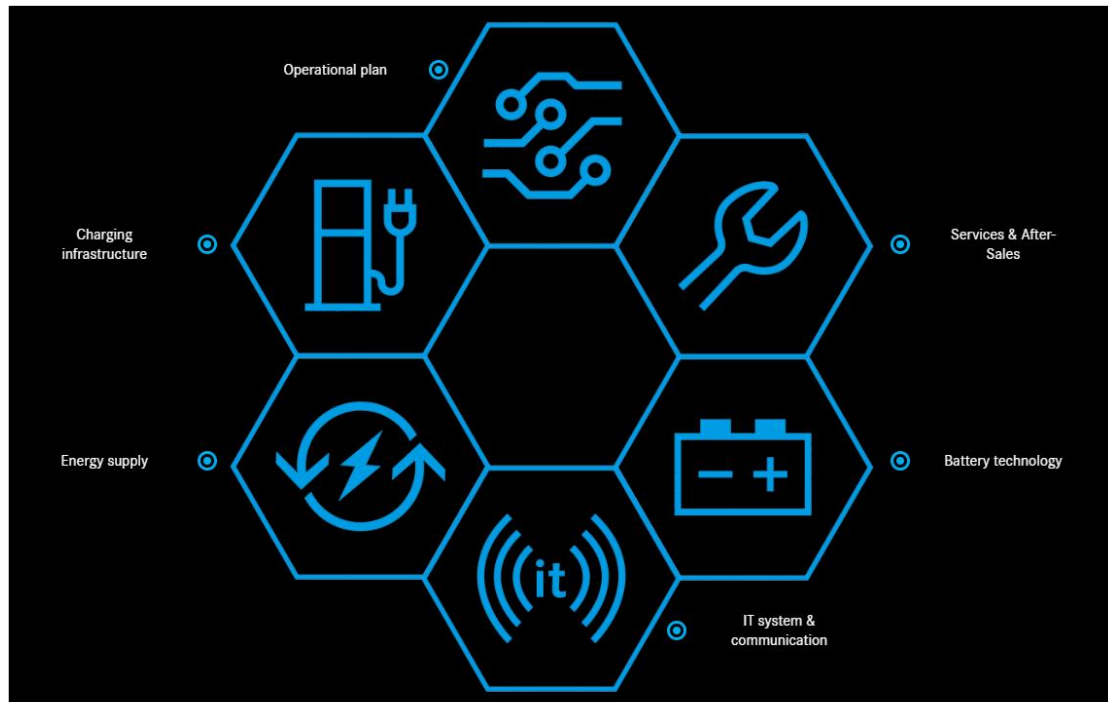
圖 2.2.14 Volvo I-COACHING 車隊管理系統

3. Mercedes-Benz 車輛管理平臺

德國車廠 Mercedes-Benz 的車輛管理平臺主要透過車上 Onboard 系統即時回傳車輛位置、電池電量、剩餘電量、行駛里程、時速等資訊予後端主控台，另蒐集氣溫、道路交通量等外部因素資料，藉由車輛監控與紀錄進而進行車隊管理，此外，亦可透過傳輸資料進行電池管理與智慧充電排程。

其所規劃智慧交通系統(eMobility)，將整合電力監控、充電站數據傳接、電池技術、ITS 系統及營運計畫，系統可透過歷史資料進行大數據分析，並將分析資料回饋給充電樁設備與系統平臺進行優化（圖 2.2.15）。其系統包括以下功能與面向：

- (1)營運計畫：針對不同類型的顧客提供客製化的營運計畫，以達到最有效率之營運。
- (2)充電設施：與 Mercedes-Benz 目前的充電管理系統整合，找出充電樁最佳之設置地點與充電路徑，以提供充電設施設置參考，並根據充電資料進行充電樁之優化。
- (3)能源供應：配合當前能源市場，避開負荷能源高峰(temporary load peaks)。
- (4)服務與售後服務：提供客製化服務。
- (5)電池技術：持續透過營運數據資料提升電池技術。
- (6)ITS 系統整合：整合場站、設施與資料系統間的傳輸，並提供車況監控。
- (7)平臺與設備管理及優化：透過平臺資料的介接、傳輸紀錄，分析後回饋給系統平臺本身，以進行平臺功能維護、功能設計之調整，進而進行平臺優化。



資料來源：本計畫整理自 Mercedes-Benz eMobility Website，
https://www.mercedes-benz-bus.com/en_DE/e-mobility/e-mobility.html。

圖 2.2.15 Mercedes-Benz 智慧交通系統(eMobility)架構

4. Chariot Motors

Chariot Motors 為保加利亞一家提供電動車相關產品及服務之公司。其開發與電動巴士相關之軟體系統分為兩類，Gemamex 和 Abrites，分別專攻充電場站監測管理和車況監測管理（圖 2.2.16 與圖 2.2.17）。Gemamex 系統之特色為：

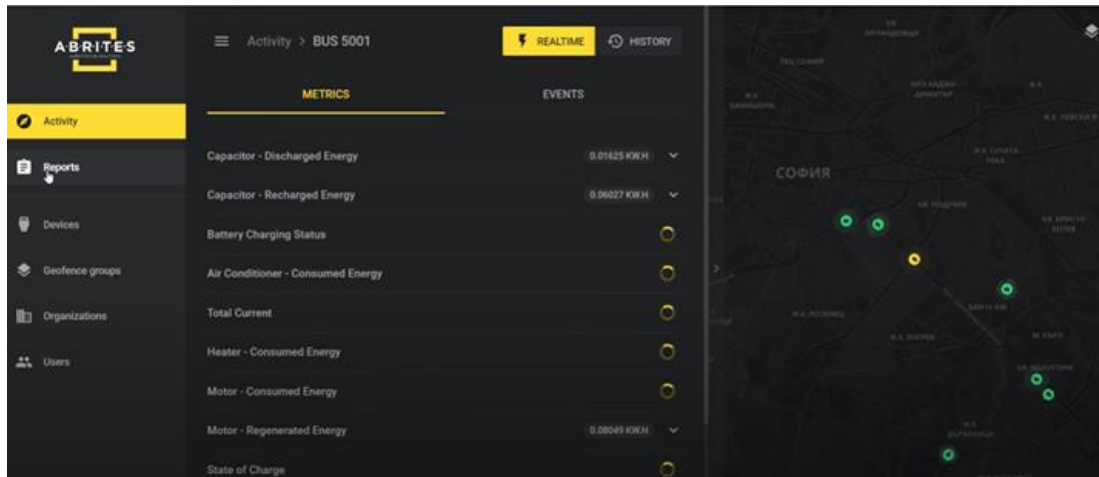
- (1) 提供場站狀態訊息
- (2) 充電歷程紀錄
- (3) 電巴的能源消耗和歷程紀錄
- (4) 歷史數據庫編制
- (5) 對紀錄進行時間同步



資料來源：本計畫整理自 Chariot Motors Website，<https://chariot-electricbus.com/>。

圖 2.2.16 Gemamex 管理系統

Abrites 系統之使用者功能包括，遠程診斷電動巴士出現的問題，實時監控電動巴士的技術狀態和運動情況，並將其生成報告。Abrites 系統之電力模組提供實時追蹤功能，每輛電動巴士不同部分的能量消耗和再生能量，當前超級電容器電壓，各子系統的能耗。



資料來源：本計畫整理自 Chariot Motors Website，<https://chariot-electricbus.com/>。

圖 2.2.17 Abrites 管理系統

5. Trapeze Group

Trapeze Group 是全球型大眾運輸技術開發公司，領域包含計程車、公車、鐵路、港路。在澳洲設有亞太地區、中東和非洲的業務基地，同時也在北美、南美、歐洲和英國有多項合作。

該公司開發智慧運輸系統(ITS)，包含 LIO-Volta、Smart Charging、Smart Monitoring 共 3 個子系統。其中 LIO-Volta 是專門設計給電動巴士，考量室外溫度、乘客數量和路線地形等實際數據，它利用實際數據來預測電動巴士的行駛時間和行駛里程，以優化電動巴士的營運(圖 2.2.18)。

2.3 交通巨量數據分析方法與標竿案例

2.3.1 雲端化分析軟體回顧

雲端運算(Cloud Computation)和巨量數據(Big Data)因近年來的技術突破，已大幅降低資料的儲存及運算成本，使得儲存巨量數據不再如以往那般複雜且昂貴。隨著巨量數據與日俱增，加上更易於存取，雲端服務業者結合物聯網、資料採礦、AI、預測性分析、機器學習和統計分析等方法推出更多元雲端平臺服務。

電動大客車的車載機資料以及充電資料可以透過雲端上結合演算法提供的各式服務，有效率地分析出車輛的用電效率、續航力和充電效率等關鍵指標，目前三大公有雲分別為 Amazon AWS、Microsoft Azure 和 Google cloud Platform (GCP)，目前三大公有雲在全球的布局與可用區域的數量如表 2.3-1。

1. 各大雲端服務簡介

(1) Amazon AWS

Amazon 的計算服務是 Elastic Compute Cloud 或 EC2。Amazon 將 EC2 描述為一種在雲中提供安全、可調整大小的計算能力的 Web 服務。EC2 提供了多種選擇，在計算類型服務中，Amazon 的各種容器服務正在日益普及，並且它具有支持 Docker、Kubernetes 及其自己的 Fargate 服務，這些服務在使用容器時可自動進行服務器和集群管理。

(2) Microsoft Azure

Azure 的主要計算服務為虛擬機。支援 Linux、Windows Server、SQL Server、Oracle、IBM 和 SAP，以及支援安全性增強、混合雲功能和對 Microsoft 軟體的服務。與 AWS 一樣，它具有大量可用服務，包括 GPU 和高性能計算選項，並針對人工智能和機器學習進行特別優化。

(3)Google cloud Platform (GCP)

GCP 主要服務稱為 Compute Engine，它擁有可客製和預定義的計算機類型，以每秒計費，支援 Linux 和 Windows 等作業系統，其能耗優化使其消耗的能源僅為傳統數據中心的一半。另外在台灣，Google 擁有自己的 Data Center(設立於彰濱地區)，代表台灣的用戶可以使用在本地的 region zone，不論是在速度的便利性，或是資料安全性上都有很好保障。

表 2.3-1 三大公有雲布局與可用區域比較

三大公有雲 平臺	AWS (Amazon)	Azure (Microsoft)	GCP (Google)
成立時間	2006 年	2010 年	2011 年
2023 年 Q1 市占率	34%	21%	10%
資料中心 數量	• 27 個區域(Region) • 87 個可用區域(AZ) • 2022 年 10 月，首度跨國佈局本地區域(Local Zone)，以台灣為首站	• 28 個區域(Region)	• 35 個區域(Region) • 106 個區域(Zone)

資料來源：本計畫整理自 AWS、GCP 與 Azure 官網。

2. 各大雲端服務比較

各大雲端服務優劣勢比較如表 2.3-2，不同雲端服務優劣比較，會受不同使用狀態與應用技術影響，各項說明如下。

表 2.3-2 三大公有雲優劣勢比較

項目	AWS (Amazon)	Azure (Microsoft)	GCP (Google)
優勢	• 具市場領先地位 • 多種類型的計算、儲存服務 • 產品成熟度高 • 全球影響力高	• 全球第二大提供商 • 與 Microsoft 工具和軟體結合 • 服務模組較多元完整 • 混合雲	• 專為雲端原生業務設計 • 致力於開源和可移植性 • 大幅折扣和靈活的合約 • DevOps 開發維運專業知識
劣勢	• 服務多元，使用困難 • 定價結構複雜 • 成立時間較早，系統架構較舊	• 部分服務僅限微軟產品使用 • 定價結構複雜	• 較晚發展 IaaS 服務 • 功能和服務較少 • 可用性和可靠性較低

參考資料：本計畫整理自【雲端平臺比較：Azure、AWS、GCP】，
<https://www.serenoclouds.com/blog/%E9%9B%B2%E7%AB%AF%E5%B9%B3%E5%8F%B0%E6%AF%94%E8%BC%83%EF%BC%9Aazure%E3%80%81aws%E3%80%81gcp/>。

關於機器學習服務，Google Cloud AI、Azure Machine Learning 和 Amazon Machine Learning 是市場上領先的雲端 MLaaS 服務，可以在少量或沒有數據科學專業知識的情況下進行快速模型培訓和部署，其中 Azure ML studio 更是擁有最全面的服務。

CLOUD MACHINE LEARNING SERVICES COMPARISON

	Amazon ML	Amazon SageMaker*	Azure ML Studio	Google Prediction API	Google ML Engine**
Classification	✓	✓	✓	✓	✓
Regression	✓	✓	✓	✓	✓
Clustering	✗	✓	✓	✗	✓
Anomaly detection	✗	✓	✓	✗	✓
Recommendation	✗	✓	✓	✗	✓
Ranking	✗	✓	✓	✗	✓
Algorithms	unknown	10 built-in + custom available	100+ algorithms and modules	unknown	TensorFlow-based
Frameworks	✗	TensorFlow, MXNet	✗	✗	TensorFlow
Graphical interface	✗	✗	✓	✗	✗
Automation level	high	medium	low	high	low

*Both out-of-the-box features and possible custom-built features are marked as available in Amazon SageMaker

**The features available in TensorFlow are respectively marked as available in Google ML Engine.

資料來源：<https://ikala.cloud/gcp-aws-azure-ai-ml-comparison-1/>

圖 2.3.1 各雲端服務提供之機器學習功能比較

(1)Amazon AWS

AWS 提供了多樣工具和服務，並經過許多使用者使用並驗證，因此可以提供穩定且可靠之服務。但若需要大量的個人化客製調整，可能須透過代理商以取得直接客製支援或協助。

①BI 服務

A.Amazon QuickSight：是雲端商業智慧工具，提供了直覺的數據探索和視覺化功能，支援多種數據來源。

B.Amazon Redshift：一個快速、可擴展的數據倉儲服務，用於處理大規模數據集並進行高效率的分析。

C.AWS Glue：用於數據準備和 ETL(提取、轉換和加載)的服務，可協助在不同數據來源之間進行數據轉換和彙整。

②ML 與 AI 服務

A.Amazon Rekognition：視覺分析服務，可用於圖像和影片分析，包括人臉識別、物體檢測等。

B.Amazon SageMaker：機器學習平臺，提供了一站式的模型建立、訓練和部署環境，並支援多種機器學習框架。

(2)Microsoft Azure

微軟的優勢是與微軟生態系統的整合，既有微軟服務可以移植至 Azure 上運行。此外，Azure 對於混合雲提供介接工具，可整合地端的數據中心環境與高擴展性的 Microsoft 雲端環境，此外微軟近期快速整合旗下服務與 ChatGPT，是與 AI 整合相對快速的服務商。

①BI 服務

A.Azure Synapse Analytics：提供統一的數據整合、分析和視覺化平臺，具有強大的大數據處理和機器學習能力。

B.Power BI：商業智慧分析工具，可用於數據探索、報告和視覺化。具有直覺的使用者界面和強大的數據分析功能。

C.Azure Data Factory：用於資料彙整和轉換的服務，可將資料從不同來源收集、轉換和載入到目標資料庫或數據倉儲中。

②ML 與 AI 服務

A.Azure Cognitive Services：提供了預建模組，如語音識別、圖像分析、自然語言處理等，可用於開發智慧型應用程式。

B.Azure Machine Learning：機器學習平臺，用於建立、訓練和部署機器學習模型，提供自動化的模型選擇和調整功能。

(3)Google cloud Platform (GCP)

Google Cloud Platform (GCP) 正在快速發展並處於成長階段，近期大力投資發展雲端計算業務，並藉其規模和機器學習優勢，構建自己的雲端平臺。

①BI 服務

A.Google Data Studio：一個免費的數據視覺化工具，可將資料從不同來源整合並建立互動式報告和儀表板。

B.BigQuery：分析型資料庫服務，可用於高速查詢和分析大規模數據集。

C.Cloud Dataflow：大數據 ETL 服務，用於準備和轉換資料，並支援即時和批次處理。

②ML 與 AI 服務

A.Google Cloud Vision API：影像辨識服務，提供了圖像分析和標記的功能，如物體檢測、光學字符識別等。

B.Google Cloud AutoML：自動機器學習平臺，使非專業使用者能夠建立和訓練自定義的機器學習模型。

表 2.3-3 三大公有雲各服務比較

項目	AWS (Amazon)	Azure (Microsoft)	GCP (Google)
計算功能	• EC2 • 彈性容器服務 • Kubernetes 的彈性容器服務 • 彈性容器註冊表 • Lightsail • 批量處理 • 彈性 Beanstalk • Fargate • 自動擴展 • 彈性負載平 • VMware Cloud on AWS	• 虛擬機 • 虛擬機規模集 • Azure 容器服務 (AKS) • 容器實例 • 批量處理 • 服務結構 • 雲端服務	• 計算引擎 • Kubernetes • 容器安全性 • 圖形處理單元 (GPU) • App Engine • Knative
儲存服務	• 簡單儲存服務(S3) • 彈性塊儲存(EBS) • 彈性文件系統 (EFS) • 儲存網關 • Snowball • Snowball Edge • Snowmobile	• Blob 儲存 • 隊列儲存 • 文件儲存 • 磁盤儲存 • Data Lake 儲存	• 雲端儲存 • 永久磁碟 • 傳輸設備 • 傳輸服務

參考資料：本計畫整理自【雲端平臺比較：Azure、AWS、GCP】，
<https://www.serenoclouds.com/blog/%E9%9B%B2%E7%AB%AF%E5%B9%B3%E5%8F%B0%E6%AF%94%E8%BC%83%EF%BC%9Aazure%E3%80%81aws%E3%80%81gcp/>。

2.3.2 交通巨量數據分析方法

巨量資料又稱大數據資料，係指所涉及的資料量達成一定規模致使無法透過人工方法，於合理時間內達到擷取、管理、處理、並整理成為人類所能解讀的資訊。一旦將各種小型資料集合併後進行分析，相對於單獨分析這些小型資料集，可獲得許多額外的資訊和資料關聯性，即使總資料量相同，巨量資料仍然提供了更多洞察和價值，其具備 5 個主要特點(5V 特性)，說明如下：

- 1.數據量(Volume)：系統收集到的資料量相當龐大。
- 2.時效性(Velocity)：資料具備極快的收集和更新速度。
- 3.多樣性(Variety)：系統收集的資料型態多元且不一致，包含文字、影音、網頁、串流等等結構性與非結構性的資料。
- 4.正確性(Veracity)：當資料來源更多元時，需關注資料本身的可靠度和品質，確保分析之正確性。
- 5.價值性(Value)：分析資料可獲取更高的價值。

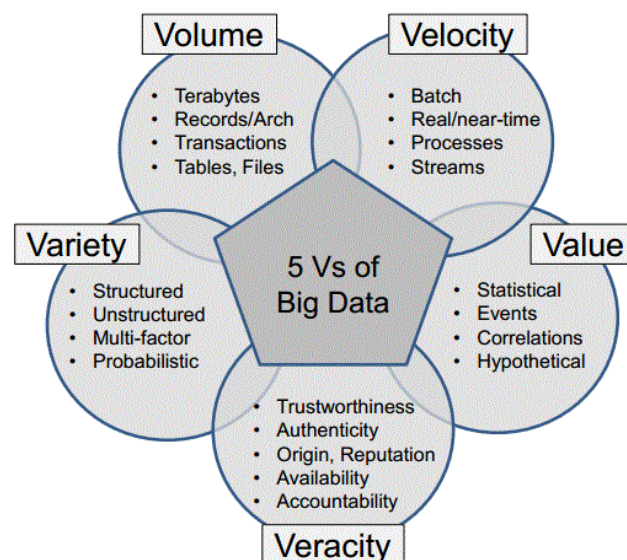


圖 2.3.2 巨量資料 5V 特性

有關巨量資料數據分析方法眾多，包含決策樹(Decision Tree)、隨機森林(Random Forest)及類神經網路(Neural Network)等，方法介紹及比較說明如下：

1.演算法與模型方法

資料探勘是「資料庫知識發現」(Knowledge-Discovery in Databases, KDD)的分析步驟，本質上屬於機器學習的範疇，而機器學習(Machine Learning)屬於人工智慧(Artificial Intelligence)的一個分支。「資料探勘」著重在為結果作最好的解釋，「機器學習」則著重在大量不可見數據中，模式表現是否良好，「人工智慧」則是一個基於深度神經網路技術之滾動學習系統，讓機器去執行人類的任務。

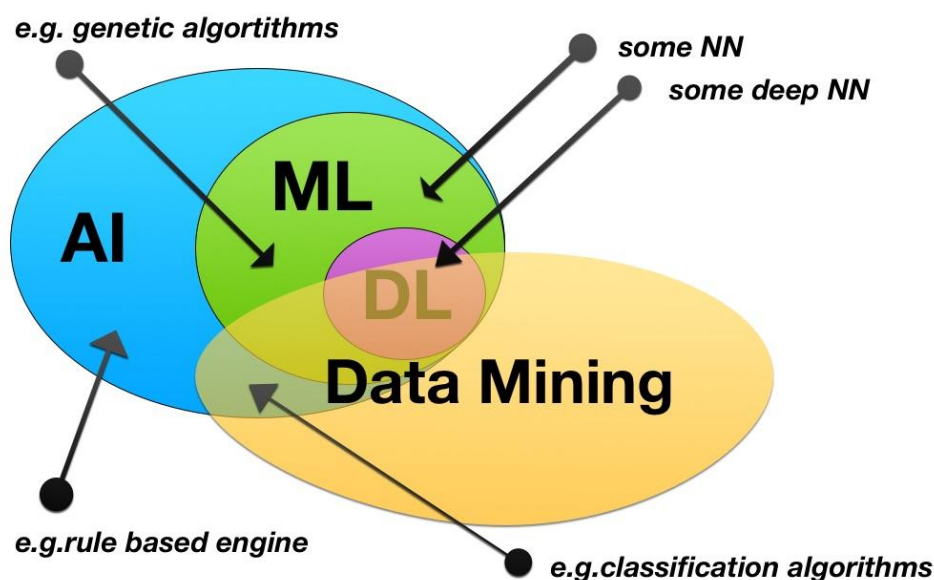


圖 2.3.3 資料探勘、機器學習、人工智慧比較

(1)決策樹(Decision Tree)

決策樹演算法為相當受歡迎的分類和預測模式，相對於常規的統計方法，決策樹模式產生的分類規則的可解釋能力佳。可解釋能力是指該模式得到的結果，使用者是否容易解讀和理解，決策樹模式結果為一樹狀結構，每一條由起點開始到終點的分枝串聯起來就是一條規則，由於其結果的視覺化與規則解讀的便利性，因此具有較佳的解釋能力，也適合用來探勘未知的知識或模型。

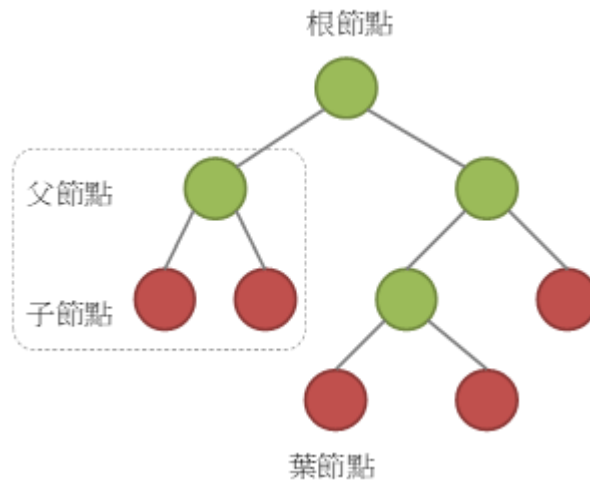


圖 2.3.4 決策樹模式概念圖

決策樹法為分類與迴歸樹(classification and regression tree, CART)，分枝方法為二元分枝，在構建過程中，最重要的是找到最好的分枝處，使得分枝被劃分後的分類是差異性最小，即便分類內仍存在一定量的差異性，但對整體紀錄來說，整體的差異性為最小。分枝準則使用的是 $\Delta Gini$ 係數，首先，給定一個節點 t ，以 $\Delta Gini$ 係數對分枝變數進行二元分割，假設屬性的分枝水準為 s ，再比較分枝前後的純度差異，若 $\Delta Gini(s, t) > 0$ ，表示子節點純度比其父節點純度高，則不考慮分枝；若 $\Delta Gini(s, t) < 0$ ，則表示子節點純度比父節點純度低，則作為該變數的候選分枝水準，其 $\Delta Gini(s, t)$ 下。

$$\Delta Gini(s, t) = Gini(t) - [Gini(t_{left}) + Gini(t_{right})]$$

t ：第 t 個節點； s ：分支水準。

藉由徹底搜尋所有可能的分枝水準，CART 演算法再每一個可能的分枝變數中，會選擇具有最大化純度的分枝水準作為候選分枝依據，再經由比較所有候選分枝變數中具有最大純度為節點分枝。

(2)隨機森林(Random Forest)

隨機森林亦是一種樹形分類器，利用 CART 構建沒有剪枝的分類迴歸樹，透過隨機向量決定單棵樹的生長過程，再將一堆決策樹聚在一起形成一個森林。當有新的輸入樣本進入時，由森林中的每一棵決策樹進行投票，以少數服從多數原則，決定該樣本的分類預測。隨機森林模式的特點是可以處理大量的特徵變數，產生高正確率的分類預測結果，故在建造森林時，在內部標準化後產生誤差不

偏差的估計，即使有一部分的資料遺失，仍可以維持正確率。

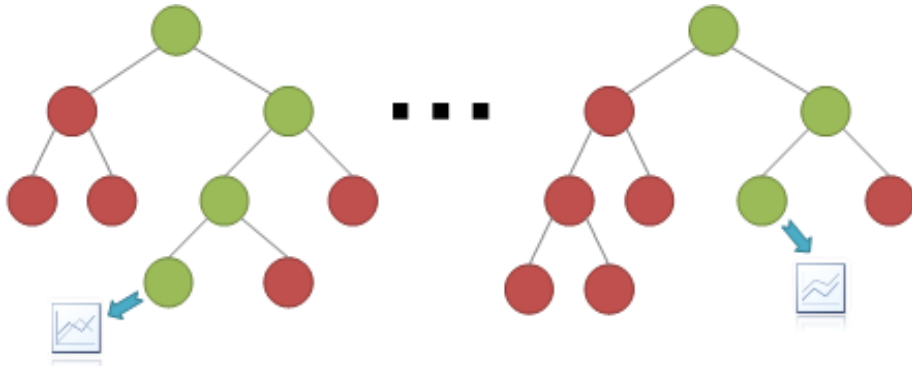


圖 2.3.5 隨機森林模式概念圖

隨機森林是一個包含多顆決策樹的分類器，由輸出的各類別樹的眾數而定。隨機森林是樹型(如：分類決策樹、迴歸決策樹等)的集合，中心分類演算法是利用 CART 演算結構，是未剪枝的決策樹，其中最終輸出是採用多數決的概念進行計算(如：多數投票決或簡單平均數)。

隨機森林定義為 $\{h(x, \theta_k), k = 1, \dots\}$ ， θ_k 隨機向量是決定每一顆決策樹的生長過程；隨機森林與 CART 皆是使用 Gini 值，其公式如 $Gini(D)$ 。當 $Gini(D)$ 為 0 時，此節點都屬於同一類，此分類最大結果可能得到最大的資訊， $Gini(D)$ 最大時，此節點所有屬性接呈現均勻分布，僅能表是最小且有用的資訊。如果集合成份 1 個子節點，則進行 Gini 的分裂(Gini split)，其公式如 $Gini_{split}(D)$ 。得到 $Gini_{split}(D)$ 最小值後，選擇做為此節點處分類的標準進行屬性分類。分類隨機森林樹最終輸出樹是以多數投票決進行計算，迴歸隨機森林則是以簡單平均數進行計算。

$$Gini(D) = 1 - \sum_{j=1}^n p(j|t)_j^2 \quad Gini_{split}(D) = \sum_{i=1}^l \frac{n_i}{n} Gini(i)$$

x : 分析輸入變項； $\{\theta_k\}$: 獨立且具有相同分佈的隨機向量； D : 包含 n 個樣本； $p(j|t)$: 是屬性的機率； l : 子節點個數； n : 節點母體樣本數； n_i : 子節點屬於 i 範圍的樣本數。

(3)類神經網路(Neural Network)

類神經網路是受大腦啟發的學習演算法，類神經網路所學到的界限相當複雜且不規則。優點為對於想要自行指定專屬網路結構的

需求者而言，類神經網路模式可以提供的可能性將會是取之不盡的。缺點為類神經網路演算法的計算方法，如同人類的大腦運作般複雜，無法由結果回溯其分析過程而瞭解結果產生的來龍去脈，使用者只能根據其結果自行判讀是否具有實質意義，因此可解釋能力較低。類神經網路模式另一個問題是需要用很長的時間來定型，特別是有許多特徵變數的大型資料集。

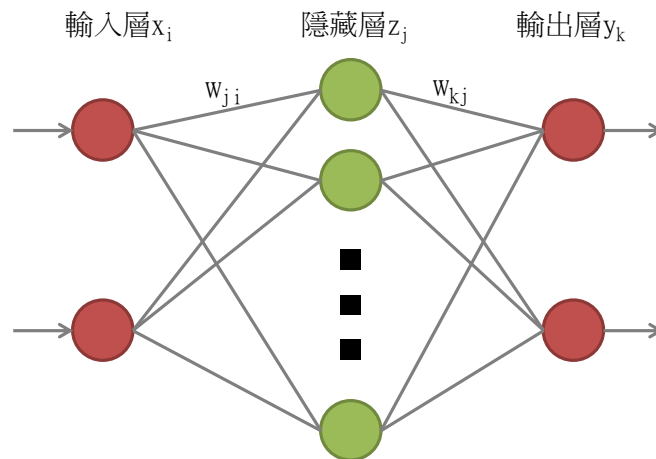


圖 2.3.6 類神經網路模式概念圖

倒傳遞類神經網路是廣為使用的監督式學習網路，基於最陡坡降法 (gradient steepest descent method)，透過迭代使訓練資料實際值與網路輸出值誤差最小化的過程建立模式。路網向前傳遞中，輸入訊息從輸入層通隱藏層加權計算，經活化函數轉換處理後，最後傳向輸出層並計算出網路輸出值，當網路輸出值與實際值有所差異時，則向後傳遞誤差訊息，修改各層神經元的權重與各神經元的門檻值，以修正輸出層神經元輸出值與實際值差距，其函數式如下：

$$z_j = f(net_j) = f(\sum_i w_{ji} x_i) \quad y_k = f(net_k) = f(\sum_j w_{jk} z_j)$$

w_{ji} ：第 j 至第 i 的權重； x_i ：輸入層 i ； z_j ：隱藏層 j ； z_k ：輸出層 k 。

(4) 深度學習 (Deep Learning)

隨著 AlphaGo 擊敗人類最高端的圍棋職業棋士，及在 Atari 遊戲或各式電子遊戲上令人驚嘆的表現，深度學習在短短幾個月內就成為家喻戶曉的最新科技名詞，各大科技公司都不約而同地紛紛投

入深度學習的研究，並在短短的時間內將相關的研究成果應用在各項產品上，包括影像識別、語音辨識、自然語言處理，甚至推薦系統、生醫資訊等，各種和生活相關的領域都可以看到深度學習的應用。深度學習法的優點在於計算效率較高，當資料量越大計算效能越明顯，惟其對於輸入資料學習能力高，若學習資料集品質不佳，則預測品質亦會較低落。

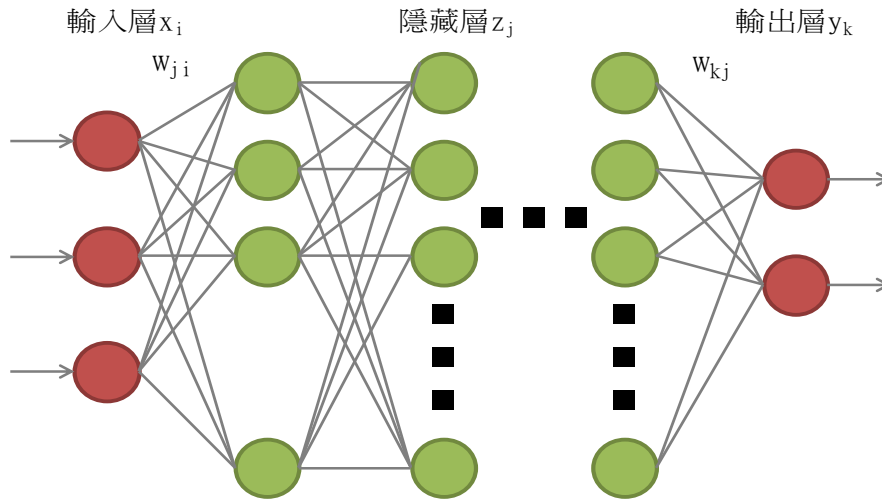


圖 2.3.7 深度學習模式概念圖

深度學習主要演算法是基於最陡坡降法 (gradient steepest descent method)，透過疊代使資料輸出值實際值之誤差達到最小，並將過程建立成模式。路網向前傳遞中，輸入值會從輸入層通隱藏層加權計算，經活化函數(稱為 sigmoid)轉換處理後，最後傳向輸出層並計算出網路輸出值，當網路輸出值與實際值有所差異時，則向後傳遞誤差訊息，修改各層神經元的權重與各神經元的門檻值，以修正輸出層神經元輸出值與實際值差距。隱藏層函數、輸出層函數概念如下面公式所述。

$$y(x) = f(W_1x + b) \quad z(x) = g(W_2y(x) + c)$$

w_1 ：輸入值之權重矩陣； w_2 ：編碼(encoding)矩陣； $y(x)$ ：隱藏層函數； $z(x)$ ：輸出層函數； b ：編碼誤差向量(encoding bias vector)； c ：編碼誤差向量(decoding bias vector)。

其目標式為最小化各階層輸入值與輸出值差距 $L(X, Z)$ ，即可取得模式所需參數 θ ，如下公式：

$$\theta = \arg \min_{\theta} L(X, Z) = \arg \min_{\theta} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \|x - z(x)\|^2$$

(5)極限梯度提升(XGBoost)

①監督式學習

XGBoost(eXtreme Gradient Boosting)是一種監督式學習的機器學習演算法，輸入含有多個特徵的 X_i 訓練模型，最終取得各個特徵的參數藉以預測目標變數 y_i ，在極限梯度提升演算法中，我們將目標函數設為損失函數再加上一個正規化項：

$$\text{Obj}(\theta) = L(\theta) + \Omega(\theta)$$

函數 L 表的是模型訓練損失，當 L 數值越低代表我們的模型對訓練資料擬合的越好；正規化項 Ω 用來衡量模型的複雜度，是為了防止演算法過度擬合訓練資料，使模型難以泛化於驗證資料以及真實環境中。於此次研究中，我們採用的損失函數 L 為：

$$L(\theta) = \sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2$$

②集成學習

極限梯度提升是一種樹型結構的演算法，由多個分類及迴歸樹(CART)所組成，透過集成訓練後的弱分類器，提升模型的表現，最後形成一個強分類器。一般來說單一個決策樹的模型難以應付實務上複雜的環境，使用綜合分類器的方式有助於讓模型表現更加穩健。模型的預測值 $\hat{y}_i$ 是每個獨立的樹加總所獲得的值：

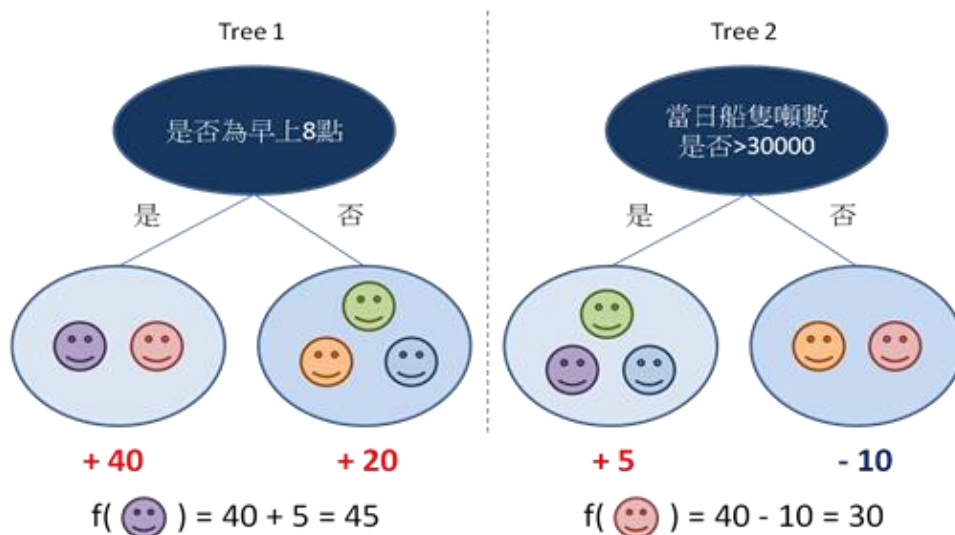


圖 2.3.8 集成學習概念圖

$$\hat{y}_i = \sum_{k=1}^K f_k(x_i), f_k \in F$$

K：樹的總數；F：所有可能的 CART 集合； f_k ：第 i 個樣本於第 k 棵樹的葉子的權重。

③提升(Boosting)

在函數 f 中包含了樹的結構以及葉子的數值，我們希望學習其中的參數優化模型的表現，提升樹運用提高前一次判斷錯誤的權重，讓模型針對表現不好的地方再做訓練，並使用相加訓練(Additive training)的技術，固定住我們已經學習到的地方，經過迭代改善模型的表現。假設 $\hat{y}_i^{(t)}$ 為在第 t 次迭代的預測值：

$$\hat{y}_i^{(0)} = 0$$

$$\hat{y}_i^{(1)} = f_1(x_i) = \hat{y}_i^{(0)} + f_1(x_i)$$

$$\hat{y}_i^{(2)} = f_1(x_i) + f_2(x_i) = \hat{y}_i^{(1)} + f_2(x_i)$$

...

$$\hat{y}_i^{(t)} = \sum_{k=1}^t f_k(x_i) = \hat{y}_i^{(t-1)} + f_t(x_i)$$

2.方法比較

(1)機器學習方法比較

機器學習數據探勘方法眾多且特性不同，Fernandez-Delgado et al.(2014)從 20 種常用的數據探勘方法，針對 UCI 蒐集 121 個資料集，以 3 種不同分析工具，排列組合出 179 種方法進行分類正確性評估，以窮舉法地毯式比較各方法的優劣，研究指出「隨機森林」分類正確率排名最高，達 94.1%，因此，無論在處理任何類型的資料型態，「隨機森林」獲得最佳的分類預測成果，且「隨機森林」可以做迴歸和分類，是一個高度靈活的機器學習法。

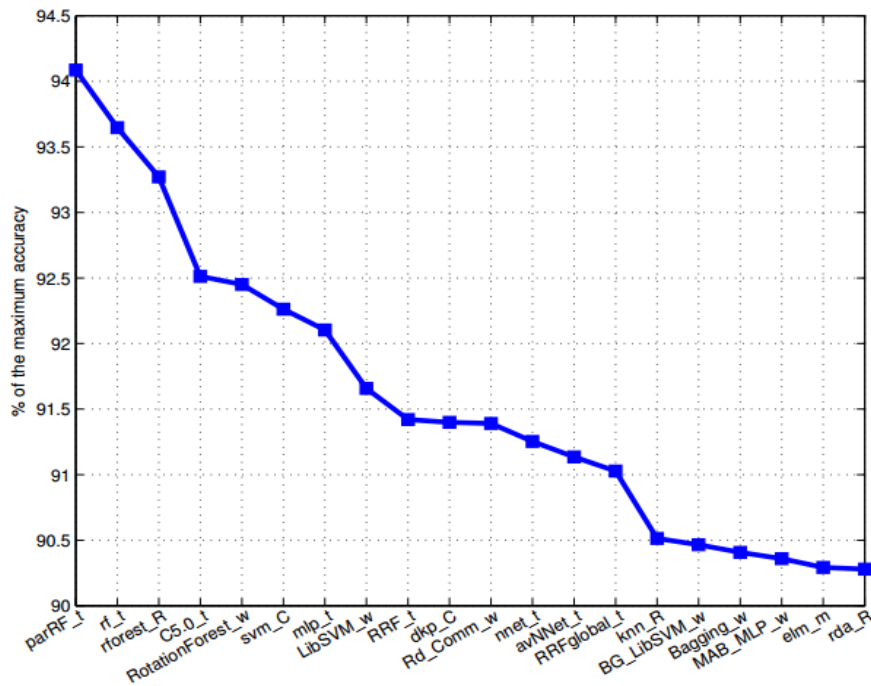
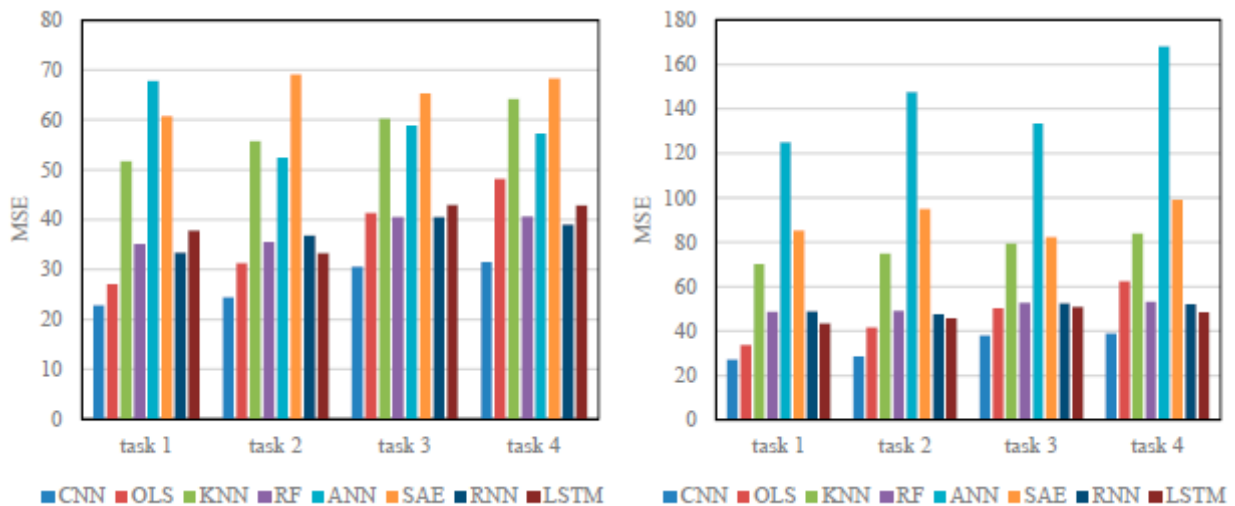


圖 2.3.9 機器學習法正確率比較

(2)人工智慧方法比較

「深度學習」於交通領域應用雖屬於相當新穎之議題；但於過去所發展的車流模式、號誌最佳化等議題其實已經有類似的方法論，並且發展已久，稱之為「類神經網路模式」。Ma et al.(2017)比較各類方法，應用在北京快速道路場域，在可接受的運算時間下，研究指出「深度學習」(CNN、SAE)比「淺層學習」(KNN、RF、ANN、RNN)預測能力更佳。

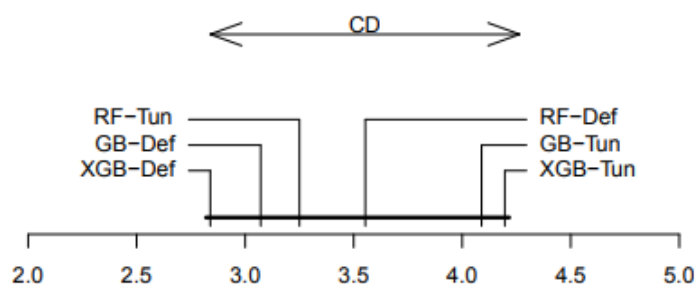


資料來源：Ma, X., Dai, Z., He, Z., Ma, J., Wang, Y., & Wang, Y. (2017), "Learning traffic as images: A deep convolutional neural network for large-scale transportation network speed prediction.", Sensors, Vol.17, No.4, p.818.

圖 2.3.10 深層淺層學習方法正確率比較

(3) 集成模型比較

Bentejac et al.(1911)有鑑於近年來梯度提升與隨機森林等機器學習技術在實務上擁有訓練速度快且準確的優點，為了比較 XGBoost、隨機森林與一般梯度提升演算法的訓練速度與模型泛化的能力，作者從 UCI 中汲取 28 個不同的資料集，運用實際案例訓練出各自的預設參數以及利用網格搜尋調參總共六個模型相互比較模型的表現，發現經過調整參數的 XGBoost 演算法獲得最高的排名分數。

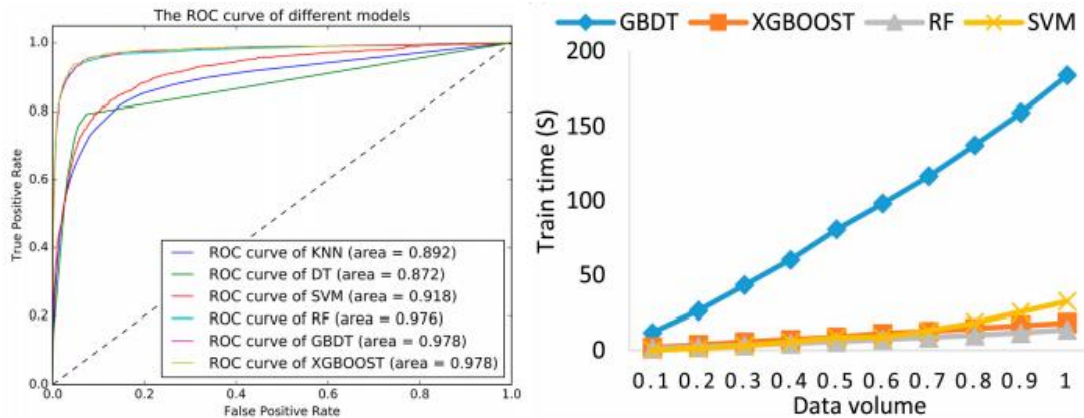


資料來源：Bentéjac, C., Csörgo, A., & Martínez-Muñoz, G. (1911), "A comparative analysis of xgboost", ArXiv abs.

圖 2.3.11 模型於資料集的平均排名(CD = Critical Difference)

Xiao et al.(2017)指出近年來的提升交通行為預測準確率的方法圍繞在(1)增加更多感測器以及(2)利用一些地理資訊的方法創造更

多特徵這兩個方向上，而此研究選擇做優化模型提升預測準確率的研究，該篇比較各種樹型的集成模型(隨機森林、梯度提升決策樹、XGBoost)，發現 XGBoost 在 GEOLIFE 這個資料集的分類準確率有最好的表現。



資料來源：Xiao, Z., Wang, Y., Fu, K., & Wu, F. (2017), "Identifying different transportation modes from trajectory data using tree-based ensemble classifiers", ISPRS International Journal of Geo-Information, Vol.6, No.2, p.57.

圖 2.3.12 模型 ROC 曲線與訓練時間比較

2.3.3 交通巨量數據分析標竿案例

有鑒於近年來 AI、機器學習等技術越來越受重視，且其應用範圍亦逐漸擴大。因此本節除了蒐集學術界對於巨量數據分析之研究報告，另由於須應用於實務，亦蒐集國外業界之實務案例。參考各自的應用範疇、研究方法，並作為標竿案例。

學術界的部分，考量分析車輛能耗、電池壽命為電動大客車是否能長久營運之重要議題，故蒐集之文獻多研究於分析上述二者，與如何建立分析架構。業界的部分，案例則除了包含車輛能耗、電池壽命預測與安全性監控，亦包含充電排程等範疇，本計畫以 Amply Power & BP、TWAICE、Silver Power Systems 與宇通客車等公司之實際案例作為應用之標竿案例。說明如下：

1.學術研究:

(1)Wang et al.

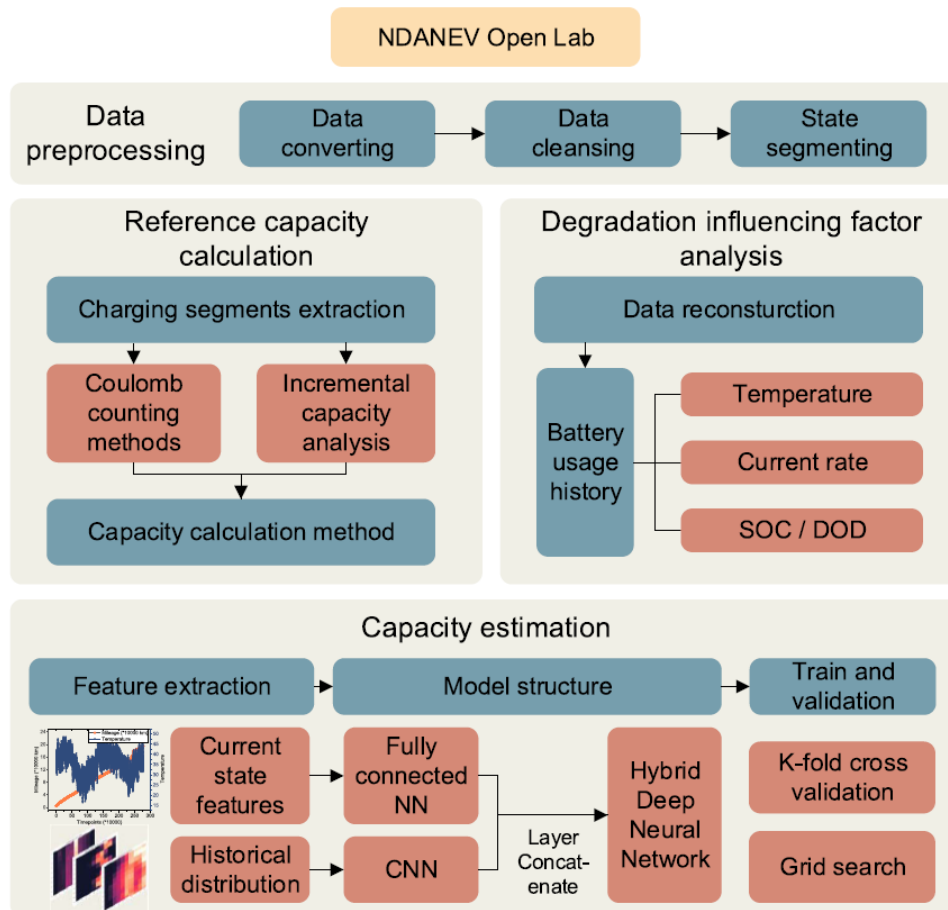
①研究目標：

有鑒於電動車的快速發展和逐漸普及，電動車的安全性亦越來越受重視，電池容量與壽命預測因而成為了一個關鍵的議題。然而，現有的預測方法存在著例如計算成本高、預測精度低等諸多問題。因此，此文獻旨在根據車隊實際數據，提出混合深度神經網絡(Hybrid Deep Neural Network)模型之研究架構，以實現準確的電池容量與壽命預測，進而幫助電動車的駕駛員和管理者了解電池的健康狀況，優化電池的充放電策略，與減少電池的維修和更換成本。

②研究方法與資料蒐集：

數據藉由中國國家新能源汽車大數據聯盟(NDANEV)的開放實驗室取得，以服務於中國南方的佛山市和北方的長春市，共 40 輛電動大客車為主要研究對象，蒐集其營運的實際數據，包括車輛和電池之電流，電壓，溫度，充放電時間等 73 個數據項目進行研究。此文獻使用 Python 3.9 版本程式語言和 Scikit-learn、Keras with Tensorflow 等系統進行機器學習方法的訓練和測試，

並以 0.1 Hz 的採樣頻率（資料每秒撈取 10 次）實時傳輸到系統上做後續分析。



資料來源：Wang, Q., Wang, Z., Zhang, L., Liu, P., & Zhou, L. (2022), “A battery capacity estimation framework combining hybrid deep neural network and regional capacity calculation based on real-world operating data.”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 70(8), 8499-8508.

圖 2.3.13 混合神經網路分析電池壽命架構

此研究提出了一個結合實際營運數據和混合深度神經網絡 (Hybrid Deep Neural Network) 的架構，以準確估計電動汽車電池容量。該架構包括三個主要步驟：數據預處理、參考容量計算與電池壽命影響因素分析、容量預估。(圖 2.3.13)

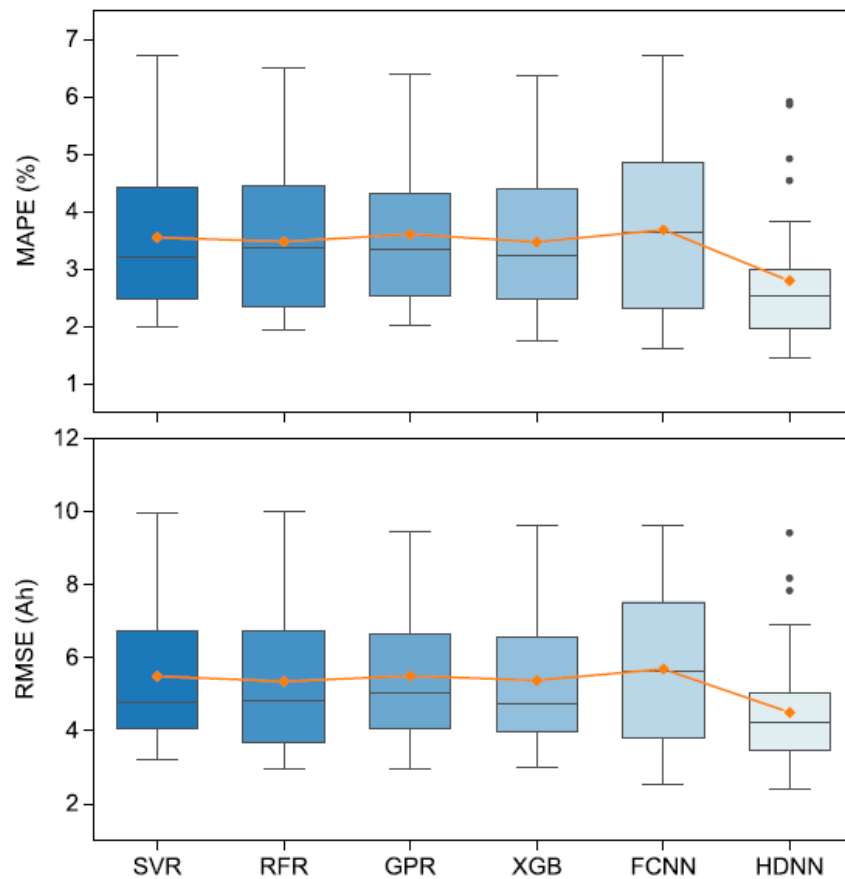
A. 在數據預處理階段(Data Preprocessing)，原始數據被轉換為易於計算的形式，並進行數據清洗和狀態分段。

B.在參考容量計算階段(Reference Capacity Calculation)，結合庫倫計數法(Coulomb Counting Methods)和增量容量分析法(Incremental Capacity Analysis)，用於根據電池的充放電曲線確定電池的容量，減少了電池容量的測量誤差。在電池壽命影響因素分析階段(Degradation Influencing Factor Analysis)，對溫度，電流，和電池的充電狀態對電池老化的影響進行了量化分析，發現這些因素會導致電池容量的不同程度的下降。

C.在容量預估階段(Capacity Estimation)，根據電池容量的當前狀態、歷史數據，結合卷積神經網絡(Convolutional Neural Network, CNN)和全連接神經網絡(Full Connected Neural Network, FCNN)，組成混合深度神經網絡(Hybrid Deep Neural Network)模式，對電池容量進行估計。後續亦使用K折交叉驗證方法(K-fold cross validation)與網格搜尋方法(Grid Search)進行模式之訓練與驗證。

③研究成果：

此研究將建立之混合深度神經網絡(Hybrid Deep Neural Network)模式，與支持向量迴歸(Support Vector Regression, SVR)、隨機森林迴歸(Random Forest Regression, RFR)、高斯過程迴歸(Gauss Process Regression, GPR)、極限梯度提升(Extreme Gradient Boosting, XGB)、全連接神經網絡(Full Connected Neural Network, FCNN)等方法做比較，亦使用平均絕對百分比誤差(MAPE)和均方根誤差(RMSE)等二項指標驗證模式適用性，數值皆越低越好，結果混合深度神經網絡模式得出MAPE值2.79%與RMSE值4.49Ah，皆低於其他方法，明顯模式之電池壽命預估精度較優，可進而幫助提高電動汽車的性能和可靠性。(圖 2.3.14)



資料來源：Wang, Q., Wang, Z., Zhang, L., Liu, P., & Zhou, L. (2022), “A battery capacity estimation framework combining hybrid deep neural network and regional capacity calculation based on real-world operating data.”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 70(8), 8499-8508.

圖 2.3.14 混合神經網路分析電池壽命之精度與其他方法比較

(2)Zhang et al.

①研究目標：

電池健康度是電池性能和壽命的指標，會隨著電池的使用和老化而下降。此文獻旨在根據電動大客車實際運行所收集的數據，提出一個基於輕量級梯度提升機（light gradient boosting machine, LGBM）的機器學習模型，用以預估電池健康度，並掌握電池退化與影響因素之間的關係。使優化電池健康管理和重複使用情形，進而幫助電動車駕駛和管理者掌握電池使用狀態，提高電池的安全性和可靠性。

②研究方法與資料蒐集：

此研究從中國國家新能源汽車大數據聯盟（NDANEV）獲取電動大客車實際營運數據，包括行駛里程、電流、電壓、SOC、電池最高與最低溫度。以服務於中國佛山市，共 32 輛具有相同電池規格(電壓 537.6 V/容量 240 Ah)的電動巴士進行實驗，評估其電池狀態。研究歷時 2 年，電池數據每 10 秒回傳一次，車輛平均行駛里程約 17 萬公里。

電池健康度分析模型可分為四個階段，資料萃取、資料標準化、模式訓練、模式驗證。(圖 2.3.15~圖 2.3.16)

A.資料萃取(Feature Extraction)階段，從車輛實際運行之數據中，篩選出與電池老化相關之因素，以確定可輸入模式內之參數。

B.資料標準化(Feature Normalization)階段，將值調整至 0 與 1 之間，旨在不影響原始數據分佈下將數據範圍縮小，使模式加速收斂，提高模式後續訓練、驗證、測試過程之穩定性。

C.模式訓練(Model Training)階段，旨在縮小基於 LGBM 方法之模式估計值與實際值之間的誤差，以提高模式分析精度。將 32 輛車中的 28 輛分至訓練與驗證組(Training & Validation data)，其餘 4 輛分至測試組(Testing data)，以驗

證所提模式之有效性，用於研究的資料集是隨機用於模型訓練和測試的。透過驗證、比較分析和敏感性分析證明了所提出的方法相對於現有演算法的有效性、低複雜性、優越性和穩健性。

D.模式驗證(Model Evaluation)階段，旨在使用絕對誤差(e)、相對誤差(e_r)、平均絕對百分比誤差(MAPE)、均方根誤差(RMSE)等指標，驗證 LGBM 模式的適用性。

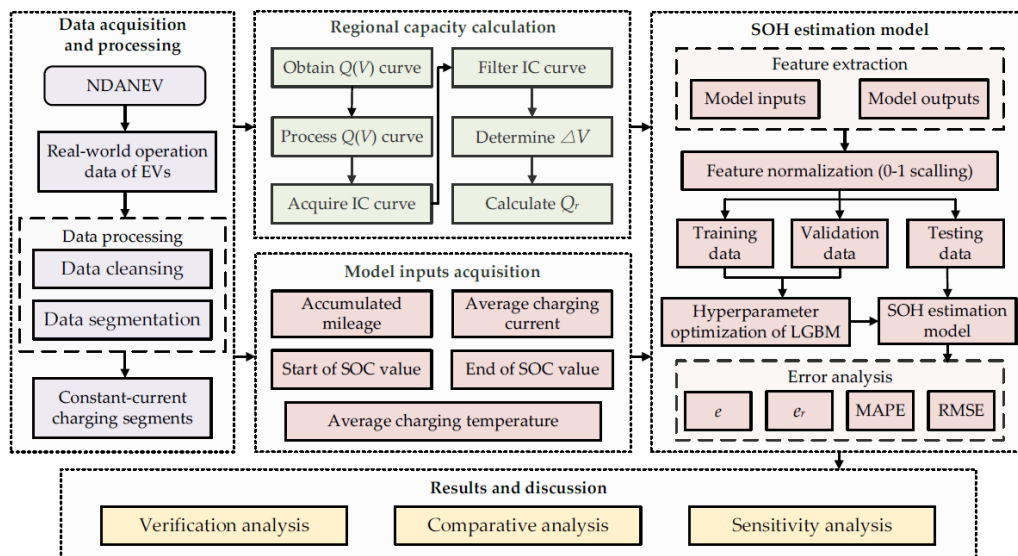
③研究成果：

後續採用驗證分析(Verification Analysis)、比較分析(Comparative Analysis)、敏感度分析(Sensitivity Analysis)等方法驗證模型並分析。

A.驗證分析(Verification Analysis)：使用從電動車收集的實際運行數據進行驗證分析，以驗證所提出的 SOH 估計方法的有效性。將所提出的方法與現有演算法進行比較，包括庫侖計數法、開路電壓法和等效電路模型法。結果表明，該方法在準確性、穩健性和可行性方面均優於現有演算法。此方法可以實現準確的 SOH 估計，MAPE 和 RMSE 分別僅為 2.049% 和 1.153%。驗證分析證明了該方法在估算電動車鋰離子電池 SOH 方面的有效性和優越性。

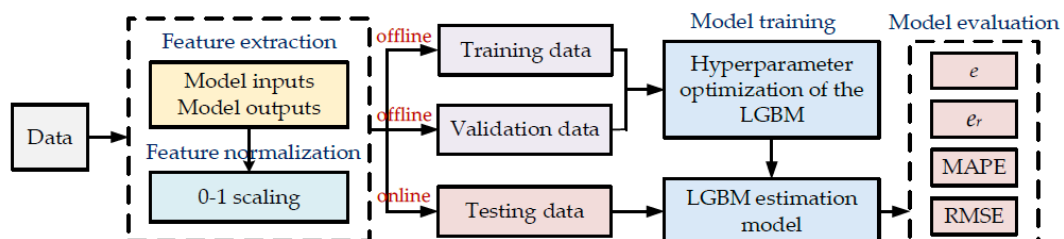
B.比較分析(Comparative Analysis)：進行比較分析，將所提出的 SOH 估計方法與現有演算法進行比較，包括基於線性迴歸 (Linear Regression, LR)、隨機森林 (Random Forest, RF) 和支援向量機 (Support Vector Machine, SVM) 的 SOH 估計演算法。進行比較研究以證明所提出的方法在準確性、穩健性和可行性方面的優越性。繪製估計相對誤差的分佈以獲得更直觀的視圖。此方法的估計結果具有最高的精度、最小的最大誤差和總體較小的錯誤率，顯示其與 LR、RF 和 SVM 相比具有優越的能力。比較分析證明了此方法在估算電動車鋰離子電池 SOH 方面的有效性和優越性。

C.敏感度分析(Sensitivity Analysis)：進行敏感度分析以評估所提出的 SOH 估計方法對雜訊損壞的穩健性。在將測試資料集轉發到模型之前，將白噪聲添加到測試資料集的所有模型輸入中。最大噪音率設定為 1%、2%、3% 和 5%。所提出的 LGBM 模型進一步使用帶有雜訊的資料進行敏感度分析。圖 2.3.15 可以看出，不同雜訊強度下的 MAPE 範圍為 2.354%~2.881%，RMSE 範圍為 1.401%~1.663%。結果驗證了所提出的方法對噪音損壞的高精度和良好的穩健性。敏感度分析證明了該方法在不同噪音強度下估算電動汽車鋰離子電池 SOH 時的穩健性和有效性。



資料來源：Zhang, Z., Wang, S., Lin, N., Wang, Z., & Liu, P. (2023), “State of Health Estimation of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles Based on Regional Capacity and LGBM.”, Sustainability, 15(3), 2052.

圖 2.3.15 LGBM 方法分析電池壽命架構



資料來源：Zhang, Z., Wang, S., Lin, N., Wang, Z., & Liu, P. (2023), “State of Health Estimation of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles Based on Regional Capacity and LGBM.”, Sustainability, 15(3), 2052.

圖 2.3.16 LGBM 方法分析電池壽命方法應用

(3) Li et al.

①研究目標：

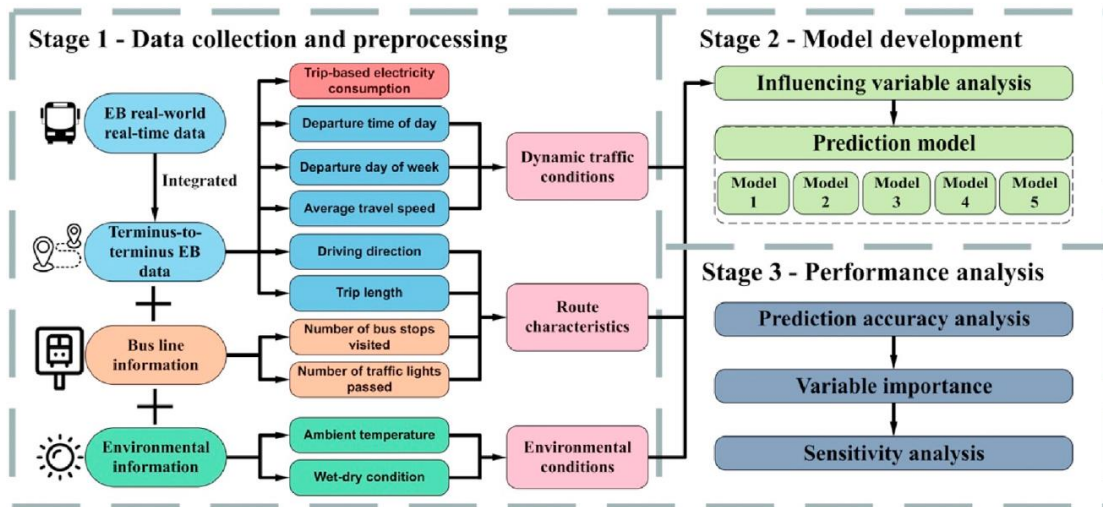
由於目前較少文獻綜合探討各項變數對電動巴士用電量預測效能之間的關係，因此本文獻將分析與比較環境條件、路線特徵及動態交通條件對預測效能精準度之影響，本研究的主要目標：(1)建立 5 種隨機森林預測模型，以不同類別的 9 個變數輸入模型，評估實際營運條件下環境條件、路線特徵及動態交通條件對預測性效能之影響，模型之建構根據連續 5 個月中國深圳電動巴士蒐集的大數據資料執行。(2)進行變數重要性分析，將所有影響變數對預測表現之影響進行排序，幫助未來研究上變數之選擇。(3)進行局部敏感度分析，估計特定旅行用電量 (kWh/km) 隨個體影響變數的之變化情況，並針對五種情境進行分析，將展示結果進行變化上之比較。

②研究方法與資料蒐集：

每輛電動巴士都配備車機，並且每 10 秒記錄一次該台車輛行車資料，本研究於 2019 年 1 月 1 日至 5 月 31 日蒐集了 1024 台電動巴士的行車資料，每筆資料欄位皆記錄了公車 ID、目前時間、累積里程、目前行駛速度、目前充電狀態 (SOC) 及目前 GPS 座標；公車路線透過高德地圖蒐集資訊，包括經過的公車站牌數及交通號誌數；環境透過氣候網站蒐集資料，包括每小時的環境溫度及每小時的天氣狀況，透過資料預處理將影響變數分為三大部分：動態交通狀況(當天出發時間、一週出發之日期、平均行駛速率)、路線特徵(路線長度、經過之公車站牌數量、路線經過之紅綠燈數量、行駛方向)、環境條件(每小時之環境溫度、每小時之天氣條件)。

為分析不同類別對於預測效能之影響，根據隨機森林機器學習開發了五種涉及不同類別影響變數之模型：(1)行程長度(2)行程長度及路線特徵(3)行程長度及動態交通資料(4)行程長度及環境條件(5)所有影響變數，透過三項指標： R^2 、MAPE、RMSE 對於模型的預測效能進行比較與分析，同時分析輸入變

量的變數重要性，並將變化趨勢較無法以數字量化之變數，透過情境設定進行局部敏感度分析。(圖 2.3.17)



資料來源：Li, P., Zhang, Y., Zhang, K., & Jiang, M. (2021), “The effects of dynamic traffic conditions, route characteristics and environmental conditions on trip-based electricity consumption prediction of electric bus.”, Energy, 218, 119437.

圖 2.3.17 隨機森林分析用電量預測精準度架構圖

③研究成果：

本研究採用中國深圳電動巴士的大數據資料分析五個隨機森林的預測模型，以不同數量的影響變數作為輸入，研究電動巴士用電量預測的影響，針對研究成果做以下整述：

A.考慮所有影響變數比起考慮部分變數可以大幅提高電動巴士用電量之預測精準度(圖 2.3.18)

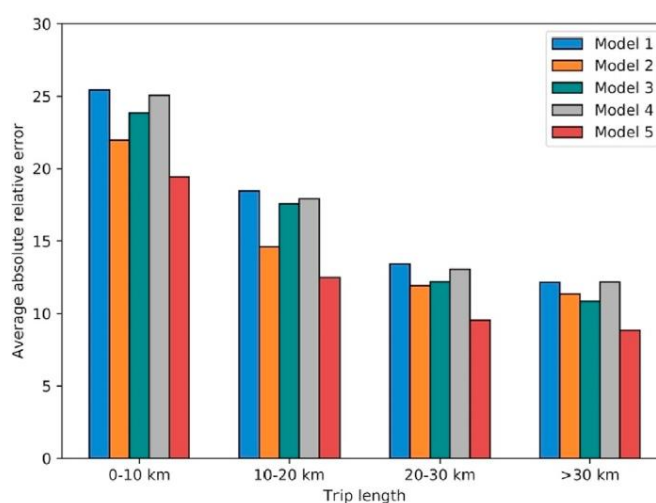
Model	R^2	MAPE	RMSE
Model 1	0.859 ± 0.001	$19.956\% \pm 0.093\%$	3.520 ± 0.011
Model 2	0.896 ± 0.001	$16.663\% \pm 0.093\%$	3.024 ± 0.012
Model 3	0.874 ± 0.001	$18.700\% \pm 0.081\%$	3.322 ± 0.187
Model 4	0.864 ± 0.001	$19.511\% \pm 0.088\%$	3.454 ± 0.014
Model 5	0.926 ± 0.001	$14.335\% \pm 0.060\%$	2.544 ± 0.013
MLR	0.877 ± 0.001	$19.335\% \pm 0.001\%$	3.278 ± 0.001

Note: The values following “ $\pm$ ” are the standard deviations of each measurement calculated over the 10-folds cross validation.

資料來源：Li, P., Zhang, Y., Zhang, K., & Jiang, M. (2021), “The effects of dynamic traffic conditions, route characteristics and environmental conditions on trip-based electricity consumption prediction of electric bus.”, Energy, 218, 119437.

圖 2.3.18 隨機森林模型的三項精準度指標比較

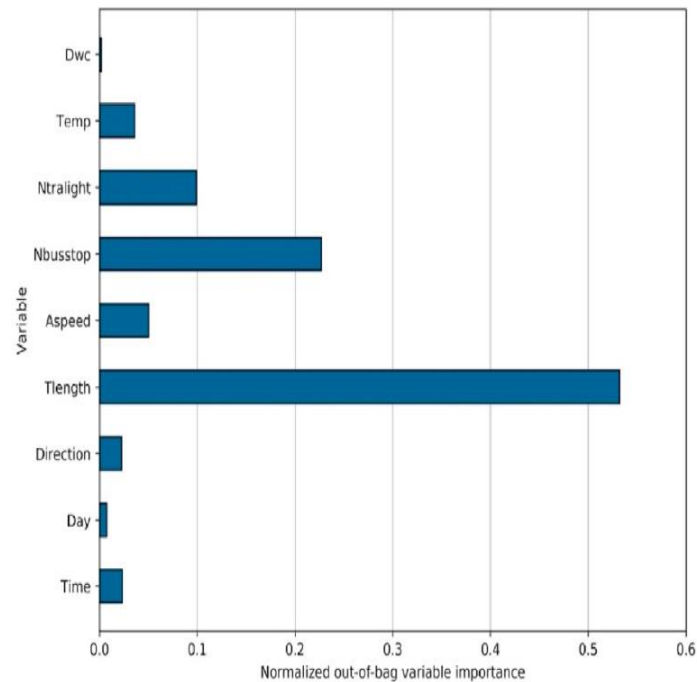
B.根據不同行程長度條件下分析隨機森林模型的預測效能，發現行程 20 km 可作為分水嶺評估電動巴士的電量預測是否需考慮更多變數(圖 2.3.19)



資料來源：Li, P., Zhang, Y., Zhang, K., & Jiang, M. (2021), “The effects of dynamic traffic conditions, route characteristics and environmental conditions on trip-based electricity consumption prediction of electric bus.”, Energy, 218, 119437.

圖 2.3.19 不同行程長度範圍內的平均絕對相對誤差

C.變數重要性分析結果，行程長度對預測精準度影響最大，其次是公車站數量及經過的交通號誌數量，乾濕條件是最不重要的影響變數(圖 2.3.20)



資料來源：Li, P., Zhang, Y., Zhang, K., & Jiang, M. (2021), “The effects of dynamic traffic conditions, route characteristics and environmental conditions on trip-based electricity consumption prediction of electric bus.”, *Energy*, 218, 119437.

圖 2.3.20 資料透過排列獲得的標準化變數重要性

D.具體用電量的敏感性分析結果，行程長度及平均行駛速率與單位用電量成反比，公車站數、經過的紅綠燈、環境溫度與單位用電量呈正比關係，因此建議將路線長度設定在10公里以上，以減少每公里的電量消耗，當行程長度約12.7公里時，公車站點的最佳數量不宜超過29個。

本研究之研究成果可為影響變數之選擇及提高用電量預測精準度之方式提供參考，針對預測模型可用於大規模電動巴士車隊的調度最佳化及充電基礎設施的最佳設置位置，建議未來對更多影響變數進行分析，例如駕駛操作行為及乘客行為相關之變數，更全面地了解電動車在電量消耗上的影響因子。

(4) Ji et al.

① 研究目標：

本文獻旨在開發預估電動大客車行駛能耗之模式。有鑒於使用深度與機器學習方法進行車輛能耗分析時未考量行駛時間之隨機性，其分析精確度稍嫌不足，且車輛能耗變化和相關影響因子間可能存在非線性關係。因此本研究之主要目標：(1)以迴歸分析方法為基底，納入環境溫度、行駛距離等多項影響變數，建立多變數非線性迴歸模型，以分析車輛能耗情形，從而為電動大客車的規劃、營運和生命周期效益評估提供基礎。(2)針對各項影響因子做相關性分析，以確認是否為線性相關，亦或是非線性相關。(3)使用 MAPE 等指標，與其他文獻之模式比較，驗證模式的分析精確度。亦根據車輛空調在設定為開啟冷、暖氣時之情境，驗證模式分析精確度。(4)針對不同環境溫度、車輛行駛距離與時間、車體與電池重量、載客量等之變化，進行敏感度分析，以分析各項影響因子對於車輛能耗之影響程度。

② 研究方法與資料蒐集：

本研究以位於中國吉林省梅河口市內，服務 3 條營運路線之 31 輛電動大客車為研究對象，從其營運數據平台內蒐集 2020 年 1 月 6 日至 2021 年 3 月 1 日間，共計 4,360 次行程的包括車輛行駛相關數據、車輛型號、環境溫度、車輛空調系統等車輛實際數據，亦蒐集其他足以影響能耗之因子。

A. 車輛行駛相關數據：包括行駛時間、行駛距離、平均行駛速度。數據可能因交通量尖離峰變化而影響車輛整體能耗表現。

B. 車輛型號：不同的車輛型號意味著有不同的車體重與電池容量(與重量)。本研究之試驗車隊具有三個不同型號之車輛。

C. 環境溫度：環境溫度為影響能耗之重要因素，其與電池運作溫度之差距越大，能耗亦越大。本研究每小時自當地氣象局撈取環境溫度資料。

D.車輛空調系統：季節交替影響空調系統冷暖氣之使用，從而影響車輛能耗。

E.其他影響因子：除了上述數據，亦有蒐集其他影響能耗之因子，包括駕駛行為、站牌與路口數量、道路坡度、車輛出發時之 SOC 等。但由於對於能耗之影響甚小，故不納入模式參數中。

雖然本研究強調隨機性影響變數與車輛能耗變化間可能存在非線性關係，但將能耗改為以對數呈現後，發現因變數與自變數間存在線性關係，意味著更有利於分析能耗，因此後續改使用對數迴歸模型分析能耗。後續除使用 RMSE、MAE、MAPE、 R^2 、泰爾係數(Theil coefficient)等相關指標分析不同車型運行路線與車輛在開冷、暖氣等不同情境時之分析效能，亦將此模式與其他文獻之模式比較分析效能，另亦針對環境溫度、重量、行駛數據之變化做模式之敏感度分析。

③研究成果：

A.與其他文獻比較：

本研究與 Abdelary and Mohamed(2021)提出的能耗模型比較分析效能，發現 R^2 值較高、MAPE 值較低，兩項指標皆優於另一模式，意味著本研究模式分析效能較佳。(圖 2.3.21)

Models	Model structure	R^2	RMSE
Model I	$E_i = \theta_0 + \theta_1 GR_i + \theta_2 D_i^{log} + \theta_3 RC_i + \theta_4 AC_i + \theta_5 PL_i + \theta_6 SD_i + \theta_7 \bar{v}_i + \theta_8 SOC_i$	0.961	0.691
Model II (本研究)	$\ln \bar{w}_{1i} = \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 \ln L_i + \hat{\alpha}_2 \ln M_i + \hat{\alpha}_3 \ln \bar{v}_i + \hat{\alpha}_4 \bar{T}_i - \bar{T}_g $	0.986	0.336

資料來源：Ji, J., Bie, Y., Zeng, Z., & Wang, L. (2022), “Trip energy consumption estimation for electric buses.”, Communications in Transportation Research, 2, 100069.

圖 2.3.21 指數迴歸方法與其他分析方法之分析精度比較

B.比較不同情境時之分析效能

本研究有比較不同車型運行不同路線、車輛開/關空調與開啟冷/暖氣等不同情境時，模式的分析效能，發現其中在開啟冷、暖氣時，效能差距較明顯。根據研究結果得知，車輛開冷氣時，RMSE、MAE、MAPE、泰爾係數等指標皆低於開暖氣時，亦即車輛開冷氣時模式之分析效能較開暖氣時佳，可能原因為由於梅河口市雖然全年溫差極大($-27^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$)，但均溫較低，使得暖氣需求較高而導致。(圖 2.3.22)

Scenario	<i>N</i>	RMSE (kWh)	MAE (kWh)	MAPE (%)	Theil coefficient
$t_a=0$	3536	0.882	0.628	11.727	0.077
$D^1_{=1}$	455	0.841	0.644	12.284	0.077
$D^1_{=0}$	369	1.761	1.405	15.538	0.107
All trips	4360	0.984	0.696	12.108	0.082

資料來源：Ji, J., Bie, Y., Zeng, Z., & Wang, L. (2022), "Trip energy consumption estimation for electric buses.", *Communications in Transportation Research*, 2, 100069.

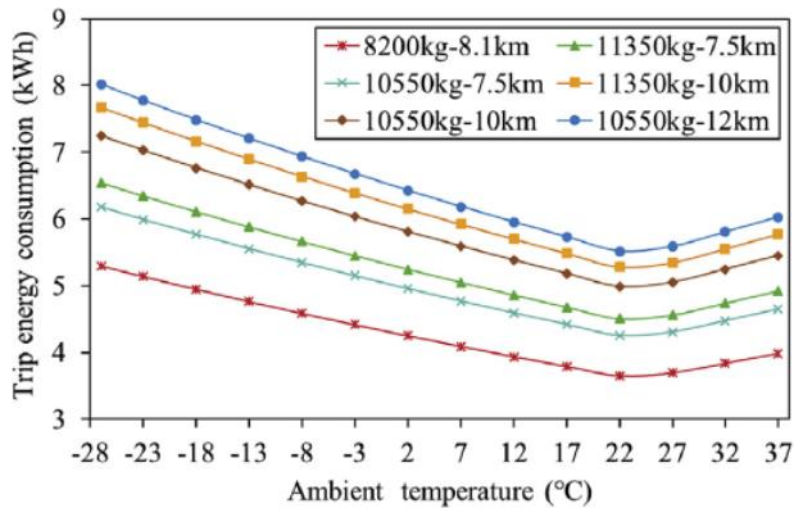
圖 2.3.22 指數迴歸方法於開/關空調時之分析精度比較

C.敏感度分析

本研究針對環境溫度、車輛行駛距離與時間、車重(包括車體重、載客量、電池重量)之變化，進行車輛能耗敏感度分析。

a.環境溫度

此部分車輛行駛時間皆固定(29 分鐘)，且空調皆關閉，考量梅河口市夏、冬季極大溫差，觀察在不同環境溫度下車輛能耗之變化。根據結果所示，當環境溫度在 23.7°C 時能耗表現最佳，另由於天氣冷時電池需要提升溫度以維持運作，故寒冷天氣時相較於炎熱天氣，對於能耗影響較大。(圖 2.3.23)

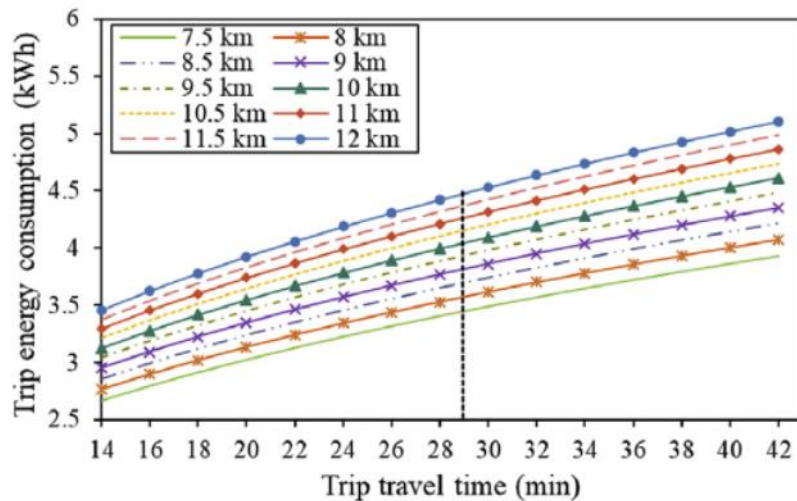


資料來源：Ji, J., Bie, Y., Zeng, Z., & Wang, L. (2022), "Trip energy consumption estimation for electric buses.", *Communications in Transportation Research*, 2, 100069.

圖 2.3.23 指數迴歸方法環境溫度對於車輛能耗之敏感度分析

b. 車輛行駛距離與時間

此部分車輛行駛時間、環境溫度皆固定(29 分鐘、23.7 °C)，且空調皆關閉，比較車輛能耗與行駛距離、時間之關係。根據結果所示，(1)車輛行駛距離越長、時間越長，對於車輛的能耗越大。(2)行駛同一距離時，隨時間增長，能耗的變化率會下降。(3)如比較不同行駛距離，各自的能耗變化差距則不明顯。(圖 2.3.24)

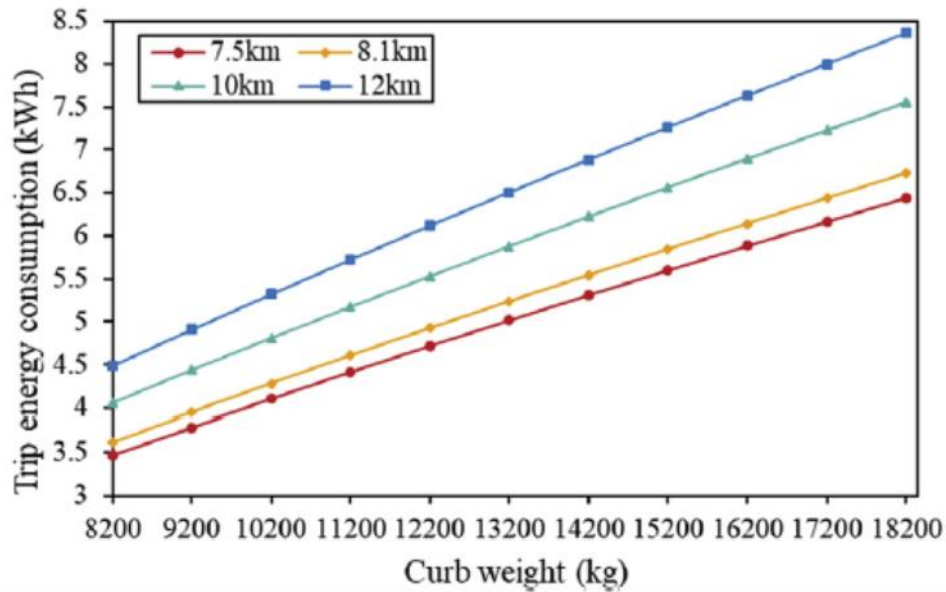


資料來源：Ji, J., Bie, Y., Zeng, Z., & Wang, L. (2022), “Trip energy consumption estimation for electric buses.”, Communications in Transportation Research, 2, 100069.

圖 2.3.24 指數迴歸方法行駛時間對於車輛能耗之敏感度分析

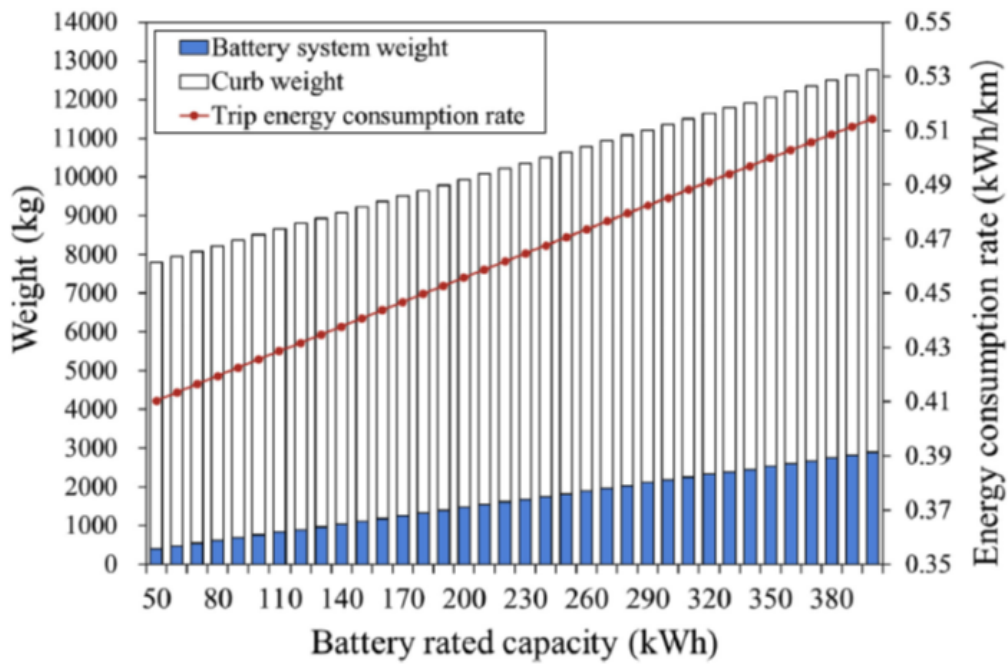
c.車體、電池重量

車體與電池重量部分，車輛行駛時間、環境溫度皆固定(29 分鐘、23.7°C)，且空調皆關閉，比較不同重量時，行駛不同距離下，車輛能耗之變化。根據結果所示，車體重量部分，隨著重量越重，車輛所需能耗亦隨之增加；電池重量部分，雖然大電池能為車輛提供較大電量，但由於重量負擔大，亦帶給車輛較大的能耗。(圖 2.3.25~圖 2.3.26)



資料來源：Ji, J., Bie, Y., Zeng, Z., & Wang, L. (2022), “Trip energy consumption estimation for electric buses.”, Communications in Transportation Research, 2, 100069.

圖 2.3.25 指數迴歸方法車體重對於車輛能耗之敏感度分析



資料來源：Ji, J., Bie, Y., Zeng, Z., & Wang, L. (2022), “Trip energy consumption estimation for electric buses.”, Communications in Transportation Research, 2, 100069.

圖 2.3.26 指數迴歸方法電池容量對於車輛能耗之敏感度分析

d.車輛載客量

由於原先模式未將載客量納入參數中，故此部分使用 RMSE、MAE、MAPE 等三項指標比較將載客量納入與否對於模式分析效能之差異。根據結果所示，未納入載客量參數時，三項指標數值分別為 0.336 kWh、0.258 kWh、6.706%，然而納入載客量參數後，三項指標皆分別降低為 0.236 kWh、0.183 kWh、4.960%，顯現納入載客量後能更精確分析能耗，為重要的影響因子。

2.實務應用

(1)AMPLY Power & BP

①企業目標：

AMPLY Power 為創立於美國的充電服務商，致力於開發電動車充電與能源管理系統，為卡車、公車、校車、貨車和輕型車輛車隊提供充電服務；BP 為位於英國之石油公司，為世界六大石油公司之一，近年則因應電動車發展，致力於推動充電站普及化，並計畫於 2030 年底前在全球各地打造逾 7 萬座公共充電站。BP 為擴大電動車充電業務，於 2021 年收購 AMPLY Power，並更名為 BP Pulse，期望借重 AMPLY Power 的專業，提供更加完善的車輛充電服務。

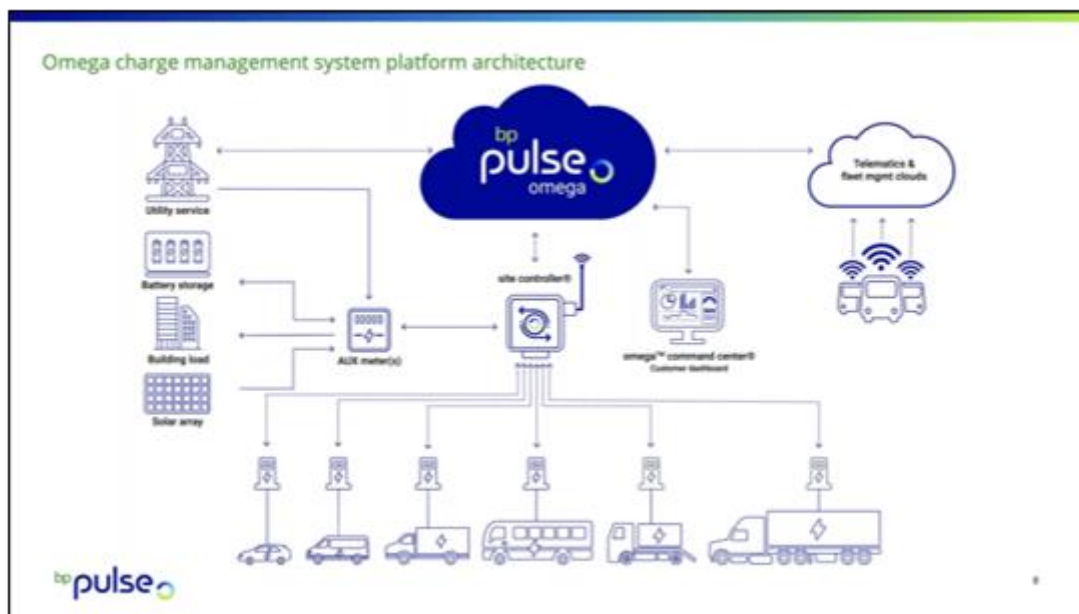
BP Pulse 引入於 AMPLY Power 時期就已開發的 Charging-as-a-Service 模式(以下簡稱 CaaS 模式)與 OMEGA 智慧充電管理軟體。透過 CaaS 模式之演算，提供車隊營運商充電基礎設施的全方位解決方案，一次把關充電站之部署、營運、維護。透過 OMEGA 軟體，讓使用者可藉由其提供的平台隨時監控車與充電端之能源使用情形，並藉以提升電動大客車或其他車種車隊之能源管理效率。(圖 2.3.27)

②分析方法與資料蒐集：

BP Pulse 藉由 CaaS 模式，蒐集車隊資訊(車數、車種)、充電站資訊(位置、契約容量、充電樁規格與數量)、時間電價、即時資訊(車輛到站 SOC、充電樁運行狀態)等，應用機器學習建立模式並結合 Amazon AWS 雲端服務，於 OMEGA 軟體為車隊營運商計算出最佳充電排程計劃。提供車隊營運商充電排程建議，幫助管理充電成本，並確保車輛隨時有電可充。

OMEGA 軟體除了可提出充電排程之建議與管理充電成本，亦可根據充電電力來源(火力發電、太陽能...)與充電量，分析場站之即時碳排放量，並可提供場站充電報告。此外，系統亦可隨時監控充電樁狀態是否異常與找出異常原因，以提醒車隊營運商需為充電樁安排維護。OMEGA 軟體提供之功能如下：

- A. 充電站管理：於平台上顯示充電樁使用狀態，並可以區塊、表格、地圖等方式呈現。
- B. 調度站管理：系統根據尖離峰用電成本建議用戶安排車輛充電時段。
- C. 車輛充電功率調整：系統可根據時間電價、契約容量、各車輛 SOC，自動調整場站內各充電樁之充電功率，以避免超出負載並節省用電成本。
- D. 通知：當充電樁故障或運作異常時，系統可即時提醒用戶需注意其狀況，並顯示異常原因。
- E. 成本計算：平台會顯示經系統管理前後所需用電成本。
- F. 報告：根據電量使用、充電、車輛使用等情形，提供綜合報告，並可下載報告之 csv 檔。
- G. 使用介面：平台具備儀表板、充電站地圖、車隊狀態、充電樁狀態、充電數據報告、充電成本分析等功能選單。亦提供電腦、手機版監控介面，以隨時追蹤使用情形。



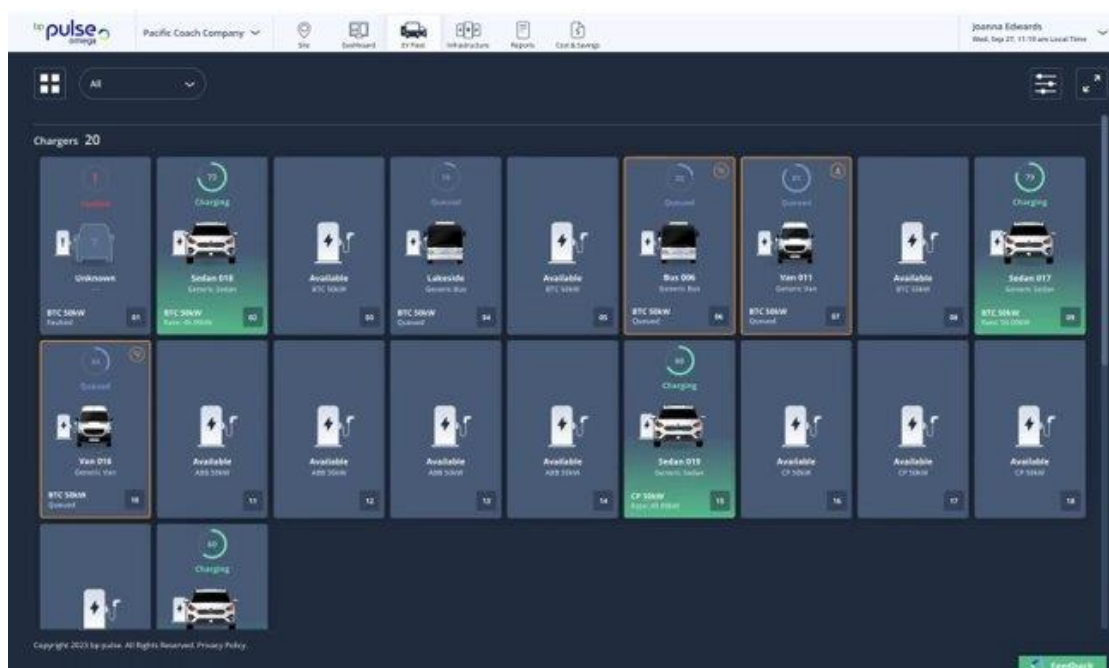
資料來源：本計畫整理自 BP Pulse Website，<https://bppulsefleet.com/blog/four-benefits-of-managed-charging/>。

圖 2.3.27 bp Pulse 智慧充電管理架構

③企業營運成果：

BP Pulse 結合 CaaS 模式與 OMEGA 軟體，提供監控平台並配有儀表板，隨時記錄充電場站與車輛之營運與用電狀況，使車隊營運商得以即時掌握。系統可依契約容量與車輛回站時之 SOC，自動分配充電量，解決車輛用電問題。亦可監控充電樁運作情形，並設有異常警示機制，解決目前大部分客運業者須隨時於半夜提心吊膽注意可能無法充電之情形。(圖 2.3.28)

BP Pulse 之智慧充電系統可提供車隊更高的充電彈性及 99.9%的可靠性，目前在國外已知被美國安納罕大眾運輸網路(Anaheim Transportation Network)、東部康特拉科斯塔交通管理局(Tri Delta Transit)等客運業者使用，BP 公司為上述兩家客運業者實行從最初協助安裝充電設備到後續投入軟體管理充電等一體式服務，幫助節省營運成本的同時亦確保充電設備正常運作。其他亦有計程車車隊、大貨車車隊、物流車隊使用此系統。



資料來源：本計畫整理自 BP Pulse Website，<https://bppulsefleet.com/blog/four-benefits-of-managed-charging/>。

圖 2.3.28 bp Pulse 智慧充電管理軟體(OMEGA)示意圖

(2)TWAICE

①企業目標：

德國 TWAICE 是一間電池分析軟體的供應商，為處理每天增長數十億筆之大量資料，在人工智慧的支援下，將電池和領域專業知識融入數位解決方案中，並將其放在雲端，讓能源及行動領域的使用者相互連接並共同加速了解電池能耗與健康狀態的資訊，幫助電動車車隊消除使用電池時產生之風險並創造高效能使用的機會，使用 TWAICE 所開發系統的車隊在節省時間及成本的同時提高電池效能、安全性及使用壽命，從而優化車隊營運管理。TWAICE 將深厚的電池知識及人工智慧獨特地結合在可擴展的分析平台上，在電池生命週期的每個步驟於監控畫面上呈現可操作的見解。除了支援 TWAICE 產品外，該分析平台是客戶及合作夥伴解決方案的交流平台。

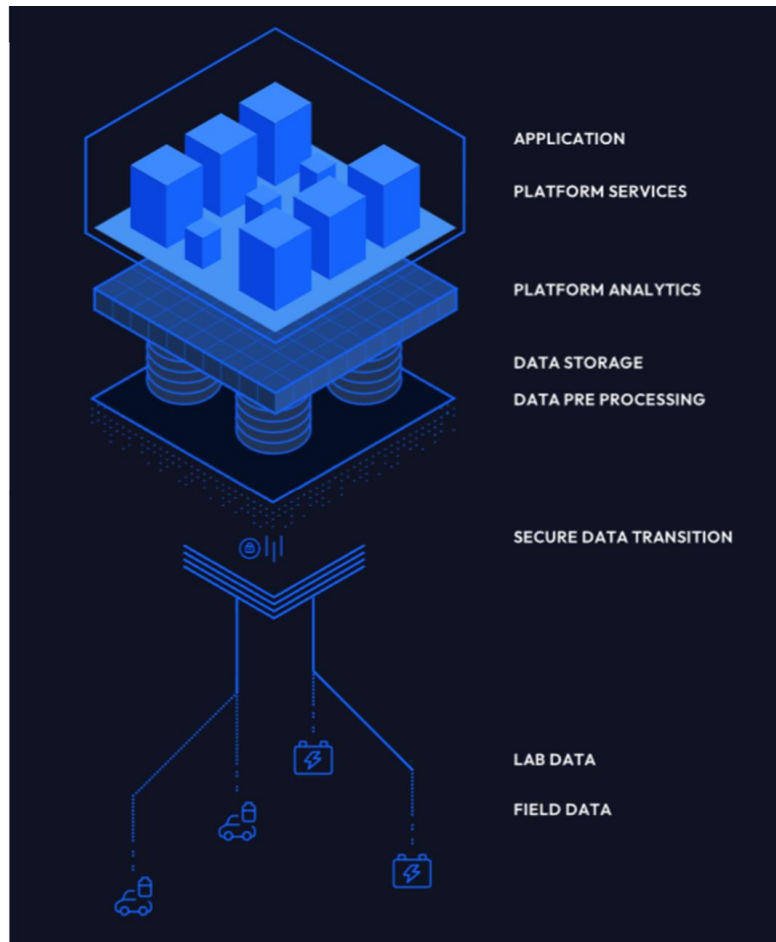
②分析方法與資料蒐集：

透過資料整合存取於分析平台，滿足電池管理系統(BMS)、電能管理系統(EMS)、資料採集與監視系統(SCADA)及系統資料的要求，且從汽車電池和電池儲能系統(BESS)蒐集相關數據並即時上傳 TWAICE 雲端，同時 TWAICE 電池研究中心也蒐集了電池相關數據，提升龐大數據儲存的價值。

TWAICE 電池分析平台融合了深厚的電池知識、人工智慧(AI)、可擴展的雲端軟體 AWS 及實際電池使用數據，透過訓練機器學習模型、人工智慧技術、多種分析、實務經驗、根據數據的演算法及模型深入了解電池的當前狀態，改進對電池壽命的預測，演算法及模型在高效能資料處理引擎上運行，滿足每個案例的需求並獲得最準確的結果，制定具體的優化措施，將電池的總體使用壽命延長多達 20%。

TWAICE 平台分析層針對以下項目進行分析與結果分析探討(圖 2.3.29)：

- A.電池充電狀態測定(SOC)
- B.電池容量測定
- C.電阻及阻抗測定
- D.電熱建模(Electro Thermal Modeling)
- E.半經驗老化模型(Semi-empirical Ageing Modeling)
- F.機器學習老化建模
- G.混合建模
- H.演算法執行、機器學習及元資料引擎(Metadata)
- I.異常檢測
- J.熱失控預防檢測
- K.老化效應評估

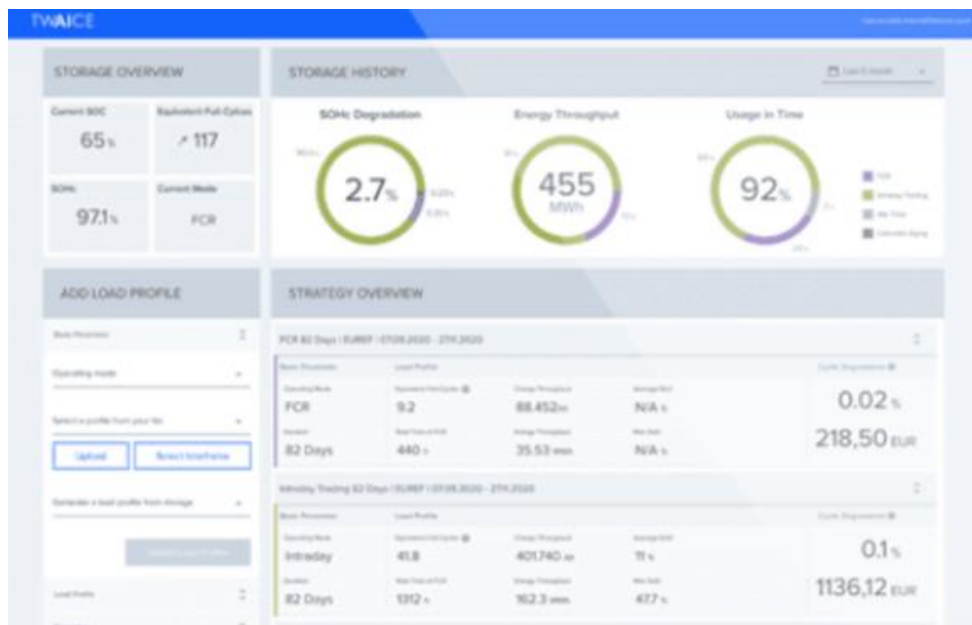


資料來源：本計畫整理自 TWAICE Website，
<https://www.twaice.com/products/platform>。

圖 2.3.29 TWAICE 電池分析平臺架構圖

③企業營運成果：

透過 TWAICE 的預測分析軟體，車隊管理人員可以獲得所需的透明度，不再需要猜測，使他們能夠深入了解電池的健康狀態和剩餘壽命，並且能夠制定具體的優化措施，並提供使用儀表板來監控車輛或能源儲存系統中的電池狀況和效能。這將有助於提高電池的使用壽命、降低維護成本，並確保車隊的營運效率。(圖 2.3.30)



資料來源：本計畫整理自 TWAICE Website，
<https://www.twaice.com/products/platform>。

圖 2.3.30 TWAICE 電池監控軟體示意圖

(3) Silver Power Systems

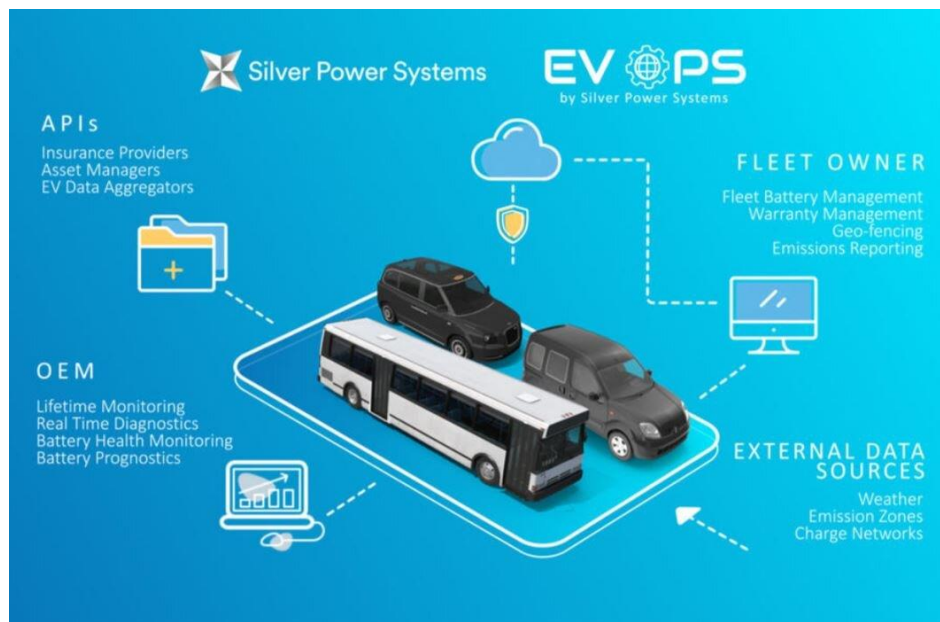
①企業目標：

Silver Power Systems 是英國一間電池分析公司，利用電池資料及車輛遠端資料進行分析，並根據分析結果藉由自主開發平台並以使用者儀表板之呈現方式，提供電動車使用者或電動車車隊管理者可行的車隊安排方案與電池管理上之應用。

利用自主研發的能源管理平台 EV-OPS 將車載記錄、通訊資料、雲端資料、複雜環境參數分析及相關蒐集數據以視覺化方式呈現給使用者，並提供即時車輛資訊、電池使用生命週期及電池即時監控，讓使用者能夠優化其電動車及電池之使用。

②分析方法與資料蒐集：

透過車機不斷將資料上傳至能源管理平台 EV-OPS，提供訓練機器學習所必要的大數據，平台詳細記錄車輛營運的所有資料，資料紀錄包含車輛旅程歷史、旅行距離、行駛速率、車輛休息時間、行程消耗之 SOC、充電位置、電池的充放電事件、電池溫度變化、相關環境條件及位置。(圖 2.3.31)



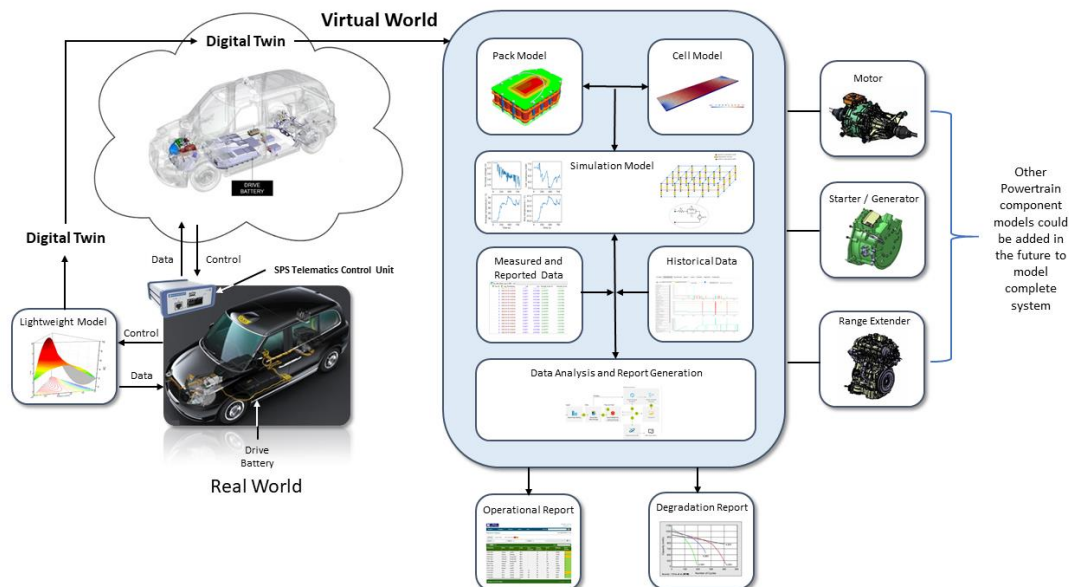
資料來源：本計畫整理自 Silver Power Systems Website，
<https://www.silverpowersystems.com/>。

圖 2.3.31 EV-OPS 平台資料蒐集與上傳示意圖

能源管理平台 EV-OPS 透過研究電池的化學成分，並針對上述蒐集資料建立出不同電池能耗模型，再利用模型與車輛實際營運狀況做比對，根據車輛溫度變化、充電次數等數據推測每一台車的電池壽命與其營運效能。

Silver Power Systems 亦進一步加強針對記錄資料中的電池未來效能及退化預測，與倫敦帝國學院合作，開發即時電池數位孿生功能並將其嵌入到 EV-OPS 平台中，模擬每個電池單元的電化學行為，並結合三維熱解算器模擬每個電池單元的熱行為，代表實體包的電氣和熱連接將形成模組級模型，並採用直接數值模擬來模擬冷卻系統，此模型的多物理性質將透過耦合電化學、傳熱和流體流動現象來確保真實的場景，同時保留電池等級和模組層級在電流、充電狀態、溫度以及退化方面的區域差異。(圖 2.3.32)

由於 EV-OPS 平台已部署各種車輛，Silver Power Systems 首先將現有企業使用者試用此新電池預測方式：LEVC 應用於其出租車及新貨車、JSC Automotive 應用於新乘用車針對測試結果提供給未來潛在使用者作參考。

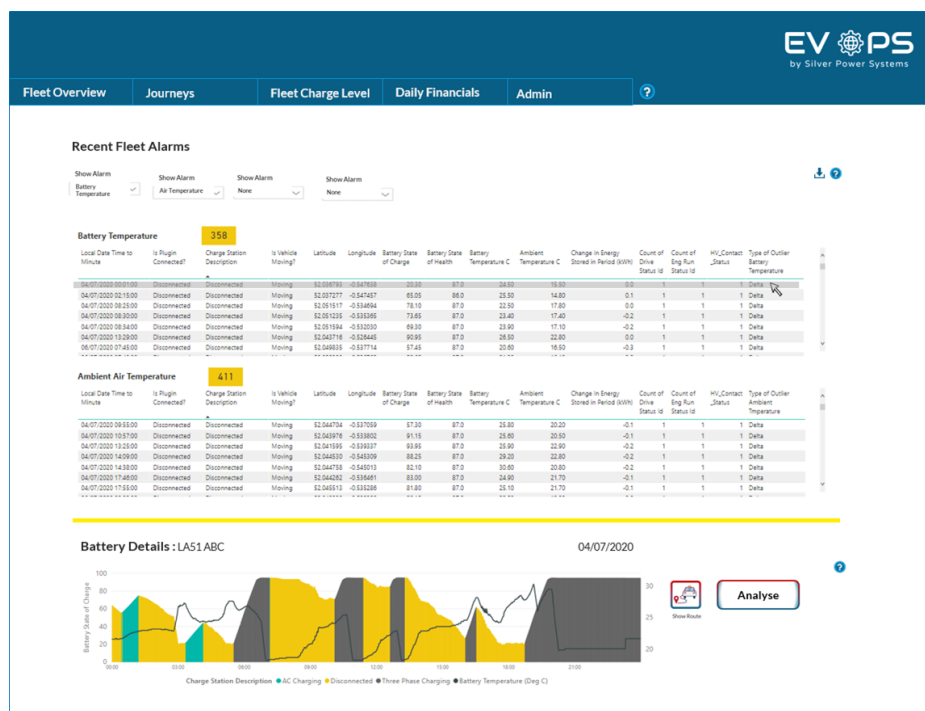


資料來源：本計畫整理自 Silver Power Systems Website，
<https://www.silverpowersystems.com/>。

圖 2.3.32 即時電池數位孿生功能架構圖

③企業營運成果：

平台利用電腦或手機使用者儀表板介面觀察電池健康狀況及即時電池 SOC，對於電動車車主能即時了解電池使用效能、電池退化情形及車輛運行效能；對於車隊業者部份針對計程車車隊、客運業者等集團式車隊營運特別有效，能夠提早準備更換電池避免突發意外，還能根據電池健康狀況，精準預測車輛的剩餘 SOC 有效提高車隊營運效率，同時也降低了電池損壞所帶來的火災風險，對電動汽車製造商而言，透過監控功能可更加了解其車輛電池應用上之效能。(圖 2.3.33)



資料來源：本計畫整理自 Silver Power Systems Website，
<https://www.silverpowersystems.com/>。

圖 2.3.33 EV-OPS 平台電池與車輛監控畫面

(4) 宇通客車

① 企業目標：

宇通客車位於中國大陸，是一家集電動大客車之產品研發、製造與銷售為一體的大型企業，其生產之電動大客車全球占有率近 13%，乃為國際主流供應商之一。宇通近年來除了車輛銷售，亦致力於管理平台之研發，其研發之「睿控 E 平台」為專為電動大客車車隊打造之營運數據管理平台，用以管理車隊。

② 分析方法與資料蒐集：

睿控 E 平台結合 Amazon AWS 雲端服務，藉由應用 AI 技術分析自宇通自家車款車載機傳輸之資料，為車隊監控與分析營運數據，以達成智慧化管理，並解決車輛續航力與作業效率不及燃油車、營運穩定性差、管理不易等痛點，該平台具有以下 7 大功能(圖 2.3.34)：

- A. 主動巡檢管理：系統可分析車輛之營運數據，並根據相關 KPI 自動產生報告。
- B. 峰谷充電費用管理：系統根據時間電價、充電量，為車輛錯開用電尖峰時間充電。
- C. 自適應能量管理：系統可自我適應駕駛行為，以調節車輛能耗。
- D. 危險駕駛行為管理：系統可分析駕駛行為判別是否為危險駕駛，以做示警。
- E. 按需維護提醒：系統可遠端監控車輛零件之損耗情況，以預警駕駛是否需維修。
- F. 動力電池安全預警：系統可遠端監控車輛電池之使用情況，以預警駕駛用電安全，避免意外發生。
- G. 零事故安全管理：具備 8 大安全防護，使事故發生率下降 95.7%。

③企業營運成果：

睿控 E 平台可自行分析車輛數據，亦可隨時監控車輛內、外部，與電池的使用狀態，並可讓使用者即時追蹤。其系統結合 AI 技術演算，亦可提升運算效率，並降低人工操作時間。



資料來源：本計畫整理自宇通客車—睿控 e 平台，
<https://www.yutong.com/technology/rk/>。

圖 2.3.34 宇通客車「睿控 e 平台」具備功能

(5)交通部 TDX 數位治理服務

①推動目標：

交通部於 110 年啟動「運輸資料流通服務(TDX)創新服務驗證計畫-提升資料治理導向之智慧政府運作效能」，針對地方交通改善需求選出 4 項治理主題：公共運輸、友善停車、道路安全、智慧觀光，藉由開發治理應用 API 和 TDX 數位治理基礎公版圖臺，並透過月報導讀及諮詢之方式，協助地方縣市政府強化數據治理能力，優化治理決策，改善地方交通現況。

②服務架構規劃：

近年資料服務底層架構逐漸往雲端化的方向前進，越來越多網頁平臺與應用服務架設逐漸轉移至雲端，雲端服務提供廠商亦推出更多符合各類型使用情境的應用服務，因此該計畫使用雲端進行服務架設並提供服務，根據各大雲端服務特性與服務內容，最後選定 Azure 進行上雲試做。

③雲端服務成果：

架設於雲端之治理 API 服務與治理示範平臺架構，將地端治理 API 服務與治理示範平臺移植至雲端。治理應用服務整體架構如圖 2.3.35 所示，包含治理資料庫、資料管理平臺、治理 API 發布與治理示範平臺等功能。

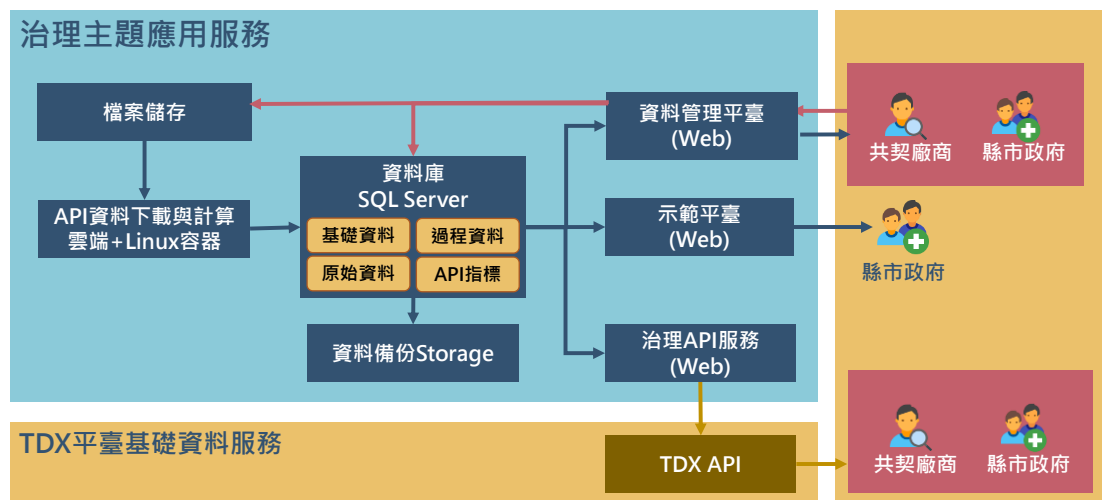


圖 2.3.35 TDX 治理應用服務整體架構

為提高平台穩定度，將平台佈署至雲端，佈署架構如圖 2.3.36，平台網站使用 Azure APP Service，資料庫使用 Azure SQL MI，資料介接與運算則使用 Azure Kubernetes Service (AKS) 設置容器進行運算。惟平台目前仍在架設之中，最終架構將根據需求、效率、成本等各項因素進行滾動檢討。

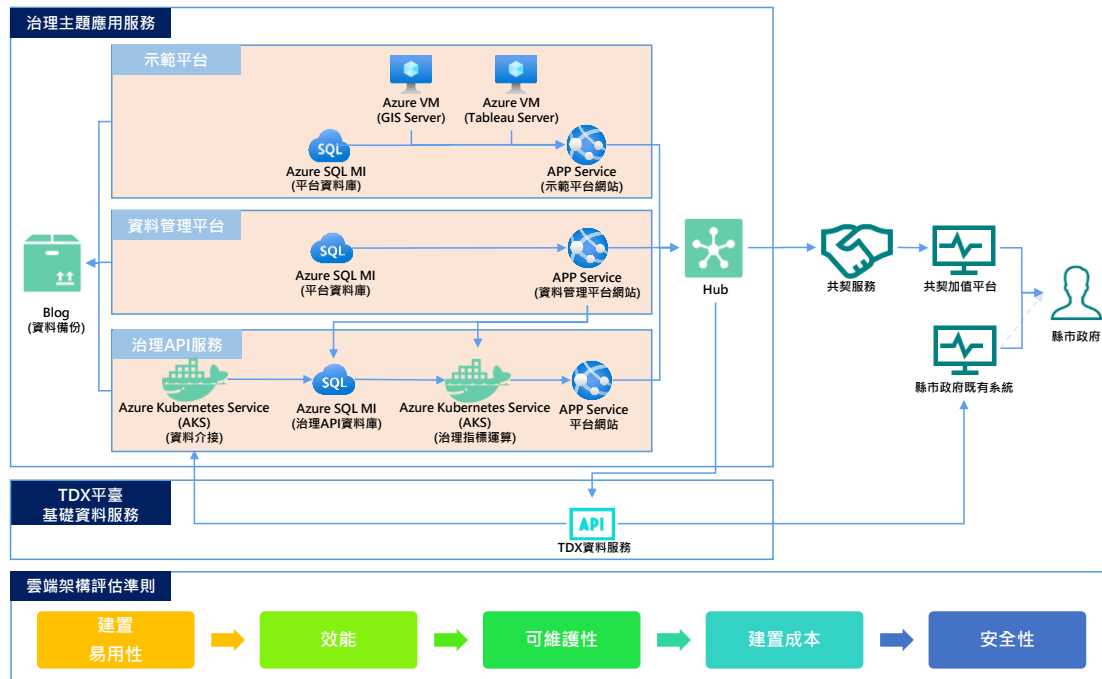


圖 2.3.36 TDX 治理平臺雲端架構圖

雲端建置流程與交付文件如圖 2.3.37 所示，在雲端環境開始租賃並建置完成後，須建立共用資料庫，並一次將各平臺建置與設置，此外網路與防火牆亦須根據架構與資安進行調整與設置，最後則是將治理 API 發布平臺與 TDX 進行串接整合。交付文件可依服務類型，提供容器、程式碼、資料庫檔案、網路設定文件等資料。

由於 TDX 治理平台，需進行大量資料運算與存取，因此硬碟效能影響平台效率較大，因此須注意使用之資料庫服務建議以 SSD 服務優先以提高存取與運算效能，此外雲端 PaaS 服務與地端軟硬體架構仍有所不同，因此須就各 PaaS 特性進行調整，若使用 VM 則與地端差異較少，移植門檻較低。另雲端有彈性

與較高之穩定性，但長期租賃費用可能較地端為高，因此須就平台服務特性需求設定適合之方案與服務。

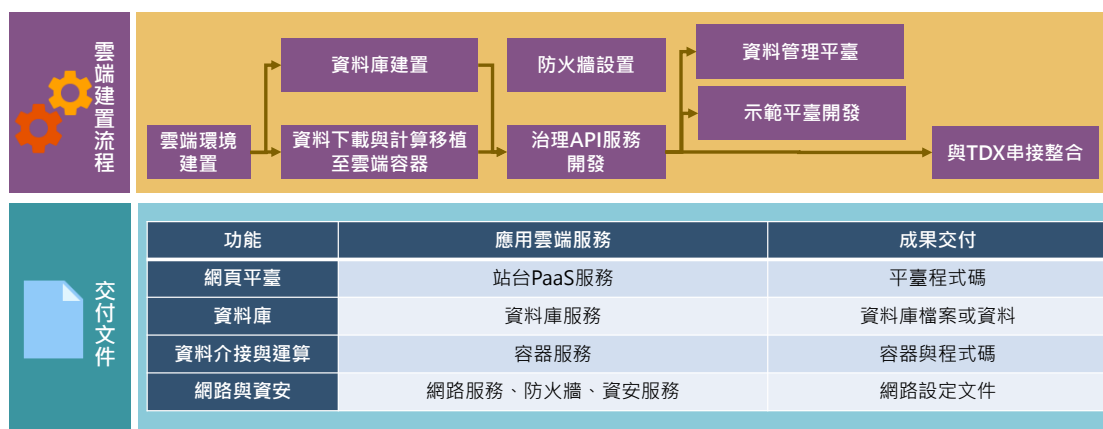


圖 2.3.37 雲端建置流程與交付文件

2.4 小結

運研所過去推動電動大客車的相關研究計畫，並建置電動大客車營運數據監控管理平臺，從中建立車輛用電效率、續航力、充電效率等營運關鍵指標，藉以管理車隊營運狀況，本計畫後續會針對這些指標應用於驅動模式，找出真正地關鍵影響因子。

本計畫蒐集國內外的營運數據應用分析案例，參考過去的實務經驗。藉由從車載機或外部交通管理平台資料中，蒐集車輛與電池系統之靜、動態資料加以分析，再將即時分析結果顯示於各自的管理平台，讓用戶可隨時掌握。

其中大部分案例運用於車隊營運管理，追蹤車輛動態並分析即時資訊，例如國內華德動能藉由車機端傳輸資料，可即時掌握車輛營運狀態，蒐集相關數據做後續分析，並可優化車輛調度；總盈汽車綜合車機端與充電樁端資料，將所蒐集數據分為營運面、車輛面、場站面加以分析與管理。國外 Proterra 透過雲端蒐集車機端記錄的車輛即時數據，除了將數據加以分析外，亦提供車輛異常警示功能；Volvo 藉由車機端蒐集車輛動態與分析駕駛行為，並提供駕車與後續保養建議。

此外，亦有運用於車輛電池管理之實際案例，例如國內凱勝綠能透過車載機蒐集資料，並針對充電狀態做數據分析，並透過儀錶板呈現車輛電

池狀態與充電站運行狀態；國外 Mercedes-Benz 透過車機系統所蒐集的即時車輛與電池狀態，進行充電排程。

表 2.4-1 國內營運數據分析應用案例彙整

系統分類	案例	資料來源	案例說明
車輛營運管理系統	華德動能—智慧車輛管理系統	車載機	藉由車隊即時監控狀況、影像即時傳輸，以大數據解決方案提供行車數據分析、影像監控、車輛設備狀況掌握、車輛調度優化及最佳化行駛路線規劃等智慧應用。
	總盈汽車—快充式電動公車關鍵技術開發計畫	車載機	- 將行車紀錄器回傳資料透過其智慧公車管理平臺進行數據監控、分析及呈現。 - 其平臺架構主要分為營運管理、行車管理及場站管理等三大功能。
	創奕能源—雲端車管系統	車載機	- 可遠程監控車輛狀況，並可根據歷史資料提早進行排程修復，提升產品之妥善率。 - 其 BMS 電池管理系統可進行車輛電池即時監控，讓電池發揮最佳效能。
	成運汽車—成運汽車管理雲系統	車載機	監控車輛狀況並針對電動大客車營運指標進行大數據分析，同時可追蹤巴士排班狀況及車輛零件維護資訊。
	電動大客車營運數據監控管理平臺	車載機	- 建立關鍵指標，作為分期檢核與營運補助的參據，並於平臺內以視覺化設計呈現。 - 針對開放與動靜態資料，建立資料傳輸機制，藉以掌握電動大客車車輛營運狀態。 - 建立導入指南，協助客運業者透過導入指南查閱導入電動大客車的相關資訊。
電池管理系統	凱勝綠能—能海電能營運管理系統	車載機	於後台針對充電相關資料進行數據分析，並透過視覺化儀表板呈現包含儲能站狀態、電能轉換運行、電池運行狀態等資訊。
	唐榮車輛—BMS 電池管理系統	車載機	其中內容包含：車輛電池及充電裝置即時監控、互動式智慧儀表板、即時車輛分析、異常排除。

資料來源：本計畫整理。

表 2.4-2 國外營運數據分析應用案例彙整

系統分類	案例	資料來源	案例說明
車輛營運管理系統	Proterra— Proterra® APEX™	車載機	•以 AWS(Amazon Web Service)雲端資料為基礎之智慧連網車輛系統。 •其功能包含：車輛即時軌跡查詢、車輛監控與紀錄、電池狀況監控與紀錄、充電狀況監控與紀錄、車輛異常警示、行動介面、其他資料蒐集。
	Volvo— I- COACHING 車隊管理系統	車載機	•即時追蹤多項動態參數、技術事件與地理位置。 •其功能包含：追蹤駕駛行為參數、追蹤與管理車輛行為參數、提供即時駕駛建議、保養排程建議。
	Trapeze Group— LIO-Volta	車載機、 外部跨域 資料平台	•預測電動巴士的行駛時間和行駛里程，優化電動巴士的營運管理，以避免在行駛途中耗盡電力。
	Chariot Motors— Gemamex、 Abrites	車載機、 外部跨域 資料平台	•應用 Gemamex 系統做充電場站監測管理。 •應用 Abrites 做車況監測管理。
	AC Transit & Stanford University— AC Transit 車隊之碳排 與營運效率 研究	車載機、 外部跨域 資料平台	•建立各營運數據檢測標準之 KPI •針對不同燃料別的大客車，分析各營運 KPI，以檢視效率與碳排放量。
車輛營運管理系統 & 電池管理系統	Mercedes- Benz— 車輛管理平台	車載機	•透過車上 Onboard 系統即時回傳車輛位置、電池電量、剩餘電量、行駛里程、時速等車輛資訊於後端。 •透過傳輸資料進行電池管理與智慧充電排程。

資料來源：本計畫整理。

本計畫亦彙整 Amazon AWS、Microsoft Azure 與 Google cloud Platform (GCP)雲端服務，針對服務區域、市占率，並進行雲端服務優勢、劣勢、計算功能與儲存服務比較，除其他功能模組外，針對本計畫所需雲端服務 BI、ML 與 AI 服務支援進行進一步瞭解差異性，亦回顧資訊與計畫規劃執行方向，作為後續執行上雲端方案選用參考。

透過回顧現行常用交通巨量數據分析方法，包含決策樹、隨機森林、類神經網路、深度學習與 XGBoost 模型邏輯回顧，了解各分析方法特性同時，彙整機器學習方法與人工智慧方法於案例上回顧比較，於關鍵指標建立依照輸入與輸出資料特性，協助進行模型選用。本計畫依據以上分析方法，蒐集將方法應用於分析電動大客車電池壽命、車輛能耗等研究議題共 4 篇文獻。另由於須將方法應用於實務，故本計畫亦彙整包括 AMPLY Power & BP、TWAICE、Silver Power Systems、宇通客車等，將方法應用於分析車隊智慧充電排程、電池壽命、電池安全等範疇共 4 個實際案例。

表 2.4-3 電動大客車交通數據分析標竿案例彙整

案例	使用範疇	分析方法	說明
學術研究	Wang et al.	電池壽命預測	深度學習及類神經網路
	Zhang et al.	電池壽命預測	機器學習
	Li et al.	預估電動大客車能耗	隨機森林
	Ji et al.	預估電動大客車能耗	多變數非線性迴歸模型

資料來源：本計畫整理。

表 2.4-3 電動大客車交通數據分析標竿案例彙整（續 1）

案例		使用範疇	分析方法	管理措施
實務應用	AMPLY Power & BP	智慧充電管理軟體	機器學習	• 應用機器學習分析多項資訊，並透過平台提供用戶充電場站即時資訊，與提出車隊最佳充電排程時段。
	TWAICE	電池壽命預測	機器學習模型與人工智慧	• 應用人工智慧、機器學習模式，深入解析電池當前狀態，以獲得準確結果。
	Silver Power Systems	電池健康狀況分析及壽命預測	機器學習與數位孿生	• 應用機器學習與數位孿生方法並透過能源管理平台將電池資料、車輛遠端資料及複雜環境參數納入分析，提供即時車輛資訊、電池使用生命週期及電池即時監控
	宇通客車	車隊營運數據管理平台	人工智慧	• 應用人工智慧並透過平台管理車輛營運、駕駛行為、充電成本與監控電池安全

綜上，本計畫彙整文獻後得出以下論點：

- 1.營運數據管理案例部分，主要借鏡過去各國內外案例之經驗，與系統所需資料。其蒐集之資料包括車輛資料、充電設施資料、行車紀錄資料(駕駛行為)等，並透過專用平台為用戶呈現車輛與充電設施之使用狀態。針對蒐集項目的部分，會檢視是否仍有不足之處，再加以納入。然而，大部分案例僅說明系統功能，較無說明其分析數據之方法，且無說明影響之關鍵指標。
- 2.交通巨量數據分析部分，主要借鏡國內外學術研究報告之分析項目及方法，與國內外實務案例之應用方式。然而4篇學術研究報告，其中3篇機器學習或深度學習應用之文獻中，雖然有使用 MAPE、RMSE 等指標比較各方法之分析精度，但各指標標準不一，且情境不同時可能會影響比較結果，較難判斷哪一模式較佳；另1篇為非線性迴歸分析，雖有說明能彌補機器學習無法考量資料隨機性之缺點，但該文獻沒將其模式與機器學習做比較，較難證明其論點。4個實際案例中，雖有強調其應用巨量分析方法之成果，但無詳細說明其分析方式。

本計畫評估模式可行性及探討相關文獻內容後，初步會先使用機器學習的隨機森林、XGBoost，與深度學習的 h2O 等方法，朝車輛用電效率與電池壽命等範疇進行分析，並用 MAPE 指標挑選哪一分析方法適合分析用電效率與預測電池壽命精度之研究。

第三章 電動大客車營運數據監控管理平臺之 數據分析與關鍵指標建立

3.1 電動大客車營運管理精進示範對象研擬

本計畫主要目的為將電動大客車動靜態數據建立之關鍵指標與分析應用成果，結合合適之運輸場站或業者建立示範案例，協助推動數據導向之營運管理或排班調度做法。對應此目的，本計畫依電動大客車營運數據監控管理平臺蒐集之客運業者與路線，做為分析合作對象搜尋之基礎，進一步對應評估考量條件，研擬 112 年研究成果後續應用案例合作示範對象。

電動大客車營運數據監控管理平臺自 110 年開始陸續蒐集電動大客車營運數據，截至 112 年 11 月已累積 21 家客運業者、814 輛電動大客車(單一路線 679 輛、混合調度 135 輛)通過傳輸檢核。為讓電動大客車營運管理精進方向與作為推展順暢且成果具備參考價值，建議車輛數、營運數據資料蒐集量及車型須達到一定數量規模，以利於分析結果可對比，故本計畫研擬示範對象挑選基本要件說明如下：

- 1.車輛數：單一路線營運或混合路線營運之車輛數大於 20 輛。
- 2.營運數據資料蒐集量：電動大客車營運上線時間大於 3 個月。
- 3.車型：相同車型有 3 條(含)以上不同路線使用。

經評估，共有 11 家客運業者、15 條路線符合評估準則，計有 6 種車型，如圖 3.1.1。在滿足基本要件之情況下，亦針對下列項目確認挑選對象之情況：

- 1.電動大客車的車輛妥善率：

電動大客車車輛的妥善率可能影響測試結果，故本計畫運用電動大客車車載機資料及電動大客車充電設施運作資料、電動大客車保修資料等，檢核各家客運業者所使用的電動大客車車輛之營運妥善率情形。

2. 平臺數據資料傳輸的完整度與正確度：

平臺目前蒐集的電動大客車營運數據包含電動大客車車載機資料、電動大客車充電設施運作資料、電動大客車充電設施基礎資料、電動大客車營運基礎資料、電動大客車車輛資料、及電動大客車保修資料，若營運數據有缺漏及內容錯誤，將可能影響測試結果，故本計畫檢視各家客運業者資料提供的完整度與內容正確度，以確保達到足夠的可分析班次數。

3. 對應路線及充電特性代表性：

合作對象除達到分析路線基本車輛數外，對應行駛路線特性與充電特性能夠多元且具有代表性，對於數據分析應用之議題探討較能夠產生指標意義。

4. 客運業者的參與意願與配合度：

針對上述條件初步篩選後之業者，本計畫藉由拜訪交流，掌握客運業者對於參與電動大客車數據導向營運管理之合作意願，做為示範對象挑選之一項參據。

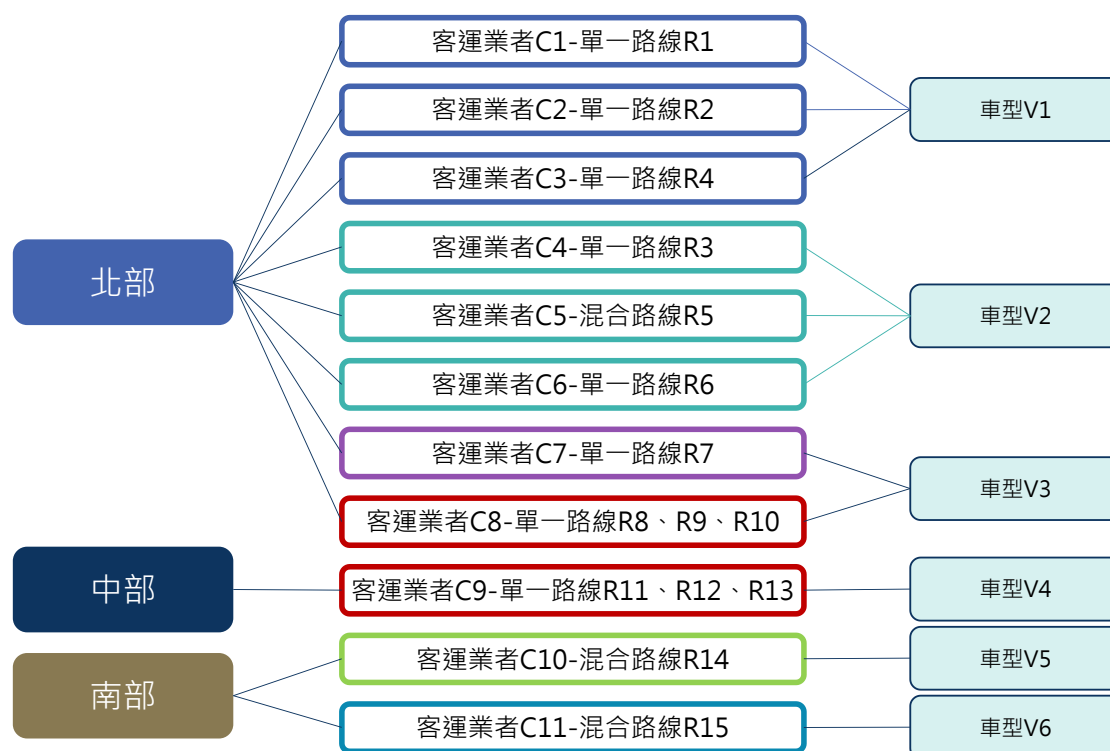


圖 3.1.1 電動大客車營運管理精進示範對象替選清單

綜合考量上述條件，本計畫評估建議下一年度可優先以首都集團與中興集團之路線或場域做為合作示範對象，並於計畫執行期間進行洽談，已取得兩家業者認同，後續可結合電動大客車數據分析成果，建立數據導向之管理應用案例。

1.首都集團

- (1)車隊總規模為目前最高(至 112 年底達 500 餘輛)，單一路線導入車輛規模達 20 輛以上之可選擇路線多，且有多條示範計畫路線。
- (2)電動大客車使用經驗豐富，投入使用車款數量最多元，至 112 年底已累積採購 6 家車廠車款，可整合提供不同車輛行駛路線營運資訊。
- (3)平臺資料傳輸完整度尚可，屬於雙北通勤路線，營運班次數多且密集，剔除不完整資料後可分析班次數多。
- (4)可做為分析標的之服務路線多元，同時包括公車專用道型、市區型與市郊通勤型。
- (5)洽談合作意願高，可提供完整資料供分析掌握，對於後續應用面向積極回饋意見。
- (6)執行限制性：受限於過去導入車隊類型充電規格仍以 GB/T 為主，尚難連結運研所場站智慧充電計畫建立自動化管理方式；但於 111 年以後申請之示範計畫路線陸續籌備上線後，導入車對之充電規格會提供 CCS1。

2.中興集團

- (1)車隊總規模達 200 餘輛，北士科站(單一場站)調度車隊規模達 60 餘輛，單一路線導入車輛規模達 20 輛以上之可選擇路線多。
- (2)平臺資料傳輸完整度佳，單一路線營運班次數足夠分析，且北士科站服務路線數多，增加場站車隊充電調度價值。
- (3)可做為分析標的之服務路線多元，包括市區型與市郊通勤型。
- (4)採用車款為 CCS1 充電規格，於運研所計畫已示範導入全時段、全自動智慧充電管理服務。
- (5)洽談合作意願高，且現況已與運研所場站智慧充電計畫合作，可結合車輛端與充電端數據化管理，達到加值效益。

3.2 客運業者課題掌握與專家學者訪談交流

於運研所前期計畫平臺資料檢核過程與業者之交流回饋經驗，已初步蒐集與累積客運業者導入電動大客車之營運經驗，其中有關車輛營運調度有關議題，彙整說明如下，做為本計畫後續分析掌握背景基礎。

1. 平臺蒐集資料之路線為 109 年以後申請上路的電動大客車輛，因車輛多屬於新車(以平臺蒐集到資料最長時間未滿 3 年)，用電效率雖因應不同狀況而有增減，但整體平均值大致落在 0.8~1.1km/kwh。
2. 客運業者反映為考量乘客服務需求，無論冬夏季多數狀態均開啟空調(僅調整溫度高低)，故冬季用電效率回升程度較預期低。另由平臺蒐集的資料觀察，全路線電動車營運之冬夏季平均用電效率落差約在 0.2km/kwh，其中以電動車與柴油車混合調度提供路線運行服務之車輛，因路線間特性差異大，故用電效率差異大。

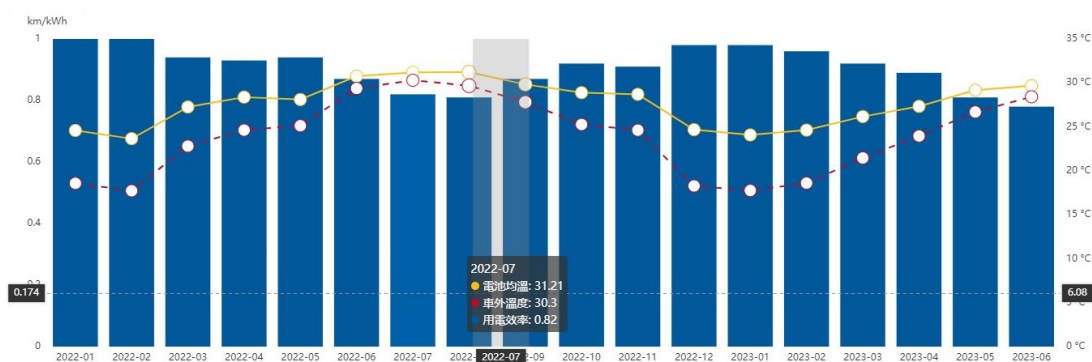


圖 3.2.1 用電效率與溫度關係-單一路線調度車輛

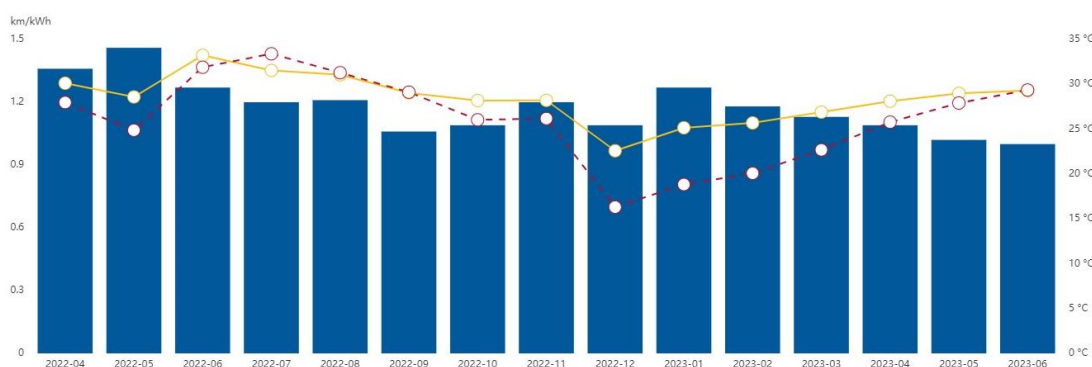


圖 3.2.2 用電效率與溫度關係-電/油車混合調度車輛

3. 為確保營運排班調度穩定，營運路線申請階段業者即會考量車輛出廠續航里程、充電時間及固定保養規劃，並預留電池衰退影響程度，計算與選擇足夠電池容量之車款與車輛數，且多數業者仍採

1:1 方式做車輛配置規劃。

本計畫針對前節建議之合作示範對象，於合作意願洽談過程，主要針對營運現況與數據分析應用想法進行交流，從中了解營運實務上之需求，與獲取對於資料分析與平臺呈現內容之建議。此外，考量數據分析與驅動模型應用之需要，以及增加對車輛電池特性之相關知識，亦於計畫執行期間與國內包括交通大學盧宗成教授、成功大學鄭永祥教授、李威勳教授、內政部統計處賴威宇科長、工研院材化所儲能組陳金銘組長及資通所梁世豪經理等相關專家學者交流，以深化計畫內容與提升分析精確度。整理重點如後。

1.客運業者

(1)營運現況回饋

- ①在營運實務上，為避免車輛中途沒電，客運業者一般會在當車輛 SOC 低於 30%時，要求駕駛返回調度站充電。在資料傳輸上，受限於各地區之網路傳輸效率與車載機之狀態，而導致有資料缺漏之情形。
- ②現況部分業者調度站所使用的充電系統可設定開始充電之時間，於特定時間後開始充電，充至 70~80%左右，再進入涓流充到 100%。
- ③現況針對電池健康度僅能夠呈現 SOC 剩餘量，惟車輛故障原因多為電池包內電池異常導致，細節狀況需藉由車廠提供。
- ④現況部分業者之充電系統程式自動控制開始與結束，然因系統設定緣故，上傳平臺之開始/結束充電時間為插槍/拔槍時間，充電設施回傳值並非實際狀況。
- ⑤為能即時追蹤調度站與車輛營運狀況，部分業者自行開發營運管理平臺，並以 API 介接方式整合外部資料匯集資訊。惟目前班次、充電之調度皆為人工控制。
- ⑥充電樁資料傳輸部分，除了各廠牌間車樁不互相通用之問題，亦有傳輸妥善率差、充電樁穩定性不佳問題。

- ⑦業者反饋目前充電設施故障尚未有警示機制，若充電樁無法為車輛充電，會導致無法出車，使得調度困難。業者提出希望能導入智慧排程系統與充電設施警示機制，以提升營運效率並減輕壓力外，亦提醒業者須為充電設施進行檢修。
- ⑧因路線行駛區域環境限制，鄰近山區之通訊傳輸缺漏比率高，可能會影響接收完整比率。使得有時傳出為 0 之數值，被系統過濾無效值，導致資料接收完整比率低。

(2)能耗分析之建議

- ①目前車輛能耗之計算方式有兩種，一種藉由取得車輛 SOC 記錄計算，另一種藉由取得充電樁輸出資料計算。然而兩種方式各有優缺點，只能作為參考。
- ②由於能耗影響因素眾多，在營運前規劃時，會增加求解複雜度，建議從中找出關鍵因素，並簡化計算方式，方便業者參考。
- ③在車輛能耗方面，駕駛習慣為最大原因，大部分為車內空調溫度設定太低導致，故業者建議若有機會可針對空調溫度與能耗間的關係做探討，提供客運業者溫度設定相關參考資訊。
- ④目前計算續航里程採用的是以總電量*用電效率，若要提供排班實務應用，建議需考量安全電量、電池衰退等影響因子。
- ⑤建議後續應用方向能以即時性與提供 SOC 使用量預測，較能應因應實務需求。
- ⑥建議可優先分析路線較短、地形影響較小之路線，能在建立初步關聯性成果後，再將其他路線納入比較探討，方便分析各路線用電效率與深入探討。

2.專家學者

(1)模式應用建議

- ①資料蒐集方面，學者指出由於車輛行駛時間、用電量、載客人數為隨機變數，建議納入模式中求解以提升精度。
- ②在演算法應用方面，多數學者指出由於 SOC 為非線性資料，為精確分析出結果，建議使用機器學習、深度學習或非線性迴歸。此外，若使用機器學習中的隨機森林分析，可先使用 MAPE、RMSE、 R^2 等指標判斷分析結果之精準度。以下說明學者回饋內容：
- ③SOC 為非線性資料，使用該資料做部份校估針對模型的預測結果有幫助，可將每 1% SOC 的行駛里程根據數據統計上推估，若根據可行駛里程對剩餘 SOC 做校估，對於模型之預測較為準確。
- ④若要評估路線用電效能及 SOC 使用量，變數上建議加入車輛預估停站時間、每趟次車輛載客人數、電池年齡(月)、已使用里程、駕駛行為、旅次時間以類別變數方式分時段分析、駕駛年齡(駕駛習慣)及轉為電動車輛駕駛之車齡檢驗預測準確性之影響，應可降低模式預測結果差異過大之情形增加其準確性。
- ⑤透過深度學習多種模型中可觀察到更細微的差異性，可根據重要特徵進行預處理，學習出不易觀察的參考變數，進而加入模型進行分析，提高其預測準確性。
- ⑥由於預測目標是連續變數，若採隨機森林法分析，可依 MAPE、RMSE、 R^2 等指標判斷分析結果之精準度
- ⑦建議在剩餘 SOC 監控上可以加上更細緻化的最佳能耗充電策略，給予業者在規劃上能更細節的掌握車輛營運的效能。
- ⑧就即時班次 SOC 預測部分，可嘗試利用移動平均法，蒐集特定時間內(如一週)的車輛、路線、班次等資料，進行分析測試，也易於設定資料更新機制，供業者導入參考。

(2)電池使用特性

- ①在電池使用特性上，電池健康度為最備受關注之議題，專家建議可從電池之電量、電壓、電流、溫度等方面著手，其中又以電壓與溫度為最關鍵之影響因子。
- ②在電池功率不變下，當電池老化時，電壓會衰退，從而讓電池供應更多電流使車輛順利運行。當電流大時，會使電池溫度上升，故可從中看出電池之老化程度。此外，電池如長期處於高溫環境，亦會影響電池健康度。
- ③一般實務應用上會根據電池較弱的電芯進行電池壽命之判斷，透過更細部的電池 pack、subpack、模組及電芯，觀察其最高及最低電壓與溫度，方可更精準地判斷電池老化的程度，進行使用時效預測及危害情形。
- ④若想事先預防電池安全疑慮，建議從電池模組端，針對包含電池內組、cell 端及內組溫度做即時監控。

本計畫亦針對各客運業者與專家學者的回饋提出相關建議，整理於表 3.2-1 與表 3.2-2。

表 3.2-1 客運業者回饋與本計畫建議

客運業者回饋內容	本計畫建議
營運現況回饋	
• 目前僅能用人工計算營運里程達成率調配班次，另仰賴人工經驗判斷充電需求，未能快速反饋季節、尖離峰、起始電量等實際營運狀態差異性。 • 若有智慧排程系統及充電設施警示機制，可提升營運效率。	• 歷史數據+預測模型回饋日間充電建議值，可進一步結合智慧充電系統或業者管理介面，帶入能耗數值，進行充電管理。
能耗分析回饋	
• 建議透過車輛 SOC 記錄或充電樁輸出資料計算車輛能耗，並探討能耗影響關鍵因素，以利業者執行營運前之規劃。另若做即時性 SOC 使用量預測，較能因應業者營運實務需求。 • 計算車輛續航里程上，建議將安全電量、電池衰退等影響因子納入考量。 • 目前沒有累積電池健康度相關數據，僅能依使用結果判斷電池效能是否降低。 • 駕駛習慣為影響車輛能耗之最大原因，大部分為車內空調溫度設定太低導致，建議若有機會可針對空調溫度與能耗間的關係做探討，提供客運業者溫度設定相關參考資訊。	• 依實際值累積建構之預測模型，輸入相關參數後回饋更貼近營運之能耗數值，提供檢視充電調度規劃。 • 有關電池健康度分析，需仰賴充電過程中電壓、電流等即時數據監控，建議掌握充電樁業者資料可釋出程度，並由本所智慧充電計畫深入探討。 • 空調溫度勢必會影響車輛能耗，但本計畫目前尚無法蒐集空調溫度。

資料來源：本計畫整理。

表 3.2-2 專家學者回饋與本計畫建議

專家學者回饋內容	本計畫建議
模式應用建議 • 納入車輛行駛時間、用電量、載客人數、車輛預估停站時間、電池年齡、已使用里程、駕駛行為/車齡等相關因素以提升求解精準度。 • 將每 1% SOC 的行駛里程根據數據統計上做推估，對於模型之預測較為準確。 • 模式納入最佳能耗充電策略，可使業者更細節掌握車輛營運效能。 • 可利用移動平均分析即時班次 SOC 預測。 • 建議使用機器學習、深度學習或非線性迴歸分析，並可透過 MAPE、RMSE、R^2 等指標分析結果之精準度。	
電池使用特性 • 觀察電池充電時之電量狀態及使用時之放電狀態，可初步判斷老化程度。 • 電壓與溫度為電池健康度之關鍵影響因子，透過監控電池內部模組可更精準判斷電池老化程度及預防電池安全疑慮。	
• 後續可針對 SOC 使用量回饋至充電效率評估電池使用狀態。不過，電池 pack、subpack、模組及電芯等由於屬於電動大客車製造商的商業機敏資料，建議由業者或主管機關掌握電池安全特性。	• 經與客運業者訪談回饋，駕駛行為確實對於用電效率有所影響，針對駕駛行為對於用電效率影響模型，可依據電巴車機資料，依速度及加速度等資料將駕駛行為進行分類(如激進型、一般型及積極型駕駛)作為模型投入變數進行測試。 • 本計畫以連續 4 個月資料進行模型初探，後續依電巴資料累積時間，可延長模型分析時間長度，以掌握與時間維度相關(如季節及電池年齡對用電效率)變數之影響程度。 • 考量各廠牌車輛三電系統設計本身有所不同，用電效率可能已受車輛廠牌出廠潛在自身條件影響，後續建議依資料累積情形，針對各車型分別進行獨立模型建立。 • 本計畫以貝氏線性回歸、指數回歸、分層回歸、機器學習的隨機森林與 XGBoost、深度學習的 h2o 等方法分析，並使用 MAPE 比較誤差值。

資料來源：本計畫整理。

3.3 電動大客車營運數據分析與關鍵指標建立

3.3.1 電動大客車營運數據監控管理平臺之指標

本計畫歸納整理客運業者交流回饋意見如下：

1.班次 SOC 使用量：

以國內外相關文獻及案例，一般對電動車輛能耗之評估指標採用能源消耗(energy consumption)或用電效率來表示，即每公里消耗多少度電(kWh/km)或每度電行駛多少公里(km/kWh)；然針對車輛儀表板顯示資訊及公車營運駕駛或站務人員於營運實務需要，提供每班次 SOC 使用量資訊較為直觀與容易判斷。參數計算主要由迄站(或進入充電調度站)剩餘 SOC-起站(或離開充電調度站)剩餘 SOC，計算取得 Δ SOC。

2.車輛進站前 SOC 值：

對照前項班次 SOC 指標，公車營運駕駛與站務人員以車輛進站前 SOC 值為判斷下一班出車及充電必要性的依據。參數可直接從平臺接收資訊取得，可設定以迄站(或設定進入充電調度站範圍)時擷取資料顯示當下之 SOC 值。

3.車輛別每日/每月充電度數：

過去客運業者會針對車輛或駕駛計算每月柴油消耗量，做為計算用油成本及節能駕駛之評估參考；轉換為電動車後，現況客運業者運用車輛業者或充電樁業者提供之充電管理系統取得的資訊主要以車輛單次充電紀錄與充電樁整體紀錄為主，故能夠取得車輛別統計資訊，對於成本計算與駕駛管理有其助益。

考量車輛夜間充電通常會跨夜，參數計算主要由車輛每次充電度數依夜間充電時段特性設定時間範圍(如每日 06:00~隔日 06:00、每月 1 日 06:00~隔月 1 日 06:00)，計算取得 Δ 充電度數。

4.充電時間適用性分析：

對應公車駕駛作業 SOP，若車輛有充電需求，一般會於車輛回到充電調度站或收班時即插槍充電，然基於用電尖離峰充電價格差

異，多數業者除必要外，會透過充電管理系統設定於用電離峰啟動充電(系統自動判定)，避免拉高營運費用。

藉由車輛端與充電端的營運數據資料，除可運算統計營運關鍵指標，提供客運業者與路線主管機關做為營運績效觀察之基礎，亦可整合外部數據影響因子，評估分析不同營運情境下對於營運關鍵指標之影響程度。

本計畫依 3.1 節評估篩選對象，挑選使用不同車型之 2 家客運業者、3 條路線，針對其服務路線進行包括用電效率、SOC 使用量、充電時間等指標特性進行分析；並藉由個案分析結果與客運業者進行交流，蒐集指標參數之相關影響因子，以利進行營運關鍵指標數據探勘分析與原因探討，以及後續建立數據驅動模型之參考。

3.3.2 營運數據分析關鍵指標探勘分析

本計畫針對 3 條使用電動大客車進行營運之公車路線(以代碼路線 R1~R3 表示)，進行營運數據分析關鍵指標探勘分析，各公車路線之基本資料可參閱表 3.3-1，除了路線里程、班次數、電池以及馬達等與路線以及車輛相關的資料外，本計畫亦彙整各路線特性類型及停靠站數等相關資料，作為各路線班次能耗分析之參考，此外，本節亦針對各路線取得之車機數據資料及充電站充電資料(R1、R2 資料)進行分析結果說明。

車機數據資料分析：內容涵蓋路線行駛班次及趟次(路線去程及返程分別各計為 1 班次，去、返程之 2 班次合計為 1 趟次)、用電效率、電池電量狀態(State of Charge，以下分析皆簡稱為 SOC)等項目，路線 R1、R2 亦利用其所提供之駕駛班表，額外進行駕駛用電效率分析。此外，本計畫亦應用路線 R3 多月份車機數據資料，針對季節及尖離峰時段之班次發車起始 SOC 進行分析，探討起始 SOC 對於班次能耗之影響。

充電站充電資料分析：針對路線 R1、R2 之充電站，分析內容包含各充電站充電時間及時段分布、充電 SOC 及充電效率等指標。

表 3.3-1 營運數據分析公車路線基本資料

路線代碼	客運業者	去/返程 里程 (公里)	平日 核定 班次數	假日 核定 班次數	車輛 業者	車輛 數	電池 容量 (kwh)	電池 形式	馬達種類	馬達 功率 (kw)	路線特性 類型	停靠 站數 (去/返)
------	------	--------------------	-----------------	-----------------	----------	---------	-------------------	----------	------	------------------	------------	-------------------

R1	C1	15.5/15.5	240	140	V1	26	282	三元 鋰電池	水冷式 同步磁阻 輔助型永 磁電機	189	市郊通勤 路線	44/39
R2		12.1/12.0	300	160		30					公車專用 道	32/33
R3	C2	23.7/23.5	104	42	V2	23	248.21	磷酸鐵 鋰電池	永磁式	250	市郊通勤 路線	59/64

註：1.客運業者為經營該公車路線之業者；車輛業者為該公車路線所使用之車輛廠牌。

2.路線 R1 及 R2 皆為客運業者 C1 經營，並皆使用車輛業者 V1 之車輛。

3.「市郊通勤路線」係指行駛範圍貫通郊區至市區之路線。

4.「公車專用道」係指公車專用道長度占該路線長度 40%以上之路線。

資料來源：本計畫彙整。

1.班次用電效率及 SOC 使用量分析

本計畫取得路線 R1、R2、R3 各 1 個月份之車機數據資料，針對車輛(擷取車牌後四碼進行標示)用電效率以及 SOC 使用量進行分析，分析結果如下所示。

(1)路線 R1

本計畫蒐集 2023 年 5 月份路線 R1 之車機設備數據資料，分析車輛共計 26 輛，以 TDX A2 動態定點資料萃取行駛於該路線上之車機資料共計 3,999,628 筆(傳輸頻率為每 5 秒 1 筆)，全月分析之班次數為 5,567 班次，並已向該路線營運業者 C1 取得該月份之駕駛班表，納入駕駛用電分析，分析駕駛共 46 位，分別以代號 A~AT 標註。

①各車輛及駕駛行駛班次數統計

路線 R1 該月份各車輛及駕駛行駛班次統計如表 3.3-2 所示，觀察各車輛皆有主要負責行駛的駕駛，再因應排班調度及駕駛工時需求進行車輛排班，由其他駕駛支援行駛該車輛。

表 3.3-2 路線 R1 各車輛及駕駛行駛班次統計表

車牌號碼	駕駛代號	班次數量	車牌號碼	駕駛代號	班次數量	車牌號碼	駕駛代號	班次數量	車牌號碼	駕駛代號	班次數量	車牌號碼	駕駛代號	班次數量
1696	AE	8	1702	C	6	1706	S	12	1712	AJ	215	1718	I	4
	AF	8		P	222		U	12		W	10		M	169
	B	243		AA	153		X	10		AD	10		U	2
1697	AD	2	1703	AD	6	1707	AB	199	1713	AE	8	1719	X	10
	N	249		AH	8		AF	16		AF	8		AR	144
	R	2		AL	9		AQ	10		AI	189		F	4
1698	T	2	1703	F	10	1707	E	6	1713	AL	10	1720	AE	8
	AE	8		I	26		G	6		C	8		G	8
	T	241		J	2		H	11		G	4		I	8
1699	U	6	1703	O	4	1708	K	4	1715	AO	58	1720	S	2
	AE	8		U	6		AF	8		H	10		W	10
	AF	8		W	10		AT	8		U	24		Y	183
1700	AL	6	1705	Z	4	1709	O	31	1716	AD	9	1721	Z	2
	E	8		AD	4		AC	2		AL	10		AN	4
	G	8		AG	12		AD	6		AN	8		C	8
1700	H	10	1705	AI	2	1709	AE	38	1716	AP	178	1722	E	4
	I	6		AL	10		AF	8		AS	8		K	115
	S	163		AN	13		AN	2		C	8		U	15
1700	X	2	1705	AP	14	1709	AO	8	1716	G	8	1722	AB	10
	AF	8		C	85		D	2		M	8		AD	6
	G	8		G	2		I	16		N	4		AE	8
1700	L	191	1705	H	16	1709	J	163	1717	AD	2	1722	AN	158
	N	2		I	2		K	2		AK	138		AP	8

註：本表統計之各車輛及駕駛班次數已扣除用電資料遺漏(110 班)以及少數無法對應駕駛班表之班次(150 班)。

資料來源：本計畫彙整。

表 3.3-2 路線 R1 各車輛及駕駛行駛班次統計表(續 1)

車牌號碼	駕駛代號	班次數量	車牌號碼	駕駛代號	班次數量	車牌號碼	駕駛代號	班次數量	車牌號碼	駕駛代號	班次數量	車牌號碼	駕駛代號	班次數量
1701	AE	8	1705	O	8	1710	AB	2	1717	AQ	2	1722	F	2
	AF	8		Q	2		C	8		F	2		K	8
	AM	8		U	12		I	4		H	10		R	4
	B	2	1706	A	10		U	16	1718	AD	2	1723	AD	9
	D	192		AE	8		X	8		AF	8		AF	8
	I	6		AG	12		Z	225		AG	2		AH	4
	U	8		AH	2	1711	AB	2		AM	8		AN	8
	V	2		AO	8		AD	10		AO	8		I	2
	Z	4		AS	8		AE	17		AQ	4		J	2
1702	AE	2		E	111		G	8		AS	8		L	2
	AF	8		I	2		Q	175		E	32		R	132
	AG	2		R	2		X	2		G	10		V	10

註：本表統計之各車輛及駕駛班次數已扣除用電資料遺漏(110 班)以及少數無法對應駕駛班表之班次(150 班)。

資料來源：本計畫彙整。

②每班次用電效率分析

因應車機數據資料有部分班次遺漏相關用電資料，故用電分析部分已先行扣除資料缺漏之班次(共 110 班)，遺漏班次如表 3.3-3 所示，而在駕駛班次用電效率分析部份，亦扣除部份無法對應駕駛之班次(共 150 班)，遺漏班次如表 3.3-4 所示。

表 3.3-3 路線 R1 用電資料遺漏班次對照表

車牌號碼	用電資料遺漏班次數	車牌號碼	用電資料遺漏班次數
1697	1	1717	1
1708	26	1721	1
1710	50	1722	28
1715	3	總計	110

資料來源：本計畫彙整。

表 3.3-4 路線 R1 駕駛資料遺漏班次對照表

車牌號碼	駕駛資料遺漏班次數	車牌號碼	駕駛資料遺漏班次數
1696	1	1710	2
1697	2	1715	9
1698	2	1716	6
1703	4	1718	6
1705	11	1719	10
1706	6	1721	37
1707	3	1722	3
1708	2	1723	46
總計			150

資料來源：本計畫彙整。

A.各車輛及駕駛用電效率分析

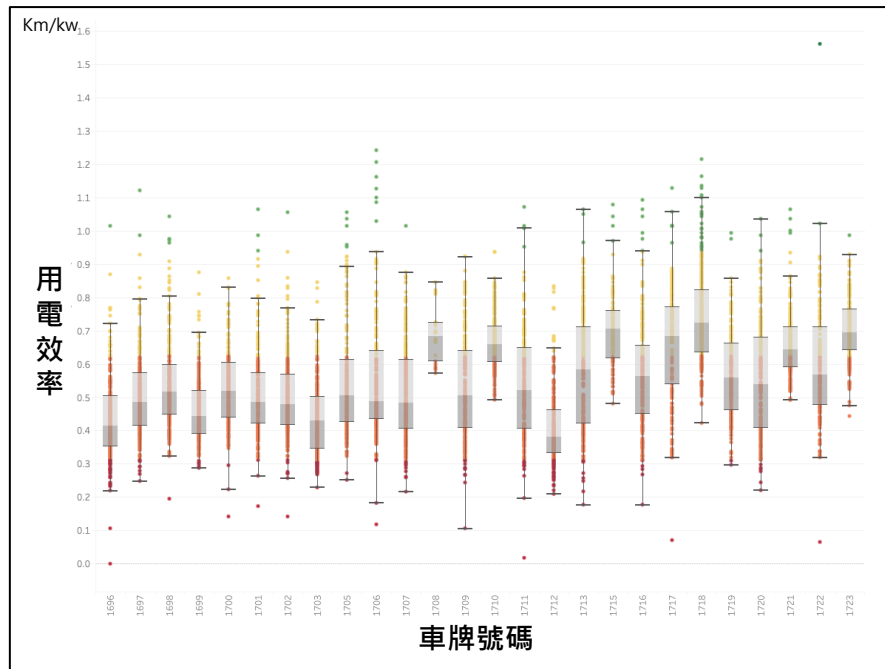
本計畫分析之各車輛每班次用電效率、各駕駛每班次用電效率統計，分別如表 3.3-5 及表 3.3-6 所示，相關分布趨勢圖則可分別參考圖 3.3.1 及圖 3.3.2。

在車輛用電效率部分，車輛 1710 用電效率資料欄位遺漏班次數最多，除駕駛 C 外，其餘駕駛之班次皆有部分資料遺漏；車輛 1708 用電效率資料欄位遺漏班次則是次多，僅駕駛 O 行車時有部分資料，駕駛 AF、AT 行車時無相關資料，故其用電效率分布明顯較其他車輛集中；車輛 1712 用電效率則較其他車輛低，主要由 AJ 駕駛，少部分班次由 W 駕駛，但兩個駕駛於該車輛平均用電效率差異不大，分別為 0.41 及 0.43km/kwh；車輛 1722 則有車機資料回傳異常，導致用電效率異常較多之情形，此情形主要發生在該月下旬，且發生時皆為駕駛 AN 行車時。排除部分資料異常的車輛 1722，其他所有車輛之用電效率平均值為 0.55 km/kwh。

在駕駛用電效率部分，以駕駛 V 最高，平均為 0.78 km/kwh，該月曾駕駛車輛 1701、車輛 1723；駕駛 AJ 之

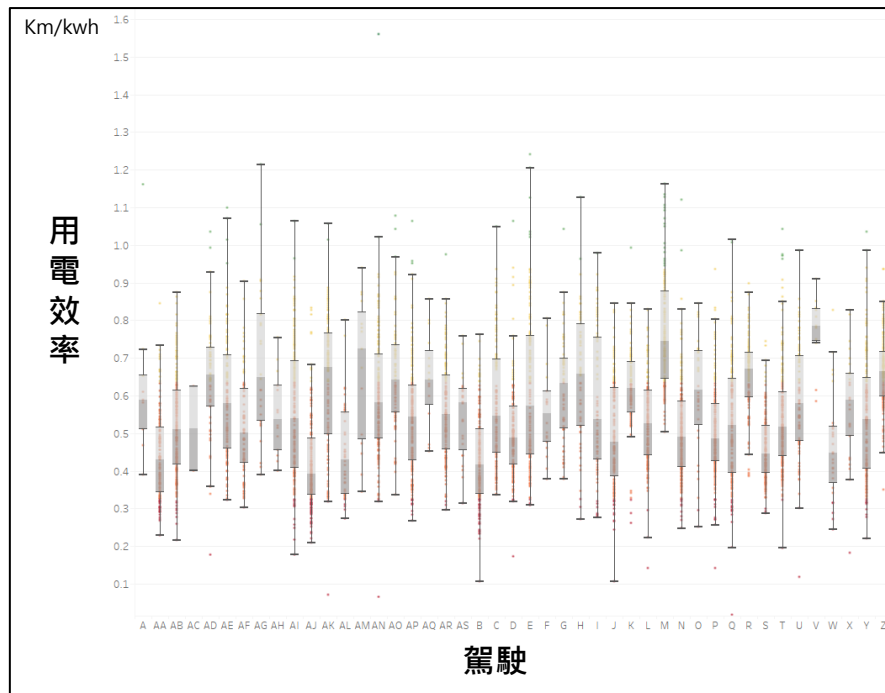
用電效率則最低，平均為 0.41 km/kwh，其皆駕駛車輛 1712，且該車輛亦是所有車輛之中平均用電效率最低。

整體而言，除上述所提及之車輛以及駕駛外，其他車輛及駕駛之用電效率極端值並無明顯趨勢。



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.1 路線 R1 各車輛每班次用電效率趨勢圖



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.2 路線 R1 各駕駛每班次用電效率趨勢圖

表 3.3-5 路線 R1 各車輛每班次用電效率表

車牌 號碼	最大值	第三四分 位數(Q3)	中位數	平均值	第一四分 位數(Q1)	最小值	標準差
1696	1.01	0.50	0.41	0.44	0.35	0.00	0.12
1697	1.12	0.57	0.48	0.50	0.41	0.25	0.13
1698	1.04	0.60	0.52	0.54	0.45	0.20	0.13
1699	0.87	0.52	0.45	0.46	0.39	0.29	0.10
1700	0.86	0.60	0.52	0.52	0.44	0.14	0.11
1701	1.06	0.57	0.49	0.51	0.43	0.17	0.13
1702	1.05	0.56	0.48	0.50	0.42	0.14	0.12
1703	0.85	0.50	0.43	0.44	0.35	0.23	0.12
1705	1.05	0.61	0.51	0.54	0.42	0.25	0.16
1706	1.24	0.64	0.50	0.55	0.44	0.12	0.18
1707	1.01	0.61	0.48	0.51	0.40	0.22	0.14
1708	0.85	0.72	0.67	0.68	0.60	0.57	0.08
1709	0.92	0.64	0.51	0.53	0.41	0.11	0.15
1710	0.94	0.71	0.66	0.67	0.61	0.49	0.08
1711	1.07	0.65	0.52	0.54	0.41	0.02	0.16
1712	0.83	0.46	0.38	0.41	0.33	0.21	0.12
1713	1.06	0.71	0.59	0.58	0.42	0.18	0.18
1715	1.08	0.76	0.71	0.70	0.62	0.48	0.12
1716	1.09	0.65	0.56	0.57	0.45	0.18	0.16
1717	1.13	0.77	0.69	0.66	0.55	0.07	0.18
1718	1.21	0.82	0.72	0.74	0.64	0.42	0.14
1719	0.99	0.66	0.56	0.57	0.46	0.30	0.13
1720	1.04	0.68	0.54	0.55	0.41	0.22	0.17
1721	1.06	0.71	0.64	0.66	0.59	0.49	0.10
1722	40,933.84	0.74	0.58	669.51	0.48	0.07	4,660.12
1723	0.99	0.76	0.69	0.70	0.64	0.44	0.09
總計	1.24	0.66	0.54	0.55	0.43	0.00	0.16

註：1.用電效率單位為 Km/kwh。

：2.總計欄之各項數值為所有車輛一併計算，但不含部分資料異常的 1722。

資料來源：本計畫彙整。

表 3.3-6 路線 R1 各駕駛每班次用電效率表

駕駛代號	最大值	第三四分位數(Q3)	中位數	平均值	第一四分位數(Q1)	最小值	標準差
A	1.16	0.64	0.59	0.62	0.48	0.39	0.22
AA	0.85	0.49	0.42	0.43	0.34	0.23	0.11
AB	0.87	0.60	0.49	0.51	0.40	0.22	0.13
AC	0.63	0.57	0.51	0.51	0.46	0.40	0.16
AD	1.04	0.74	0.67	0.65	0.57	0.18	0.16
AE	1.10	0.68	0.57	0.59	0.46	0.32	0.16
AF	0.90	0.62	0.5	0.52	0.42	0.30	0.13
AG	1.21	0.83	0.65	0.70	0.53	0.39	0.21
AH	0.75	0.62	0.54	0.55	0.46	0.40	0.11
AI	1.06	0.70	0.54	0.55	0.41	0.18	0.17
AJ	0.83	0.45	0.38	0.41	0.33	0.21	0.12
AK	1.06	0.76	0.68	0.65	0.53	0.07	0.17
AL	0.80	0.53	0.43	0.45	0.35	0.27	0.12
AM	0.94	0.81	0.75	0.68	0.49	0.34	0.19
AN	40,933.84	0.74	0.60	677.07	0.49	0.07	4,685.97
AO	1.08	0.74	0.66	0.66	0.56	0.34	0.14
AP	1.06	0.63	0.54	0.54	0.43	0.27	0.14
AQ	0.86	0.71	0.64	0.63	0.53	0.45	0.13
AR	0.98	0.65	0.55	0.56	0.46	0.30	0.13
AS	0.76	0.62	0.58	0.55	0.46	0.31	0.11
B	0.76	0.50	0.40	0.43	0.35	0.11	0.11
C	1.05	0.69	0.53	0.57	0.44	0.34	0.16
D	1.06	0.55	0.48	0.50	0.42	0.17	0.12
E	1.24	0.75	0.53	0.60	0.44	0.31	0.20
F	0.81	0.61	0.55	0.56	0.48	0.38	0.12
G	1.04	0.70	0.62	0.62	0.52	0.38	0.14
H	1.13	0.77	0.66	0.65	0.53	0.27	0.17
I	0.98	0.75	0.52	0.57	0.43	0.28	0.20
J	0.85	0.63	0.48	0.51	0.40	0.11	0.14
K	0.99	0.68	0.62	0.62	0.58	0.26	0.10
L	0.83	0.60	0.52	0.52	0.44	0.14	0.11
M	1.16	0.82	0.73	0.75	0.65	0.50	0.13

註：1.用電效率單位為 Km/kwh。

2.因駕駛 AT 行駛之班次用電效率皆遺漏，故本表無列出。

資料來源：本計畫彙整。

表 3.3-6 路線 R1 各駕駛每班次用電效率表(續 1)

駕駛代號	最大值	第三四分位數(Q3)	中位數	平均值	第一四分位數(Q1)	最小值	標準差
N	1.12	0.56	0.48	0.50	0.41	0.25	0.12
O	0.85	0.72	0.63	0.61	0.55	0.25	0.15
P	0.94	0.56	0.48	0.50	0.42	0.14	0.12
Q	1.01	0.64	0.51	0.52	0.39	0.02	0.16
R	0.90	0.72	0.67	0.67	0.61	0.39	0.10
S	0.74	0.50	0.44	0.45	0.39	0.29	0.09
T	1.04	0.59	0.52	0.54	0.45	0.20	0.13
U	0.99	0.71	0.59	0.60	0.51	0.12	0.15
V	0.91	0.83	0.80	0.78	0.75	0.59	0.09
W	0.83	0.52	0.45	0.46	0.36	0.24	0.14
X	0.83	0.68	0.61	0.58	0.50	0.18	0.14
Y	1.04	0.63	0.54	0.54	0.40	0.22	0.16
Z	0.94	0.70	0.66	0.66	0.60	0.35	0.09
總計	1.24	0.66	0.53	0.55	0.42	0.02	0.16

註：1.用電效率單位為 Km/kwh。

2.因駕駛 AT 行駛之班次用電效率皆遺漏，故本表無列出。

3.總計欄之各項數值為所有駕駛一併計算，但不含部分駕駛資料遺漏之班次以及部分資料異常的駕駛 AN。

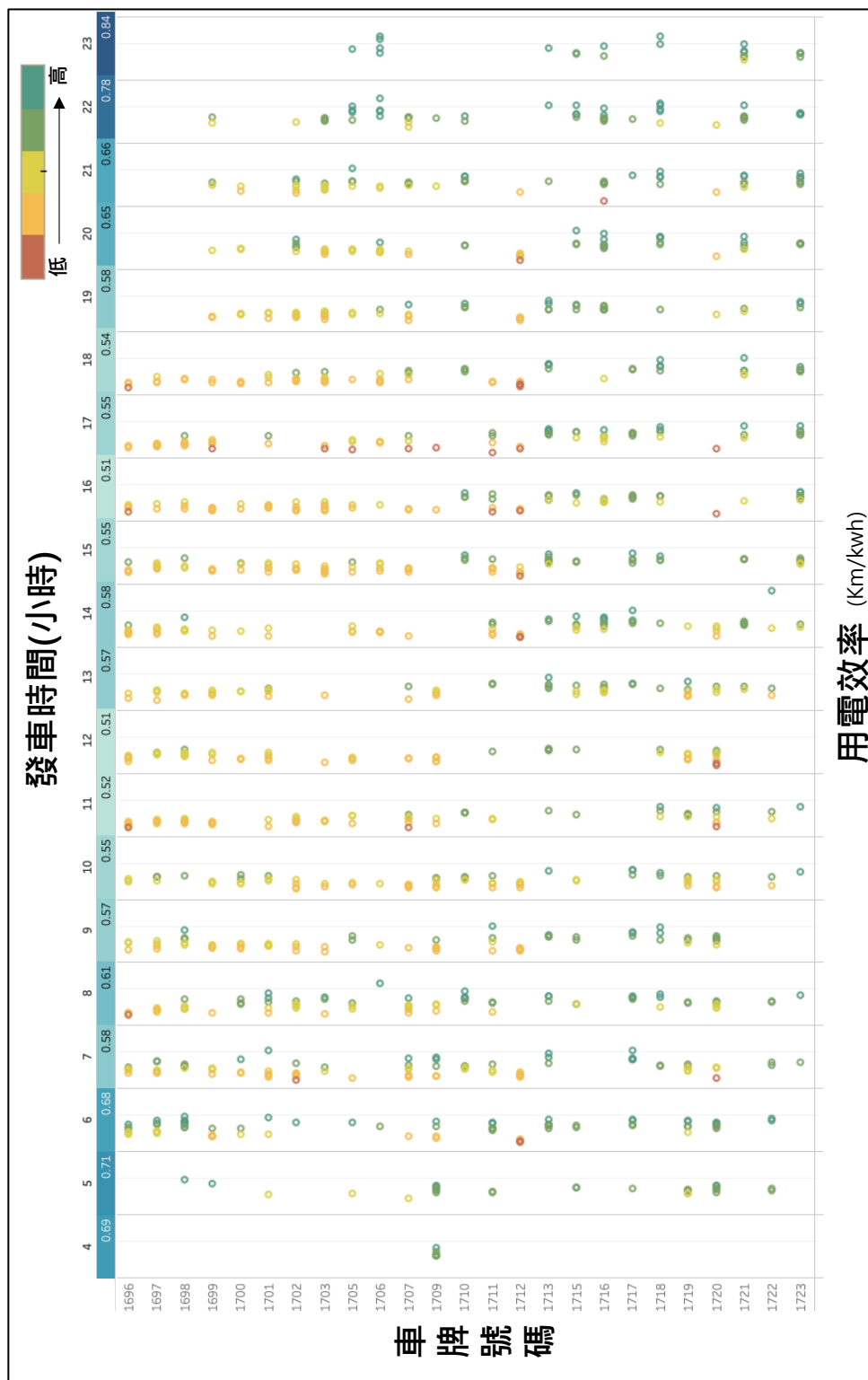
資料來源：本計畫彙整。

B.各車輛及駕駛分時用電效率分析

在分時用電效率部分，本計畫採用該月份其中一周之各車輛班次用電資料，並以各車輛及駕駛分時進行用電效率分時趨勢分析，分析結果如圖 3.3.3 及圖 3.3.4 所示。

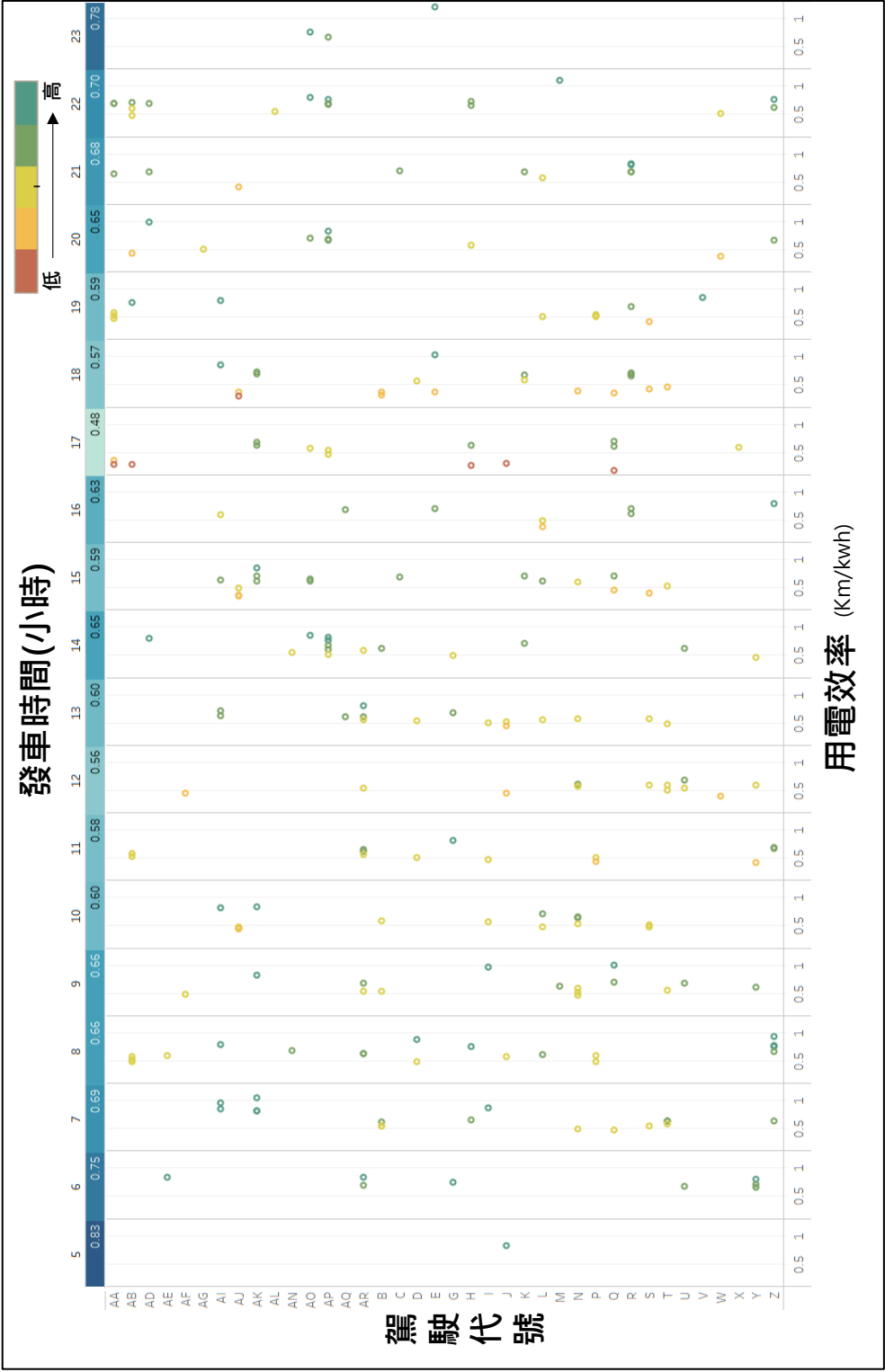
整體而言，去除異常值後，以上午 4~6 點及晚上 22~23 點發車之班次，平均用電效率有比較高的趨勢。中午時段(11 點、12 點)以及下午尖峰(16 點、17 點、18 點)發車之班次，則為平均用電效率偏低的時段。

若以各駕駛分時之各班次用電效率進行分析，可以觀察到亦是以中午時段以及下午尖峰發車之班次平均用電效率較低，尤其以下午尖峰時段最低，此現象與各車輛分時之用電效率分析結果一致。



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.3 路線 R1 各車輛每班次分時用電效率趨勢圖



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.4 路線 R1 各駕駛每班次分時用電效率趨勢圖

③每班次 SOC 使用量分析

在每班次 SOC 使用量趨勢部分，亦採用與分時用電效率分析同時段之資料，以各班次之發車時間進行每班次 SOC 使用量趨勢分析，分析結果如圖 3.3.5 所示。

在各車輛 SOC 使用量部分，以車輛 1722 資料異常較多，而車輛 1710 之各時段變動幅度亦較大，其他車輛之極端值則無明顯趨勢。

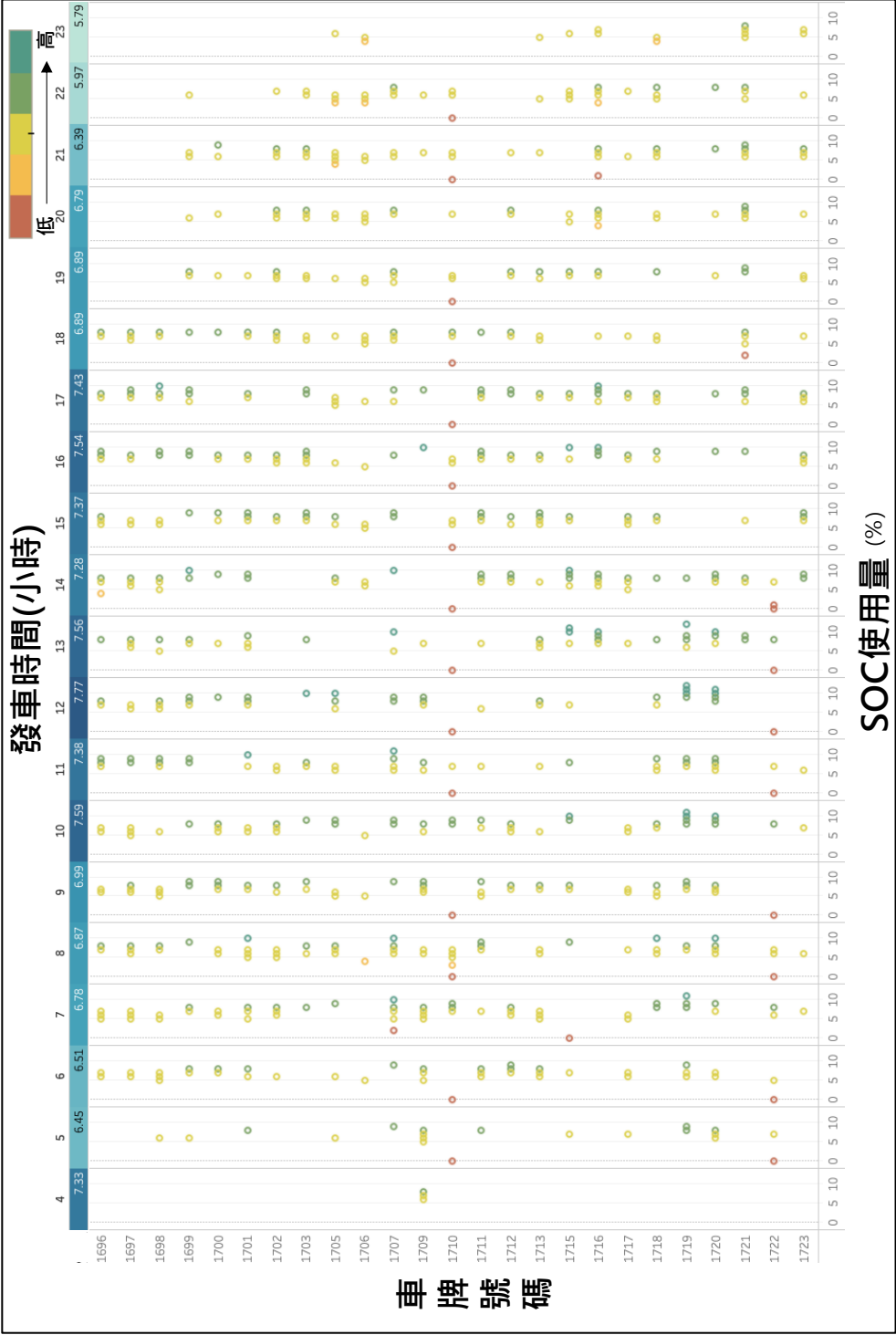
在分時 SOC 使用量部分，與用電效率分時分析結果相似，中午時段(11 點、12 點)以及下午尖峰(16 點、17 點、)發車之班次，SOC 使用量較高。

④SOC 變化趨勢分析

在各車輛 SOC 變化趨勢部分，本計畫亦採用與分時用電效率分析同時段之資料，針對各車輛 SOC 變化進行完整一周分時分析，如圖 3.3.6 所示。

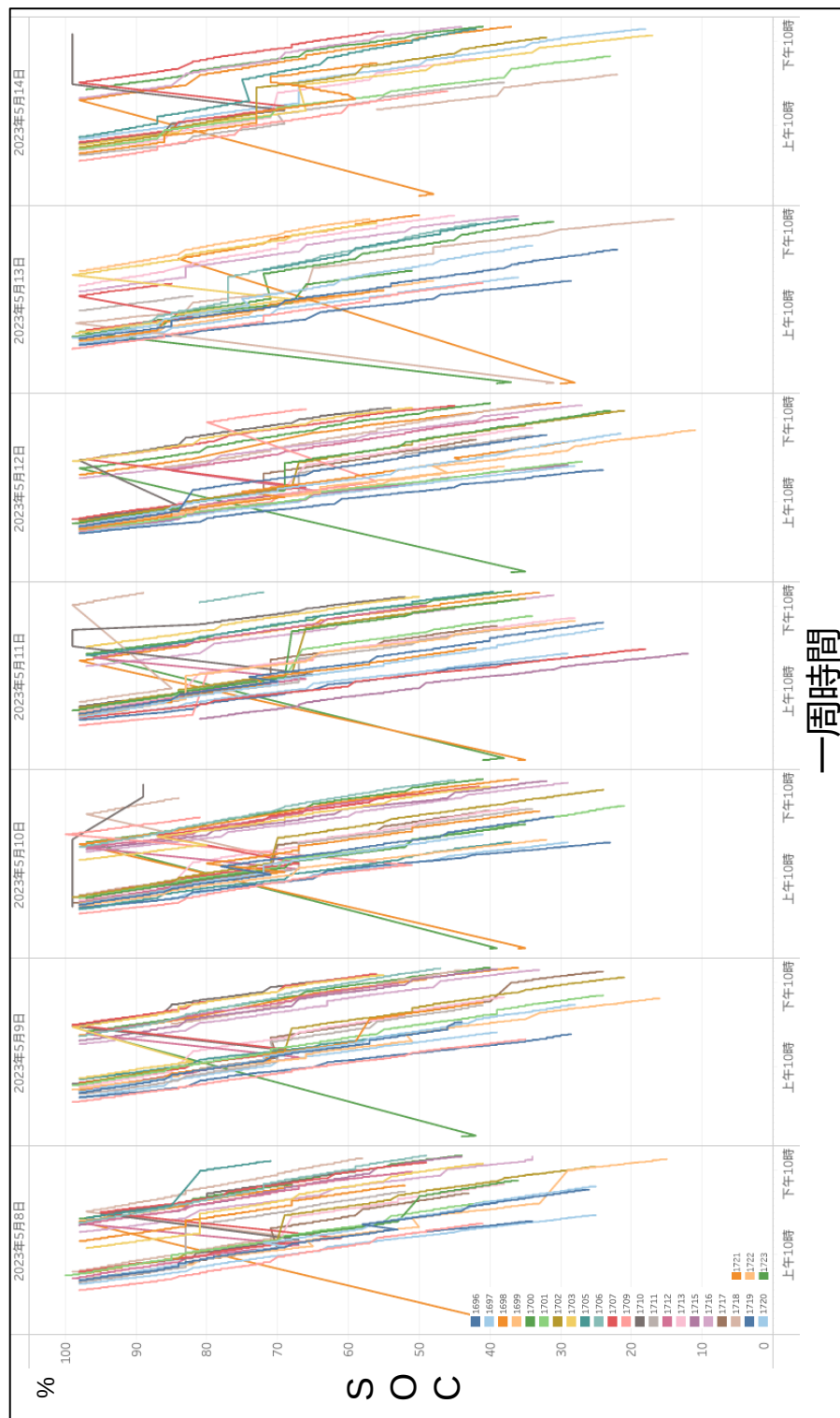
路線 R1 所使用之車輛，其車廠業者建議的安全電量為 SOC 介於 20~30%，每輛車平均每日行駛車次為 4~5 趟，而多數車輛至收班時之剩餘 SOC 可高於 20%，僅有部分車輛(1699、1703、1707、1715、1718、1720)有部分天數出現收班時 SOC 低於 20%，如圖 3.3.7 所示，該現象與行駛 5 趟次未補電及首班發車時 SOC 較低有關。

另與業者了解，部分車輛中午過後始首發班次，主要因為車輛進行二級保養，少部分為對應駕駛有換車需求(原車剩餘 SOC 不足)；另部分車輛全日行駛趟次數高於均值，主要原因為滿足示範計畫路線車輛年行駛里程下限要求進行派車調度所致。



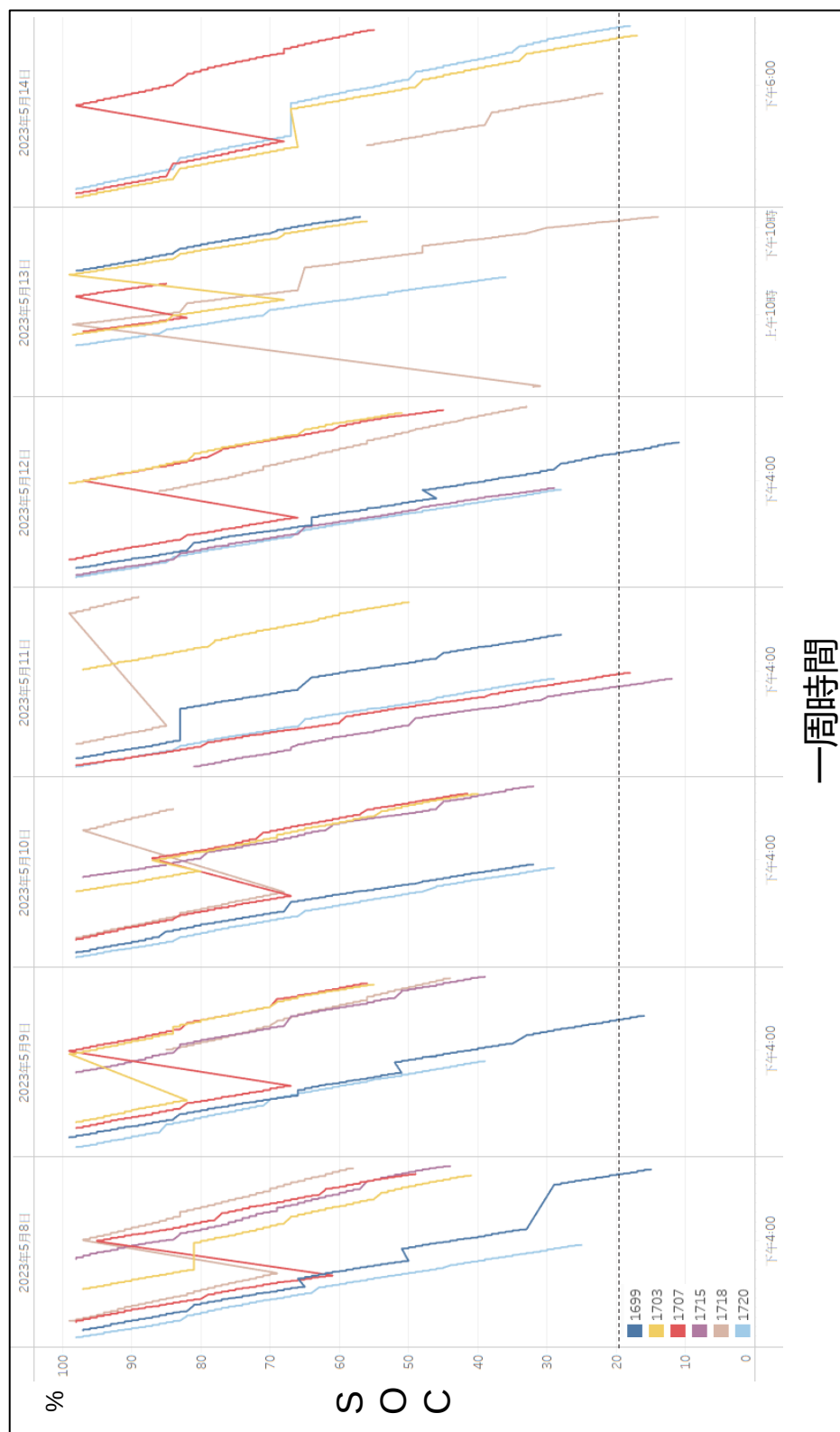
資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.5 路線 R1 每班次分時 SOC 使用量趨勢圖



註：SOC 軌跡上升僅代表車機關機到下次開機 SOC 變化，斜率不代表充電斜率。
資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.6 路線 R1 各車輛一周 SOC 變化趨勢圖



註：SOC 軌跡上升僅代表車輛開機到下次開機 SOC 變化，斜率不代表充電斜率。

資料來源：本計畫繪製。

(2)路線 R2

本計畫蒐集 2023 年 5 月份路線 R2 之車機設備數據資料，扣除 1 輛全月未接收到資料之車輛，實際分析車輛共計 29 輛，以 TDX A2 動態定點資料萃取行駛於該路線上之車機資料共計 4,943,285 筆(傳輸頻率為每 5 秒 1 筆)，全月分析之班次數為 9,272 班次，並已向該路線營運業者 C1 取得該月份之駕駛班表，納入駕駛用電分析，分析駕駛共 36 位，分別以代號 A~AJ 標註。

①各車輛及駕駛行駛班次數統計

路線 R2 該月份各車輛及駕駛行駛班次統計如表 3.3-7 所示，觀察各車輛皆有主要負責行駛的駕駛，再因應排班調度及駕駛工時需求進行車輛排班，由其他駕駛支援行駛該車輛。

②每班次用電效率分析

因應車機數據資料有部分班次遺漏相關用電資料，故用電分析部分已先行扣除資料缺漏之班次(共 339 班)，遺漏班次如表 3.3-8 所示；而在駕駛班次用電效率分析部份，亦扣除部份無法對應駕駛之班次(共 73 班)，遺漏班次如表 3.3-9 所示。

表 3.3-7 路線 R2 各車輛及駕駛行駛班次統計表

車牌號碼	駕駛代號	班次數量	車牌號碼	駕駛代號	班次數量	車牌號碼	駕駛代號	班次數量	車牌號碼	駕駛代號	班次數量	車牌號碼	駕駛代號	班次數量
521	E	12	527	V	12	532	N	24	1660	AE	257	1668	Z	14
	F	293		Z	82		V	2		E	8	1669	M	34
	M	6	528	AE	12	533	E	6		H	13		Y	308
522	D	10		E	2		M	10		M	16	1670	AD	11
	L	4		H	286		S	280		N	12		AE	3
	U	290		P	2	535	R	318		Z	10		AG	10
523	E	2	529	AI	297		AA	10	1661	AF	311		AH	10
	Q	292		M	8	536	C	280	1662	AJ	295		I	220
525	AD	260		U	4		E	6	1663	M	18		M	22
	AE	12	530	A	236		O	12		O	281		Q	12
	AG	10		AA	2	537	AI	12		Q	12	1671	R	6
	M	20		D	10		J	289	1665	AJ	12		AG	10
	Q	8		F	12		P	2		M	34		M	2
526	AD	2		H	2	1658	AA	2		P	274		N	12
	AJ	12		M	2		C	2	1666	B	247		X	286
	G	2	531	A	2		E	276		G	2	1672	AE	2
	H	8		AC	304		F	12		M	30		G	302
	M	10		H	2		M	14		O	12		I	10
	V	253		P	2		T	2		U	9		M	12
527	AH	10	532	AA	2	1659	X	2	1667	AB	316	1673	AE	12
	B	10		D	10		F	6		M	2		B	4
	H	8		E	6		H	2	1668	AA	264		M	22
	K	171		G	2		J	2		AD	12		P	2
	L	10		L	252		O	6		C	10		W	259
	S	4		M	14		T	284		I	12			

註：本表統計之各車輛及駕駛班次數已扣除用電資料遺漏(339 班)以及少數無法對應駕駛班表之班次(73 班)。

資料來源：本計畫彙整。

表 3.3-8 路線 R2 用電資料遺漏班次對照表

車牌號碼	用電資料遺漏班次數	車牌號碼	用電資料遺漏班次數
522	225	535	68
526	6	536	2
528	1	1660	8
531	1	1663	18
533	10	總計	339

資料來源：本計畫彙整。

表 3.3-9 路線 R2 駕駛資料遺漏班次對照表

車牌號碼	駕駛資料遺漏班次數	車牌號碼	駕駛資料遺漏班次數
521	2	1660	10
525	4	1662	2
526	2	1663	3
527	4	1665	2
529	2	1666	7
532	4	1667	2
533	2	1669	6
536	4	1670	6
537	1	1672	2
1658	5	1673	3
總計			73

資料來源：本計畫彙整。

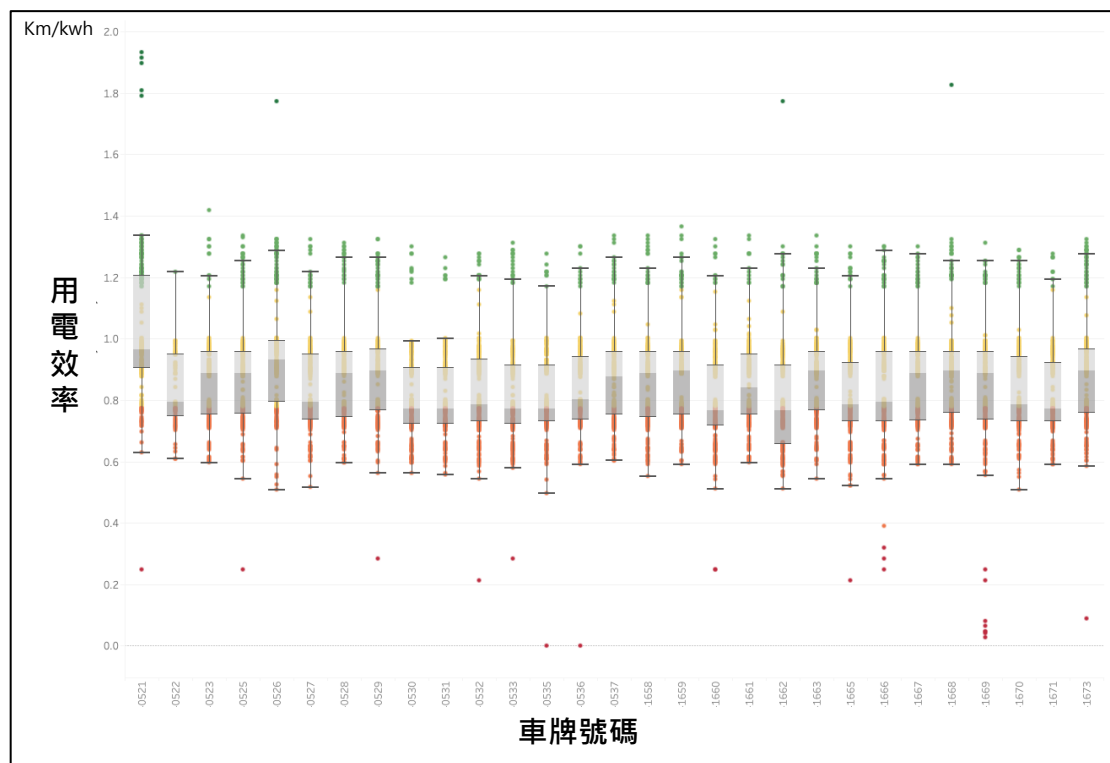
A. 各車輛及駕駛用電效率分析

本計畫分析之各車輛每班次用電效率、各駕駛每班次用電效率統計，分別如表 3.3-10 及表 3.3-11 所示，相關分布趨勢圖則可分別參考圖 3.3.8 及 3.3.9。

在車輛用電效率分析部分，車輛 522 用電效率資料欄位遺漏班次數是最多的，僅駕駛 U 行車時有資料，駕駛 D、L 行車時無相關資料；車輛 535 之部分時段 SOC 回傳資料異常，導致用電效率異常較多，且發生時皆為駕駛 R 行車時。排除部分資料異常的車輛 535，其他所有車輛之用電效率平均值為 0.55 km/kwh。

在駕駛用電效率部分，以駕駛 F 最高，平均為 1.04 km/kwh，其主要駕駛的車輛 521，亦為所有車輛內，平均用電效率最高者(僅次於資料異常的車輛 535)；駕駛 AE 則於本月共駕駛 5 輛車輛，各車輛用電效率有差異，又以車輛 1660 之用電效率分布較分散。

整體而言，除上述所提及之車輛以及駕駛外，其他車輛及駕駛之用電效率極端值並無明顯趨勢。



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.8 路線 R2 各車輛每班次用電效率趨勢圖

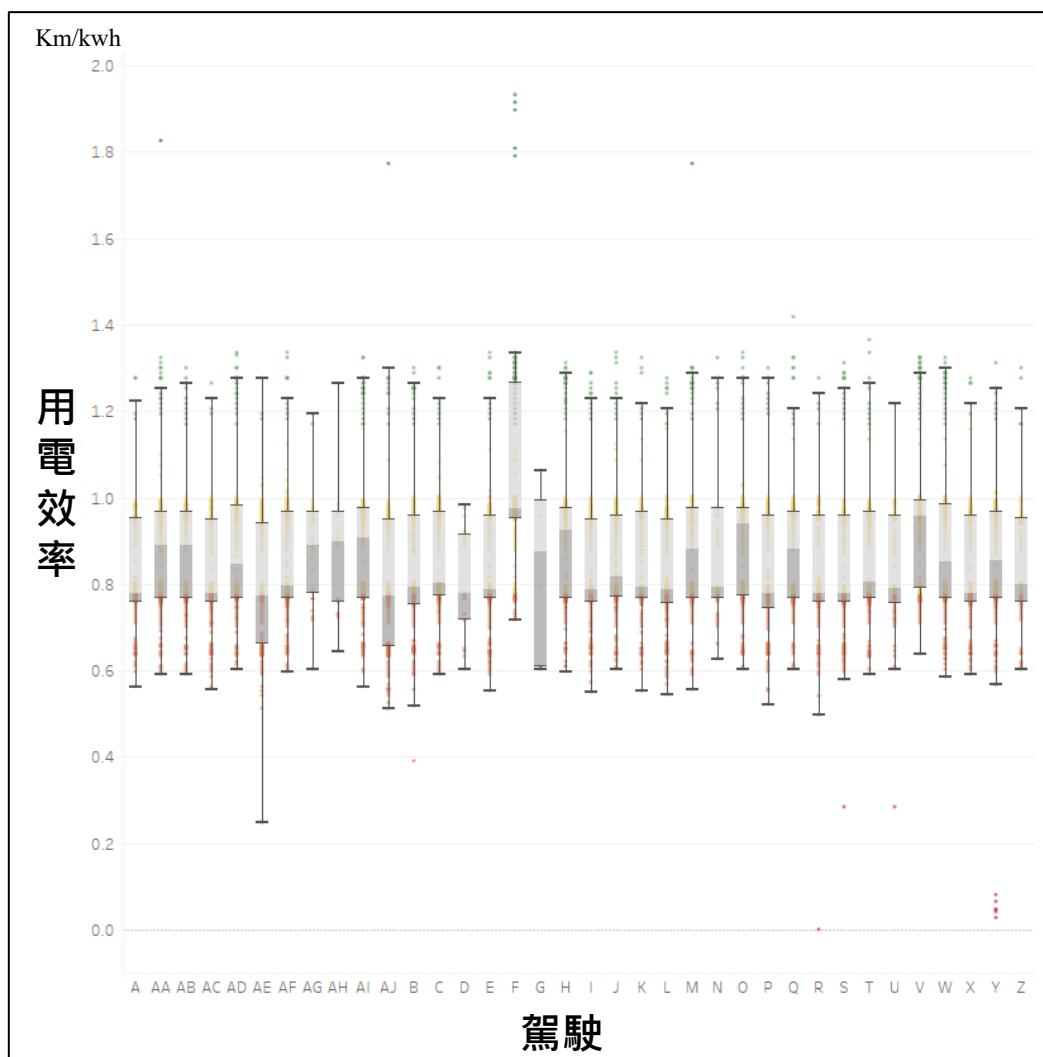
表 3.3-10 路線 R2 各車輛每班次用電效率表

車牌號碼	最大值	第三四分位數(Q3)	中位數	平均值	第一四分位數(Q1)	最小值	標準差
521	1.93	1.21	0.97	1.03	0.90	0.25	0.21
522	1.22	0.95	0.87	0.84	0.76	0.61	0.12
523	1.42	0.95	0.89	0.86	0.76	0.60	0.13
525	1.34	0.96	0.89	0.87	0.77	0.25	0.16
526	1.77	0.99	0.93	0.95	0.80	0.51	0.18
527	1.32	0.95	0.79	0.84	0.74	0.52	0.15
528	1.31	0.95	0.89	0.86	0.74	0.60	0.15
529	1.32	0.96	0.90	0.88	0.77	0.28	0.17
530	1.30	0.90	0.77	0.80	0.72	0.56	0.14
531	1.26	0.90	0.77	0.81	0.73	0.56	0.12
532	1.28	0.93	0.79	0.83	0.73	0.21	0.15
533	1.31	0.91	0.78	0.83	0.73	0.28	0.16
535	181.76	0.92	0.78	3.56	0.73	0.00	18.23
536	1.30	0.94	0.81	0.84	0.74	0.00	0.14
537	1.34	0.96	0.89	0.87	0.76	0.60	0.15
1658	1.34	0.96	0.89	0.86	0.74	0.55	0.15
1659	1.37	0.96	0.90	0.88	0.76	0.59	0.15
1660	1.32	0.90	0.77	0.80	0.72	0.25	0.15
1661	1.34	0.95	0.89	0.85	0.76	0.60	0.13
1662	1.77	0.91	0.77	0.80	0.66	0.51	0.17
1663	1.34	0.96	0.90	0.88	0.77	0.54	0.14
1665	1.30	0.92	0.79	0.83	0.73	0.21	0.15
1666	1.30	0.96	0.79	0.85	0.73	0.25	0.18
1667	1.30	0.96	0.89	0.86	0.74	0.59	0.15
1668	1.83	0.96	0.90	0.88	0.76	0.59	0.17
1669	1.31	0.96	0.89	0.84	0.74	0.03	0.18
1670	1.29	0.93	0.79	0.84	0.73	0.51	0.15
1671	1.28	0.91	0.77	0.82	0.73	0.59	0.13
1673	1.32	0.96	0.90	0.88	0.76	0.09	0.18
總計	1.93	0.96	0.83	0.86	0.74	0.00	0.16

註：1.用電效率單位為 Km/kwh。

2.總計欄之各項數值為所有車輛一併計算，但不含部分資料異常的 535。

資料來源：本計畫彙整。



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.9 路線 R2 各駕駛每班次用電效率趨勢圖

表 3.3-11 路線 R2 各駕駛每班次用電效率表

駕駛代號	最大值	第三四分位數 (Q3)	中位數	平均值	第一四分位數 (Q1)	最小值	標準差
A	1.28	0.90	0.77	0.80	0.72	0.56	0.13
AA	1.83	0.96	0.50	0.89	0.76	0.59	0.17
AB	1.30	0.96	0.88	0.85	0.74	0.59	0.14
AC	1.26	0.90	0.77	0.81	0.73	0.56	0.12
AD	1.34	0.96	0.88	0.87	0.75	0.60	0.15
AE	1.28	0.90	0.77	0.79	0.72	0.25	0.13
AF	1.34	0.95	0.89	0.85	0.76	0.60	0.13

註：用電效率單位為 Km/kwh。

資料來源：本計畫彙整。

表 3.3-13 路線 R2 各駕駛每班次用電效率表(續 1)

駕駛代號	最大值	第三四分位數(Q3)	中位數	平均值	第一四分位數(Q1)	最小值	標準差
AG	1.19	0.96	0.89	0.89	0.78	0.60	0.14
AH	1.26	0.96	0.90	0.89	0.76	0.64	0.14
AI	1.32	0.97	0.90	0.89	0.77	0.56	0.17
AJ	1.77	0.91	0.77	0.80	0.66	0.51	0.17
B	1.30	0.96	0.79	0.85	0.73	0.39	0.17
C	1.30	0.95	0.89	0.85	0.74	0.59	0.13
D	0.98	0.91	0.77	0.79	0.70	0.60	0.13
E	1.34	0.95	0.79	0.84	0.74	0.55	0.15
F	1.93	1.21	0.98	1.04	0.90	0.72	0.20
G	1.06	0.98	0.88	0.84	0.66	0.60	0.20
H	1.31	0.96	0.90	0.87	0.76	0.60	0.15
I	1.29	0.92	0.78	0.83	0.73	0.55	0.15
J	1.34	0.95	0.85	0.86	0.74	0.60	0.14
K	1.32	0.96	0.79	0.85	0.73	0.55	0.15
L	1.28	0.93	0.79	0.83	0.73	0.54	0.15
M	1.77	0.96	0.80	0.87	0.74	0.56	0.18
N	1.32	0.96	0.78	0.87	0.72	0.63	0.19
O	1.34	0.96	0.90	0.89	0.77	0.60	0.14
P	1.30	0.92	0.78	0.83	0.72	0.52	0.15
Q	1.42	0.96	0.89	0.86	0.76	0.60	0.13
R	181.76	0.92	0.78	3.49	0.73	0.00	18.02
S	1.31	0.91	0.78	0.83	0.73	0.28	0.16
T	1.37	0.96	0.90	0.87	0.75	0.59	0.15
U	1.22	0.95	0.79	0.83	0.74	0.28	0.13
V	1.32	0.99	0.93	0.96	0.88	0.64	0.17
W	1.32	0.97	0.90	0.88	0.76	0.59	0.17
X	1.28	0.91	0.77	0.81	0.73	0.59	0.12
Y	1.31	0.96	0.90	0.85	0.74	0.03	0.18
Z	1.30	0.92	0.78	0.83	0.73	0.60	0.14
總計	1.93	0.96	0.86	0.86	0.74	0.03	0.16

註：1.用電效率單位為 Km/kwh。

2.總計欄之各項數值為所有駕駛一併計算，但不含部分駕駛資料遺漏之班次以及部分資料異常的駕駛 R。

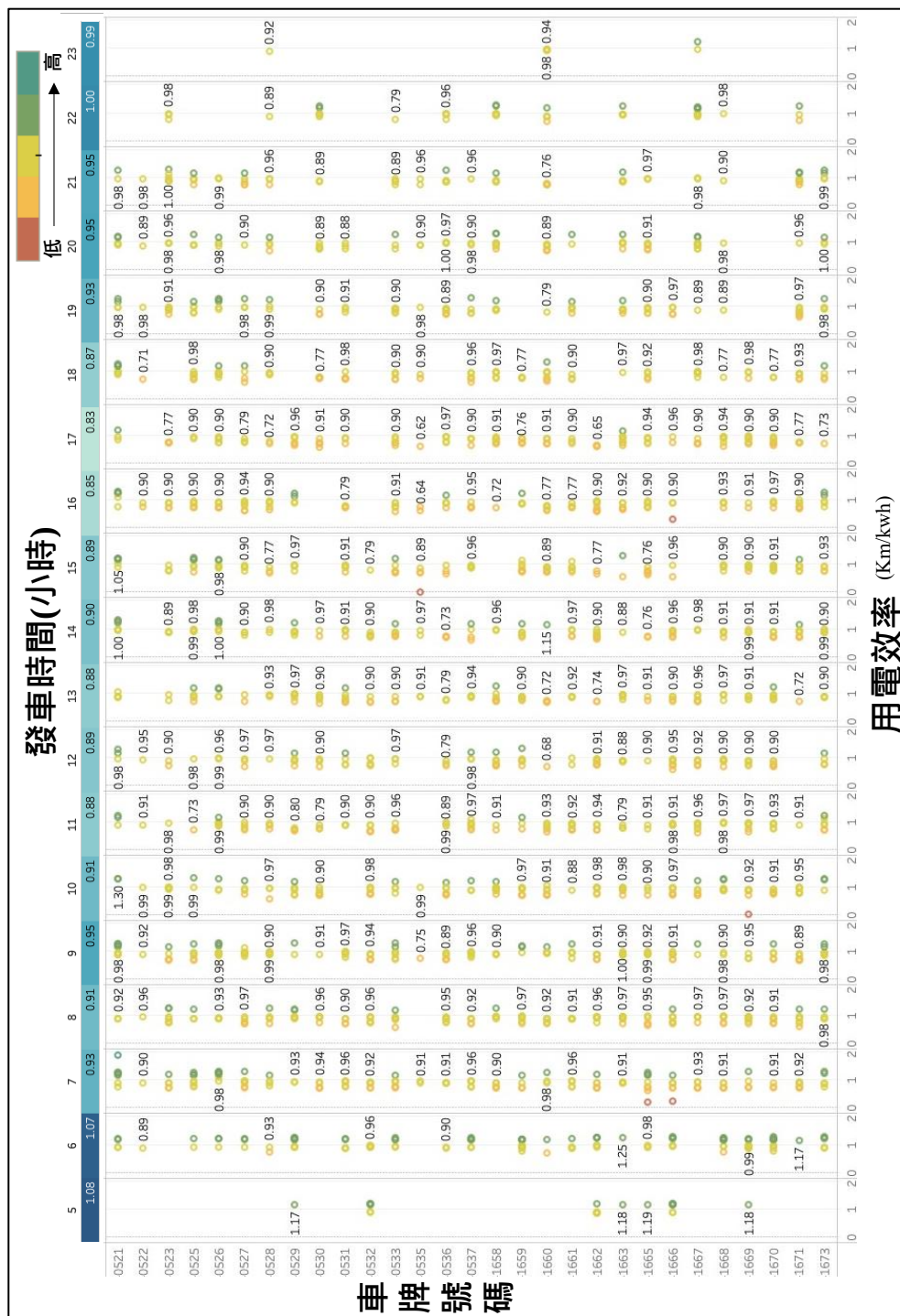
資料來源：本計畫彙整。

B. 各車輛及駕駛分時用電效率分析

在分時用電效率部分，本計畫採用該月份其中一周之各車輛班次用電資料，並以各車輛及駕駛分時進行用電效率分時趨勢分析，分析結果如圖 3.3.10 及圖 3.3.11 所示。

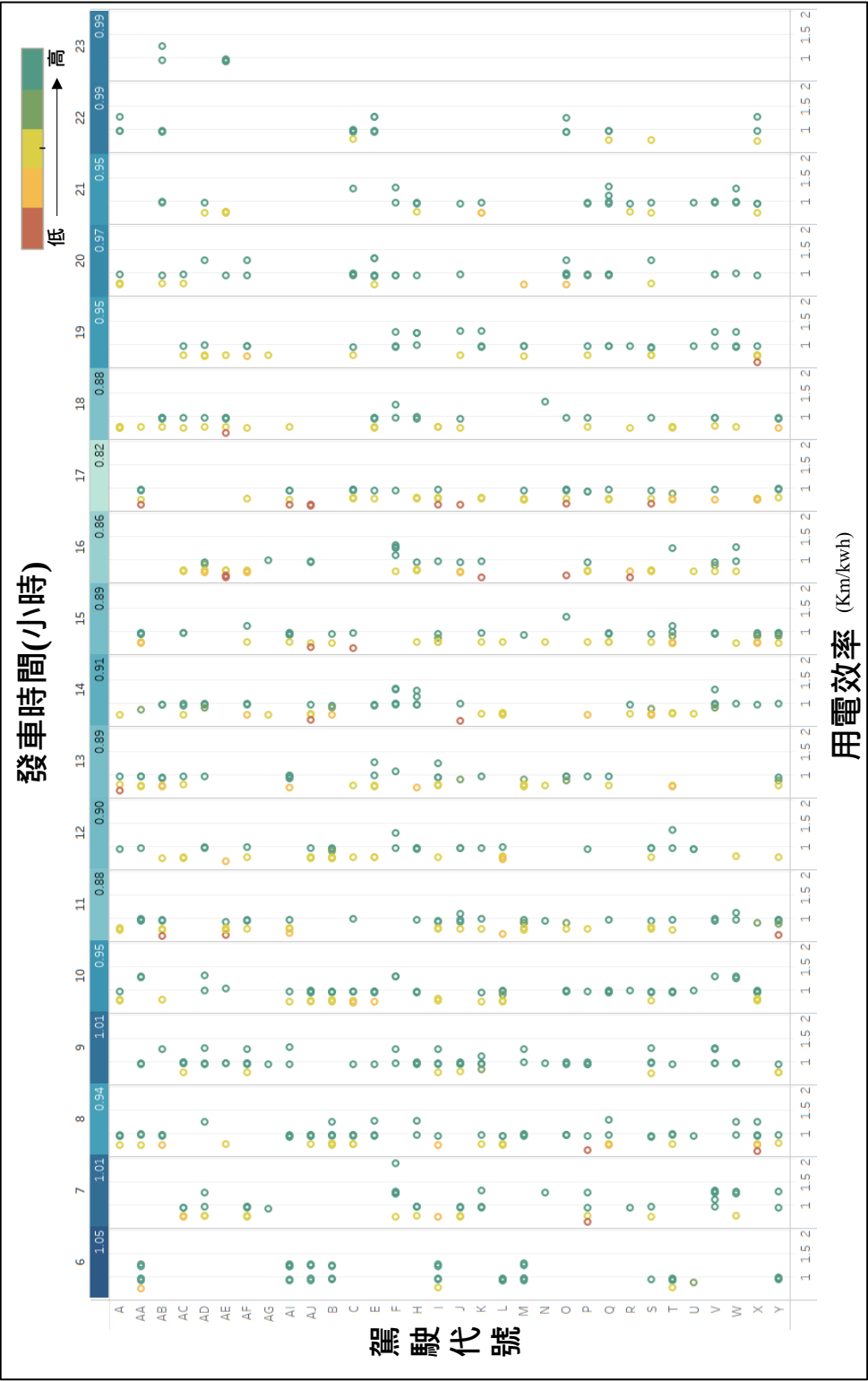
整體而言，去除異常值後，以上午 5~6 點及晚上 22~23 點發車之班次，平均用電效率有比較高的趨勢。相對於上午尖峰(7 點、8 點)，下午尖峰(16 點、17 點)發車班次，為平均用電效率偏低的時段。

若以各駕駛分時之各班次用電效率進行分析，可以觀察到亦是以上午尖峰以及下午尖峰發車之班次平均用電效率較低，尤其以下午尖峰時段最低，此現象與各車輛分時之用電效率分析結果一致。



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.10 路線 R2 各車輛每班次分時用電效率趨勢圖



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.11 路線 R2 各駕駛每班次分時用電效率趨勢圖

③每班次 SOC 使用量分析

在每班次 SOC 使用量趨勢部分，亦採用與分時用電效率分析同時段之資料，以各班次之發車時間進行每班次 SOC 使用量趨勢分析，分析結果如圖 3.3.12 所示。

在各車輛 SOC 使用量部分，以車輛 535、1669 之資料異常較多，而車輛 522、535、1663 之各時段變動幅度亦較大，其他車輛之極端值則無明顯趨勢。

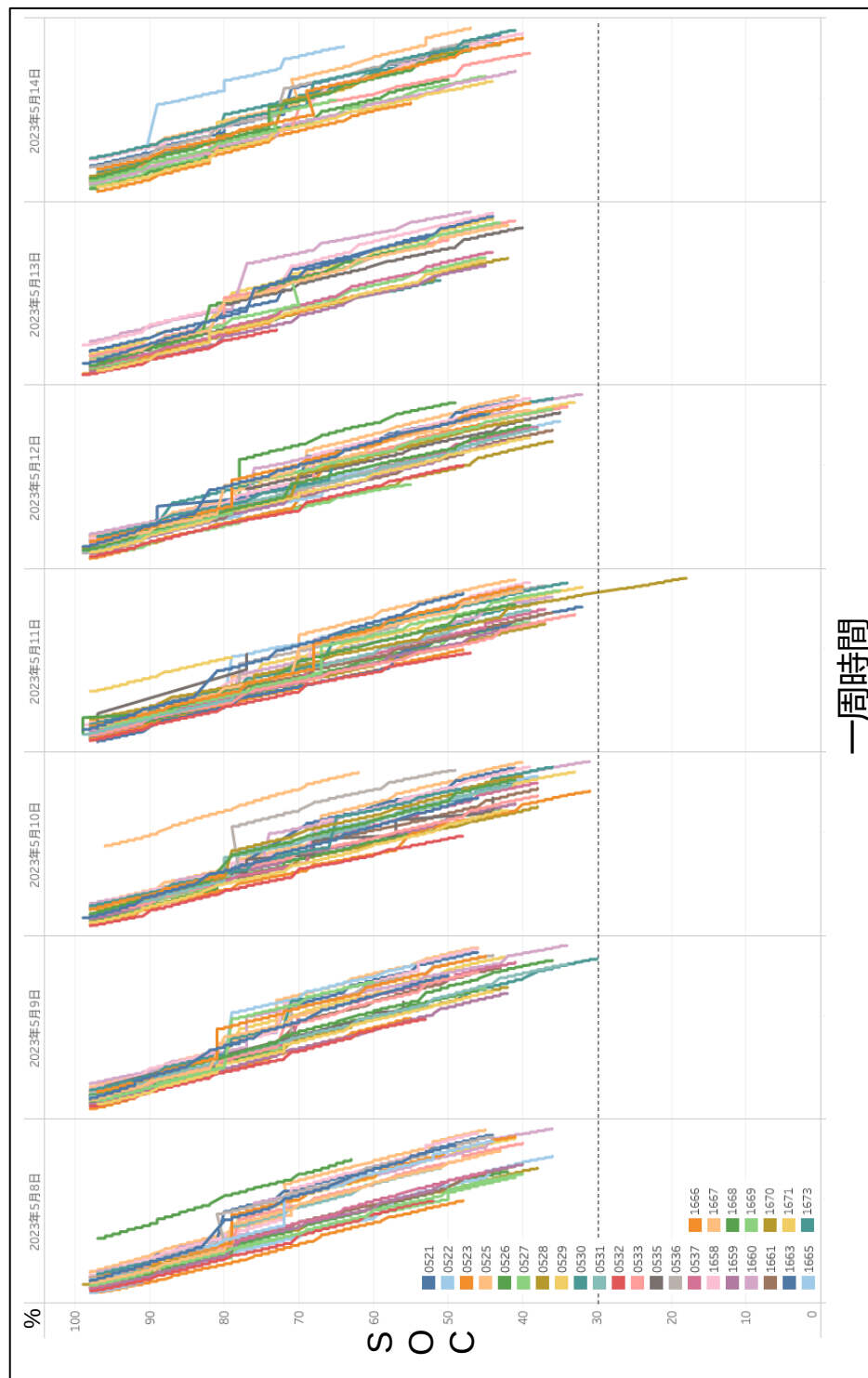
在分時 SOC 使用量部分，平均班次 SOC 使用量介於 3.39%~4.53%間，路線 R2 之尖離峰 SOC 使用量變化相對於路線 R1 而言較不明顯。

④SOC 變化趨勢分析

在各車輛 SOC 變化趨勢部分，本計畫亦採用與分時用電效率分析同時段之資料，針對各車輛 SOC 變化進行完整一周分時分析，如圖 3.3.13 所示。

路線 R2 所使用之車輛，其車廠業者建議的安全電量為 SOC 介於 20~30%，每輛車平均每日行駛車次為 5~6 趟，而多數車輛至收班時之剩餘 SOC 可高於 30%，觀察一周之資料，僅有車輛 0528 有一日收班之剩餘 SOC 僅剩 18%，該現象與該車輛全日行駛 7 趟次，且未於日間進行補電有關。

另與業者了解，部分車輛中午過後始首發班次，主要原因為車輛進行二級保養；另部分車輛全日行駛趟次數高於均值，主要原因為滿足示範計畫路線車輛年行駛里程下限要求進行派車調度所致。



註：SOC 軌跡上升僅代表車輛開機到下次開機 SOC 變化，斜率不代表充電斜率。

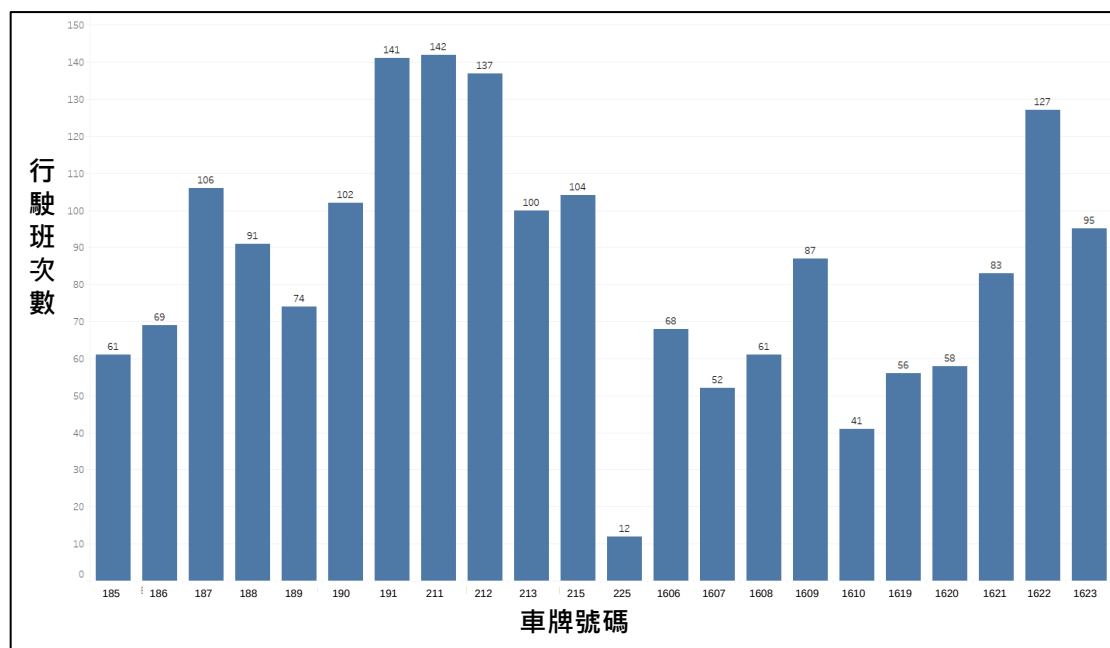
資料來源：本計畫繪製。

(3)路線 R3

本計畫蒐集 2023 年 7 月份路線 R3 之車機設備數據資料，扣除 1 輛全月未接收到資料之車輛，實際分析車輛共計 22 輛，並以 TDX A2 動態定點資料萃取行駛於該路線上之車機資料共計 2,553,898 筆(傳輸頻率為每 5 秒 1 筆)，全月分析之班次數為 1,867 班次，因本路線尚未與營運業者取得駕駛班表，故路線 R3 之分析僅含車輛班次，未納入駕駛部分。

①各車輛行駛班次數統計

路線 R3 該月份各車輛班次統計如圖 3.3.14 所示，可以觀察路線 R3 各車輛排班數量差異較大。



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.14 路線 R3 各車輛行駛班次數統計圖

②每班次用電效率分析

因應車機數據資料有部分班次遺漏相關用電資料，故用電分析部分已先行扣除資料缺漏之班次(共 7 班)，遺漏班次如表 3.3-12 所示。

表 3.3-12 路線 R3 用電資料遺漏班次對照表

車牌號碼	用電資料遺漏班次數	車牌號碼	用電資料遺漏班次數
186	1	1621	1
190	1	1622	2
211	1	總計	7
1619	1		

資料來源：本計畫彙整。

本計畫分析之各車輛每班次用電效率統計，如表 3.3-13 所示，相關分布趨勢圖則可參考圖 3.3.15。

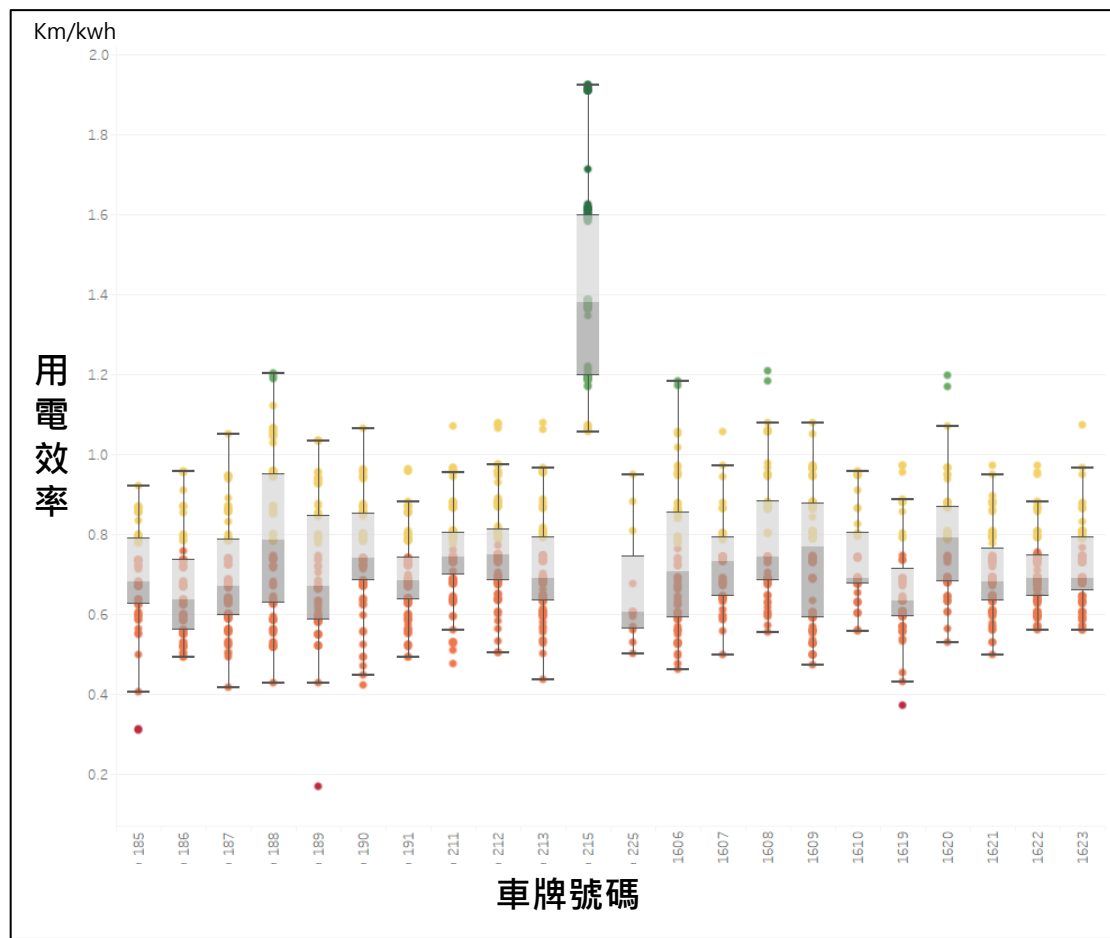
表 3.3-13 路線 R3 各車輛每班次用電效率表

車牌號碼	最大值	第三四分位數(Q3)	中位數	平均值	第一四分位數(Q1)	最小值	標準差
185	0.92	0.78	0.68	0.69	0.63	0.31	0.13
186	0.96	0.73	0.64	0.67	0.56	0.49	0.12
187	1.05	0.76	0.67	0.69	0.60	0.42	0.13
188	1.20	0.95	0.79	0.79	0.63	0.43	0.19
189	1.03	0.85	0.67	0.71	0.59	0.17	0.16
190	1.07	0.80	0.74	0.75	0.68	0.42	0.12
191	0.96	0.74	0.68	0.70	0.64	0.49	0.10
211	1.07	0.80	0.74	0.76	0.71	0.48	0.10
212	1.08	0.81	0.75	0.77	0.68	0.50	0.11
213	1.08	0.79	0.69	0.71	0.63	0.44	0.12
215	1.93	1.60	1.38	1.44	1.21	1.06	0.24
225	0.95	0.71	0.60	0.66	0.57	0.50	0.15
1606	1.18	0.85	0.71	0.73	0.59	0.46	0.17
1607	1.06	0.79	0.73	0.73	0.64	0.50	0.11
1608	1.21	0.88	0.74	0.80	0.69	0.55	0.16
1609	1.08	0.88	0.79	0.75	0.59	0.47	0.16
1610	0.96	0.80	0.69	0.74	0.68	0.56	0.12
1619	0.97	0.71	0.63	0.66	0.59	0.37	0.13
1620	1.20	0.87	0.79	0.79	0.68	0.53	0.14
1621	0.97	0.77	0.69	0.70	0.64	0.50	0.10
1622	0.97	0.75	0.69	0.71	0.64	0.56	0.10
1623	1.07	0.79	0.69	0.72	0.66	0.56	0.10
總計	1.93	0.81	0.73	0.77	0.64	0.17	0.21

註：1.用電效率單位為 Km/kwh。

2.總計欄之各項數值為所有車輛一併計算。

資料來源：本計畫彙整。



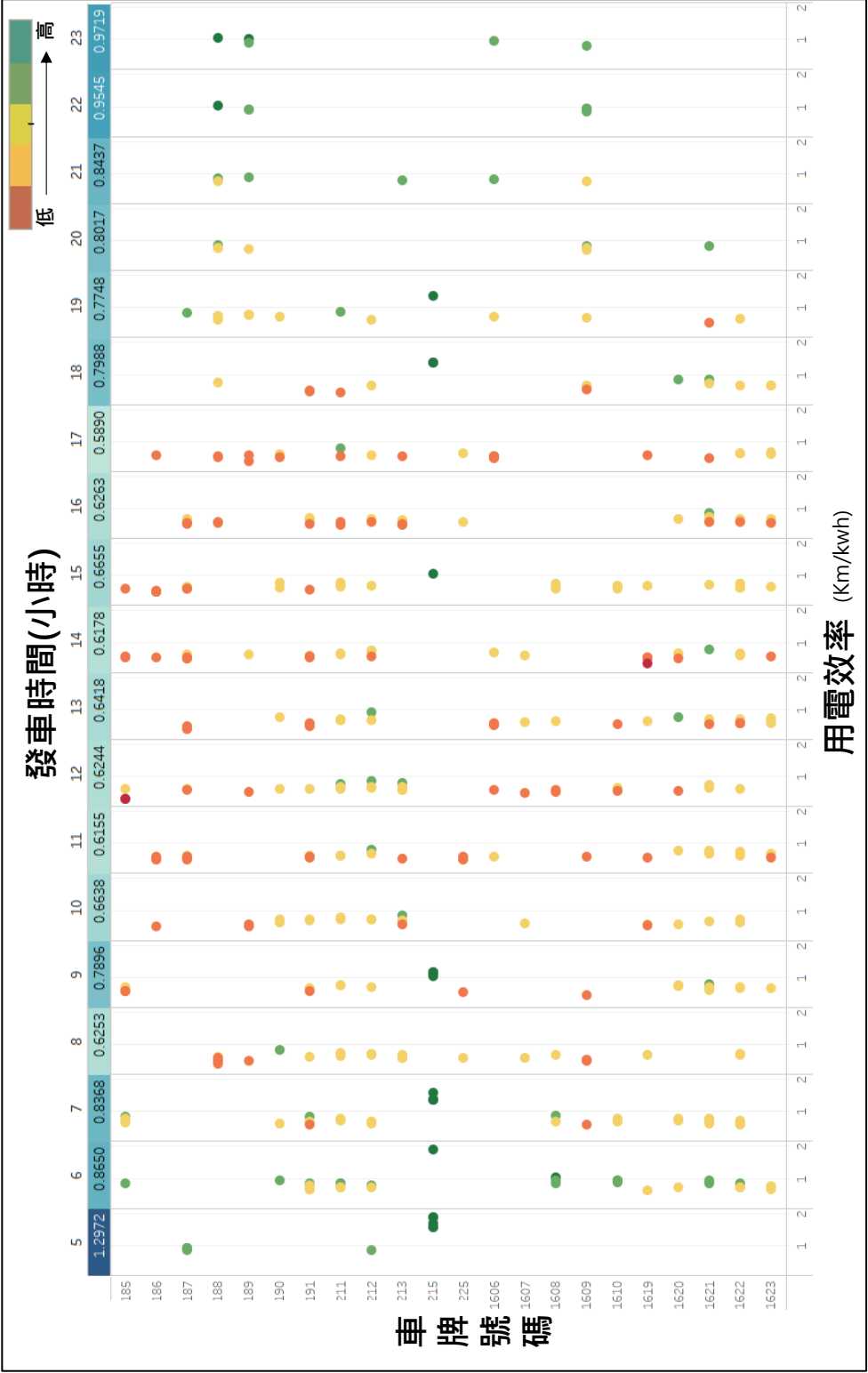
資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.15 路線 R3 各車輛每班次用電效率趨勢圖

在車輛用電效率分析部分，除了車輛 215 用電效率普遍較高外，其他車輛之用電效率峰態趨勢相同。所有車輛之用電效率平均值為 0.77km/kwh。

在分時用電效率部分，本計畫採用該月份其中一周之各車輛班次用電資料，並以各班次之發車時間進行用電效率分時趨勢分析，分析結果如圖 3.3.16 所示。

整體而言，以上午 5~6 點及晚上 22~23 點發車之班次，平均用電效率有比較高的趨勢。相對於上午尖峰(8 點)，下午尖峰(16 點、17 點)發車班次，為平均用電效率偏低的時段。



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.16 路線 R3 每班次分時用電效率趨勢圖

③每班次 SOC 使用量分析

在每班次 SOC 使用量趨勢部分，亦採用與分時用電效率分析同時段之資料，以各班次之發車時間進行每班次 SOC 使用量趨勢分析，分析結果如圖 3.3.17 所示。

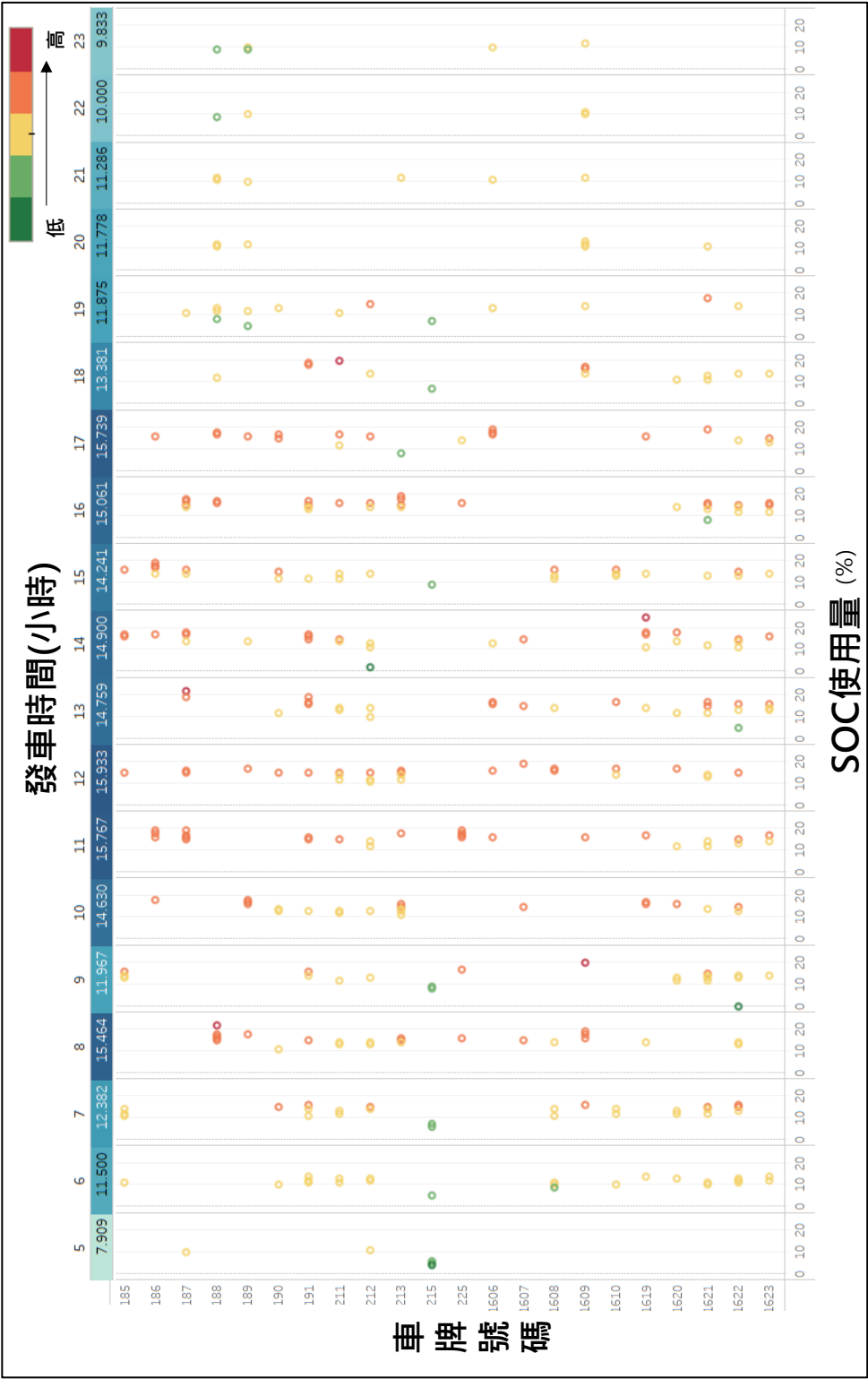
在各車輛 SOC 使用量部分，以車輛 215 之 SOC 使用量較低外，其他車輛之極端值則無明顯趨勢。

在分時 SOC 使用量部分，上午 5 點及夜間 23 點發車班次，平均 SOC 使用量明顯較低；下午尖峰(16 點、17 點)發車班次，平均 SOC 使用量較高，但與日間其他時段差異不大。

④SOC 變化趨勢分析

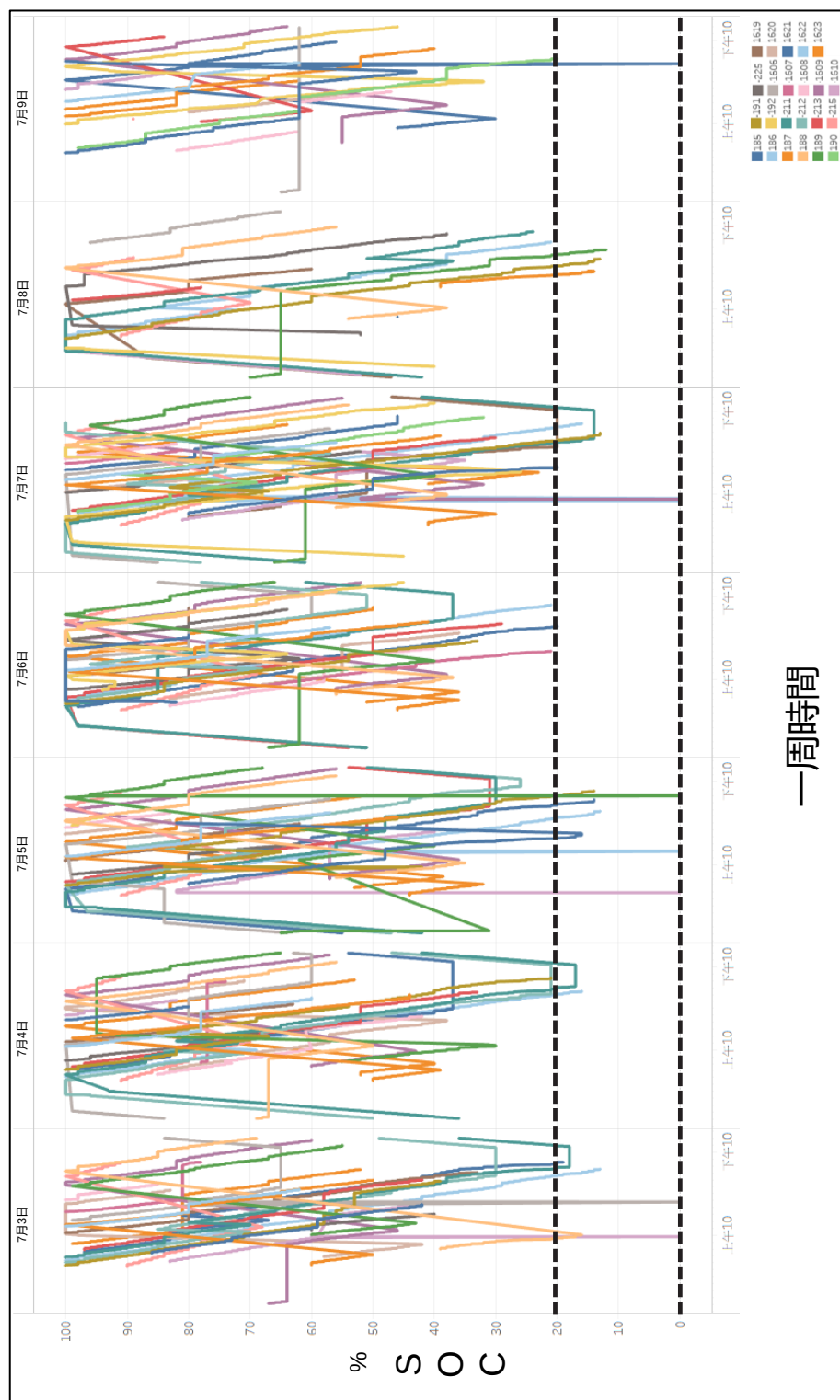
在各車輛 SOC 變化趨勢部分，本計畫亦採用與分時用電效率分析同時段之資料，針對各車輛 SOC 變化進行完整一周分時分析，如圖 3.3.18 所示。

路線 R3 所使用之車輛，其車廠業者建議的安全電量為 SOC 介於 20~30%，多數車輛至收班時之剩餘 SOC 可高於 20%，僅有部分車輛(185、187、188、189、191、211、1621、1622)有部分天數出現收班時 SOC 低於 20%，此外，亦有部分車輛(191、1606、1610、1621、1622)有部分天數出現 SOC 資料有出現短時間歸 0 之情形，經與業者了解，係因車輛進入充電調度站後，駕駛會關閉車輛電源，資料傳輸上有紀錄時間差，致使部分資料出現瞬間歸 0，紀錄於下次電源開啟時恢復正常，如圖 3.3.19 所示。



資料來源：本計畫繪製。

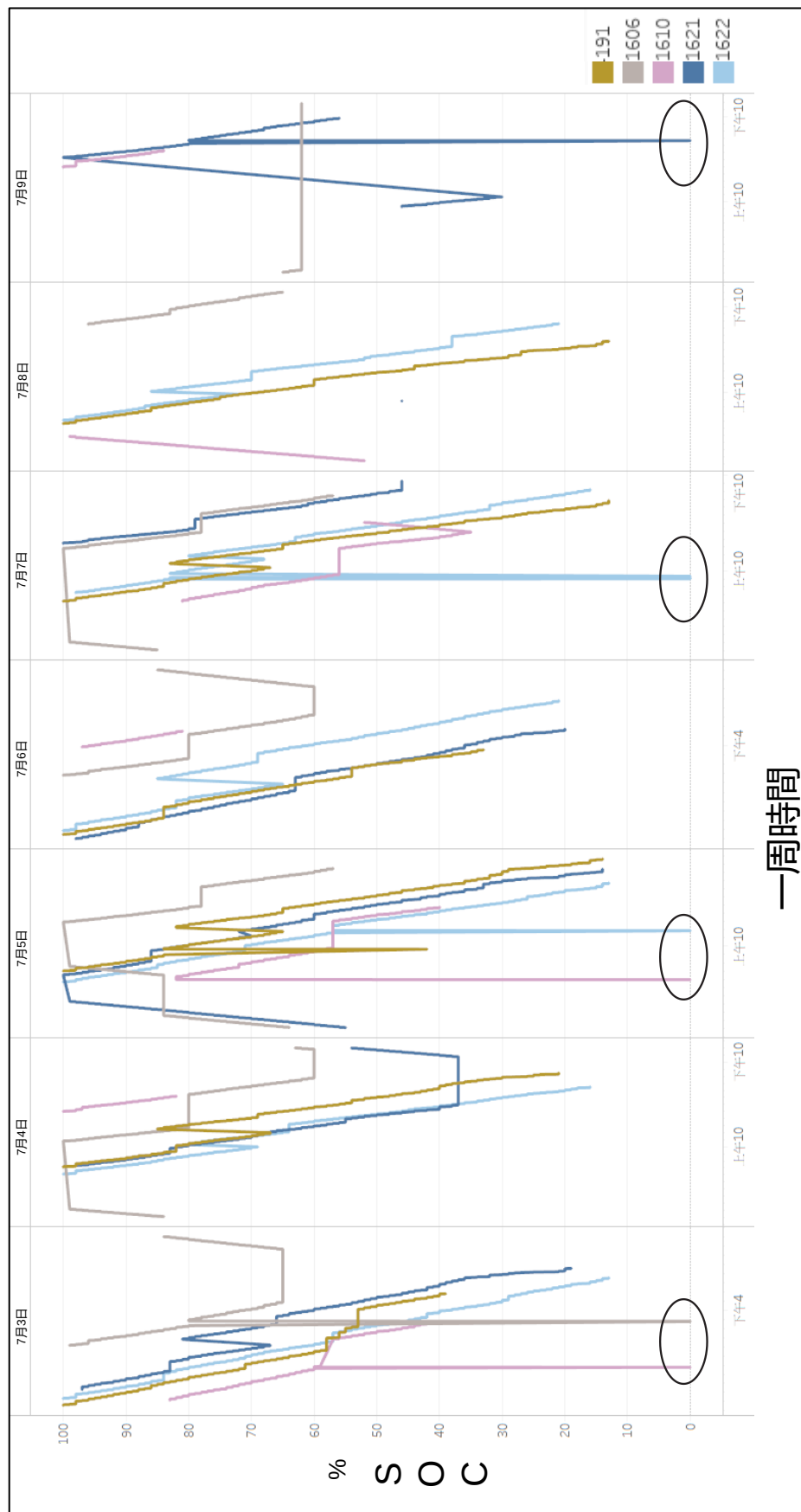
圖 3.3.17 路線 R3 每班次分時 SOC 使用量趨勢圖



註：SOC 軌跡上升僅代表車機關機到下次開機 SOC 變化，斜率不代表充電斜率。

資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.18 路線 R3 各車輛一周 SOC 變化趨勢圖



2.班次發車起始 SOC 資料分析

根據前述各路線車機數據分析結果，可以觀察到各路線多數昏峰時段班次用電效率較低，且多數車輛經過日間班次行駛後，昏峰時段班次之剩餘 SOC 狀態普遍較低，考量發車起始電量(該班次發車當下之車輛 SOC 狀態)亦可能對於該班次之用電效率以及 SOC 使用量產生影響，本計畫再取得 R3 路線 2023 年 2~8 月份車機數據資料，針對平日班次之發車起始電量對用電效率及 SOC 使用量進行分析。

本計畫蒐集 2023 年 2~8 月份路線 R3，共計 11,415 班次之車機設備數據資料，並以 TDX A2 動態定點資料萃取行駛於該路線上之車機資料共計 15,415,380 筆(傳輸頻率為每 5 秒 1 筆)。

(1)每班次用電效率分析

本計畫利用車機數據資料，計算平日各班次之用電效率，並考量季節以及時段等可能影響因素，分別針對各季節以及尖峰/非尖峰時段進行各電量區間之班次用電效率分析，並說明如下。

①各季節班次用電效率分析

分別針對冬季(2~3 月)、春季(4~5 月)以及夏季(6~8 月)進行各班次發車起始電量區間之用電效率分析，藉此探討季節對於班次用電效率之影響。

A.冬季班次用電效率分析

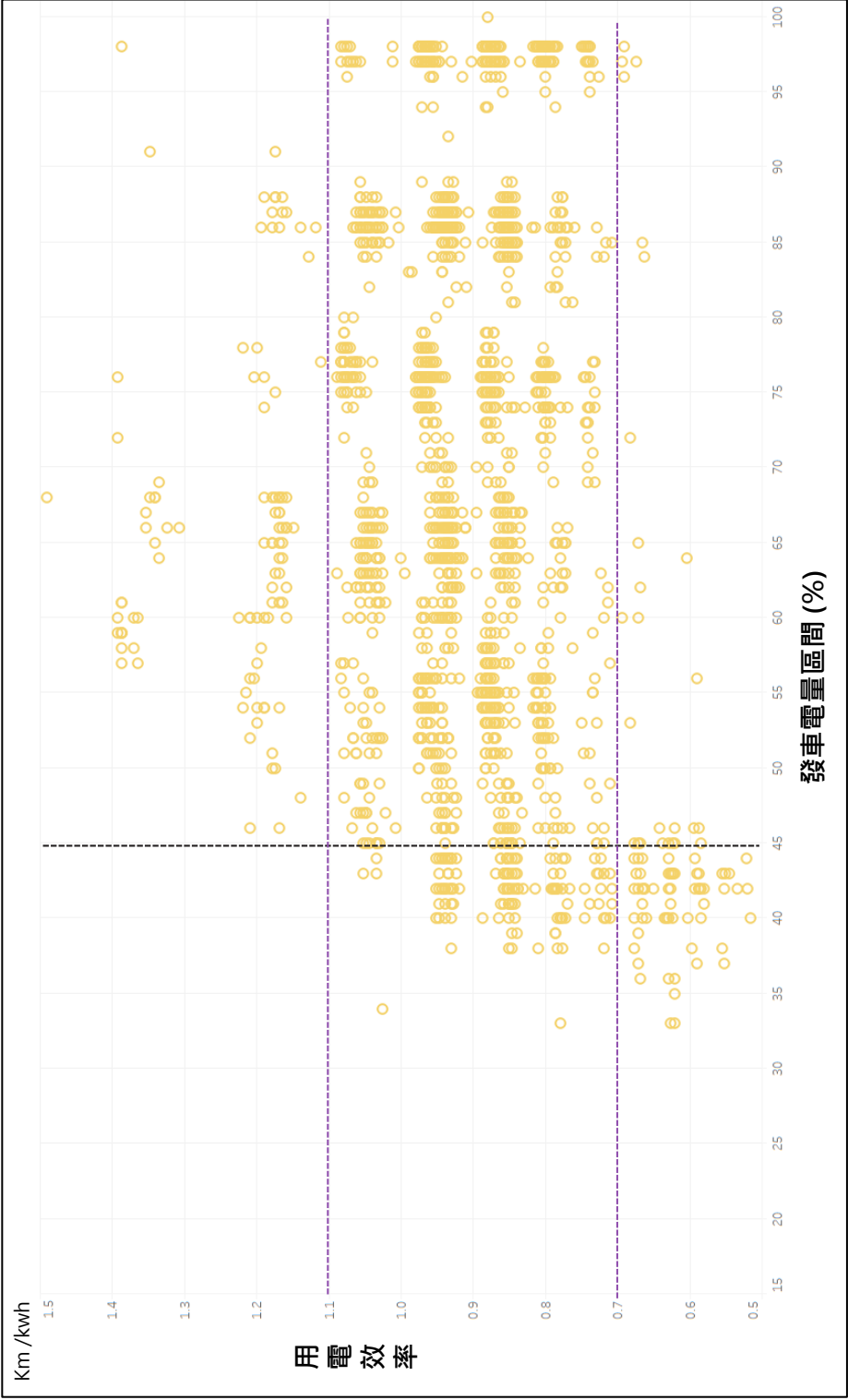
冬季之班次用電效率多數介於 0.7~1.1 km/kwh，平均用電效率約為 1.14 km/kwh，發車起始電量位於 45%~100%之班次，各用電效率分布差異不大，部分班次用電效率可高於 1.3 km/kwh；發車電量低於 45%之班次，用電效率明顯較低，且有不少班次低於 0.7 km/kwh，相關分布趨勢圖可參考圖 3.3.20。

B.春季班次用電效率分析

春季之班次用電效率多數介於 0.6~1.1 km/kwh，平均用電效率約為 0.91 km/kwh，整體略低於冬季班次，發車起始電量位於 45%~100%之班次，各用電效率分布差異不大，部分班次用電效率高於 1.2 km/kwh；發車電量低於 45%之班次，用電效率明顯較低，且有不少班次低於 0.6 km/kwh，相關分布趨勢圖可參考圖 3.3.21。

C.夏季班次用電效率分析

夏季之班次用電效率多數介於 0.5~1.0 km/kwh，平均用電效率約為 0.78 km/kwh，顯著低於冬季及春季，發車起始電量位於 45%~100%之班次，各用電效率分布差異不大，但以發車電量高於 65%之班次略佳，有部分班次可高於 1.3 km/kwh；發車電量低於 40%之班次，用電效率明顯較低，幾乎所有班次皆低於 0.8 km/kwh，相關分布趨勢圖可參考圖 3.3.22。



註：本圖表呈現已過濾部分資料明顯異常之極端值。

資料來源：本計畫繪製。

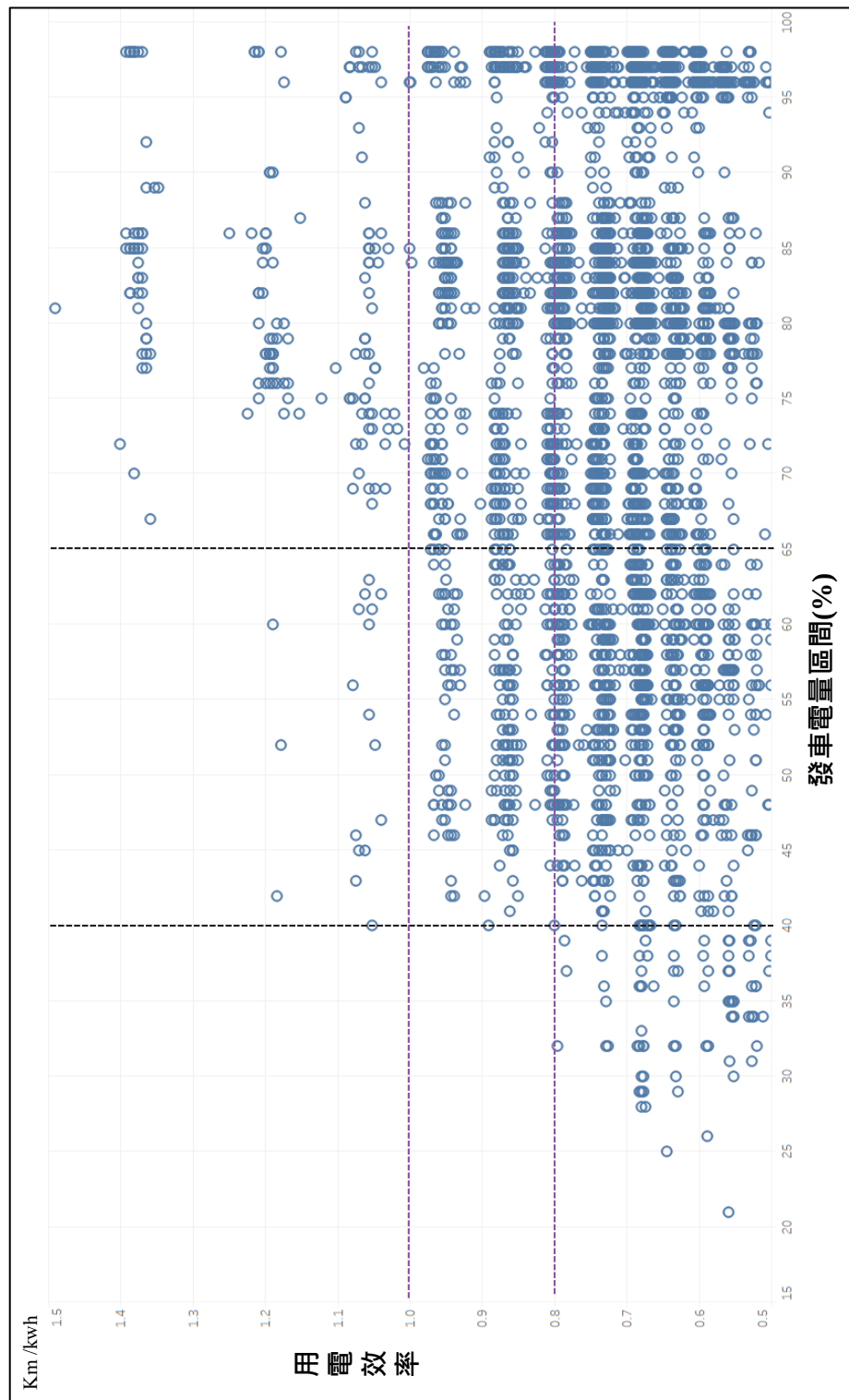
圖 3.3.20 班次發車起始電量-用電效率分布圖(冬季)



註：本圖表呈現已過濾部分資料明顯異常之極端值。

資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.21 班次發車起始電量-用電效率分布圖(春季)



註：本圖表呈現已過濾部分資料明顯異常之極端值。

資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.22 班次發車起始電量-用電效率分布圖(夏季)

②尖峰/非尖峰時段班次用電效率分析

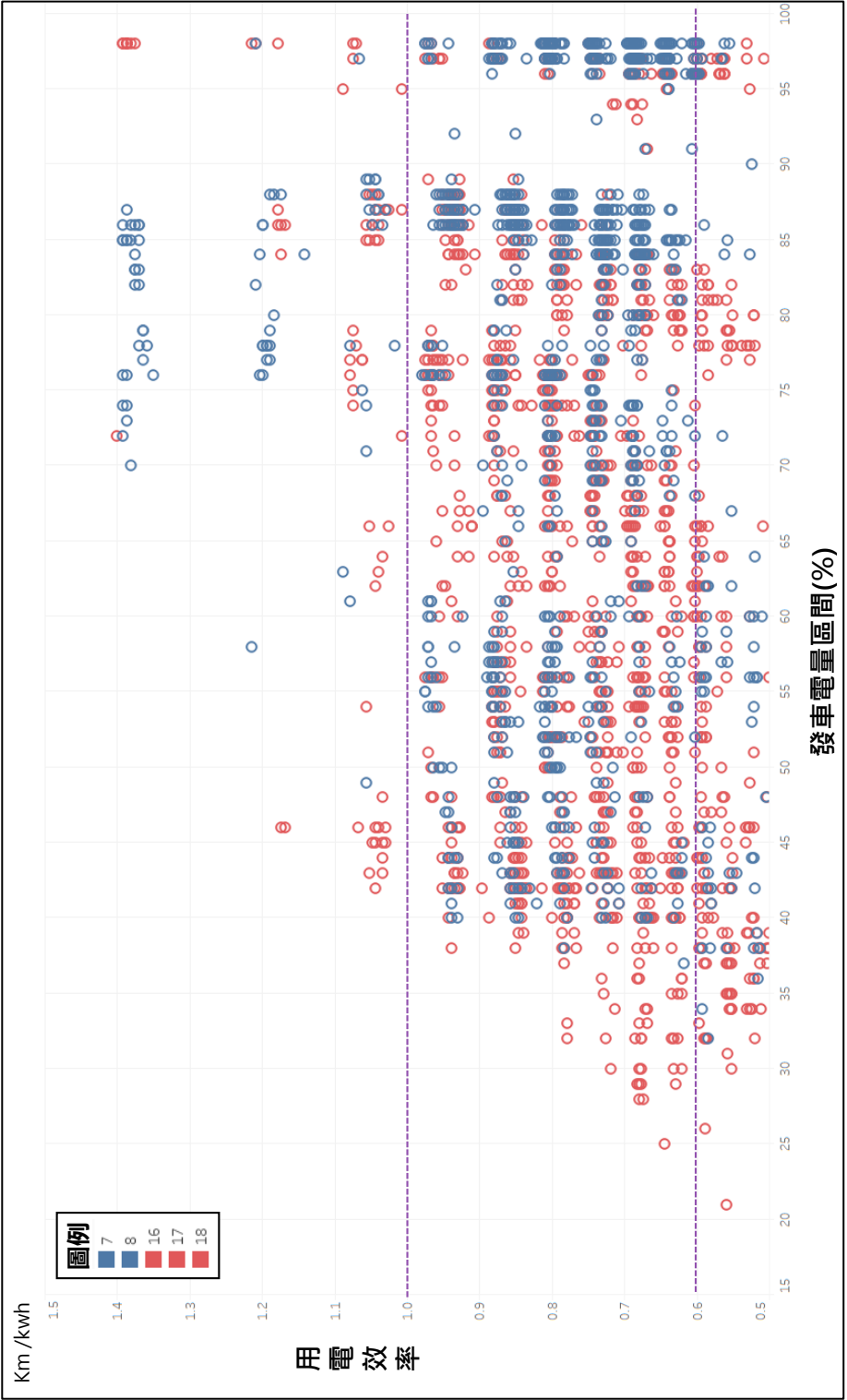
本計畫分別針對平日尖峰時段(晨峰 7~8 點、昏峰 16~18 點)以及非尖峰時段進行各班次發車起始電量之用電效率分析，藉此探討平日各時段對於班次用電效率之影響。

A.尖峰時段班次用電效率分析

晨峰(7、8 點)及昏峰(16~18 點)時段之班次用電效率多數介於 0.6~1.0 km/kwh，各月份晨峰、昏峰平均用電效率約為 0.84 以及 0.81 km/kwh，亦因晨峰發車之班次起始電量普遍較充足，相較昏峰班次之電量高，部分發車電量較高之晨峰時段班次，用電效率相對亦較佳，此分析結果亦與季節性分析時，所觀察到發車電量較高的班次普遍用電效率較佳一致，相關分布趨勢圖可參考圖 3.3.23。

B.非尖峰時段班次用電效率分析

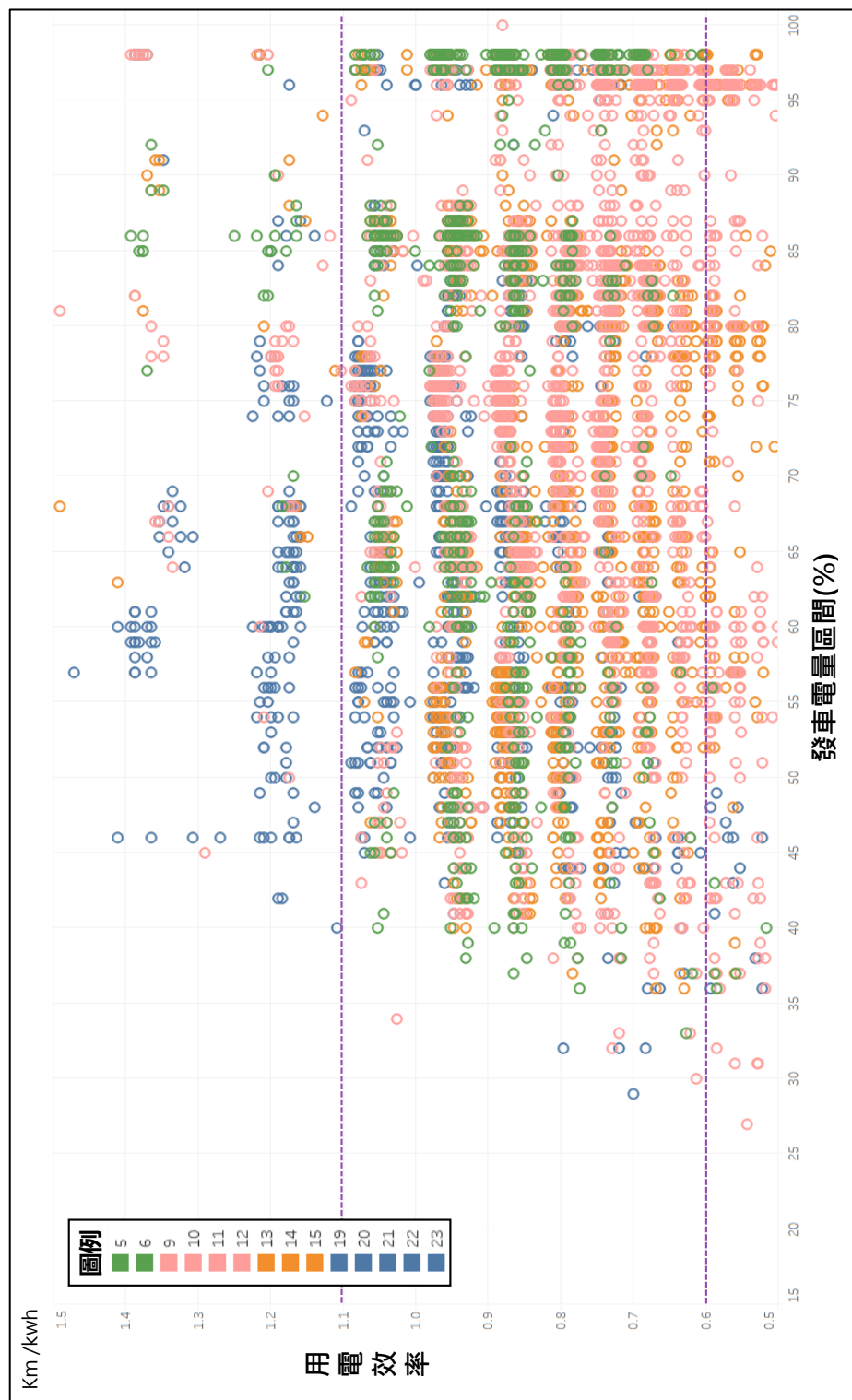
非尖峰時段之班次用電效率多數介於 0.6~1.1 km/kwh，平均用電效率約為 0.93 km/kwh，相對較尖峰時段高，日間時段(9~15 點)因受溫度影響，用電效率普遍較清晨(5-6 點)及夜間(19-23 點)時段低；夜間時段用電效率最佳，多數班次可高於 1 km /kwh，相關分布趨勢圖可參考圖 3.3.24。



註：本圖表呈現已過濾部分資料明顯異常之極端值。

資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.23 班次發車起始電量-用電效率分布圖(尖峰時段)



註：本圖表呈現已過濾部分資料明顯異常之極端值。

資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.24 班次發車起始電量-用電效率分布圖(非尖峰時段)

(2)每班次 SOC 使用量分析

本計畫利用車機數據資料計算平日各班次之 SOC 使用量，並考量季節以及時段等可能影響因素，分別針對各季節及尖峰/非尖峰時段進行班次發車起始電量對於 SOC 使用量分析，說明如下。

①各季節班次 SOC 使用量分析

分別針對冬季(2~3 月)、春季(4~5 月)以及夏季(6~8 月)進行各班次發車起始電量之 SOC 使用量分析，藉此探討季節對於班次 SOC 使用量之影響。

A.冬季班次 SOC 使用量分析

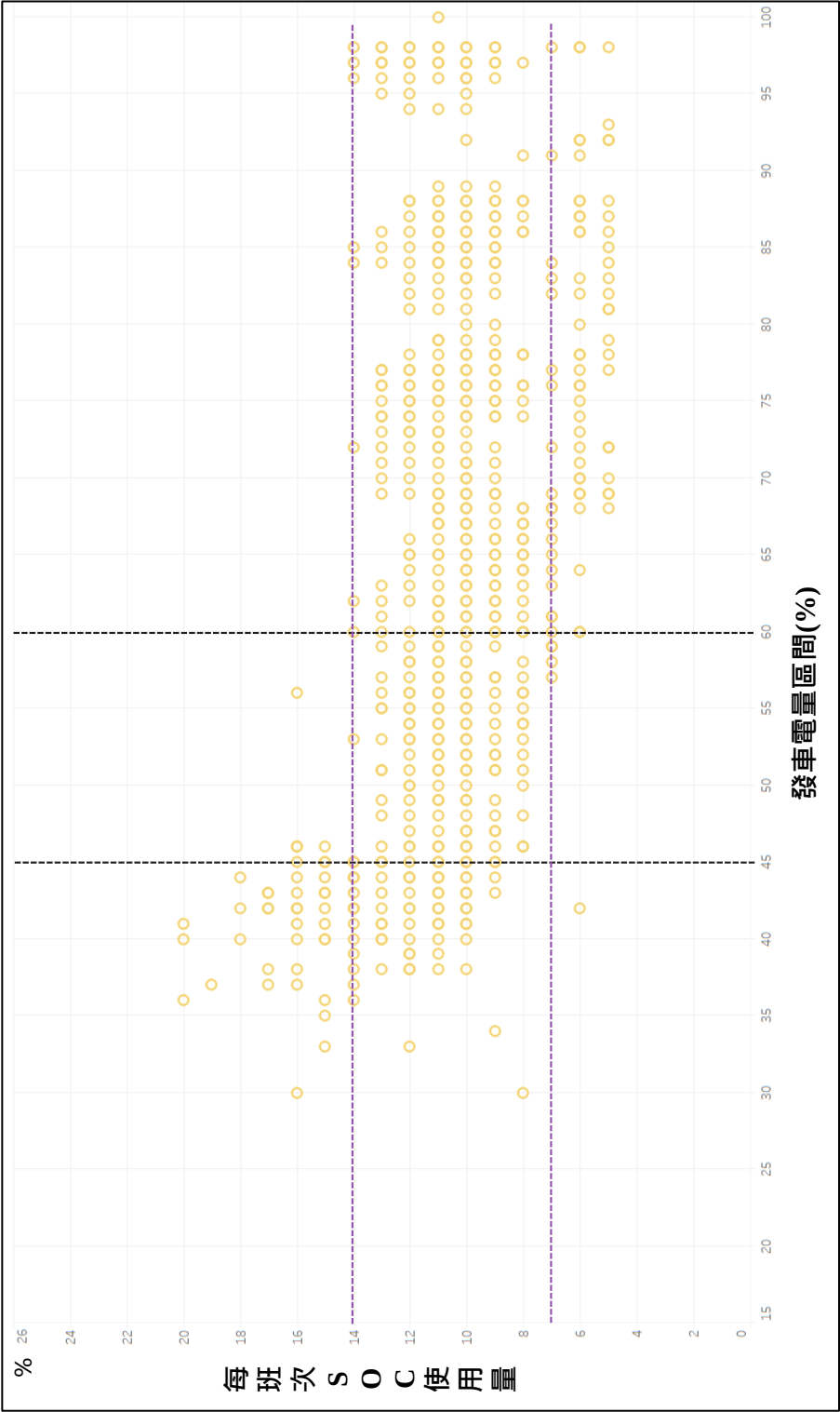
冬季之班次 SOC 使用量普遍介於 7~14%，平均使用量約為 10.33%，發車電量位於 60%~100%之班次，各 SOC 使用量分布差異不大，部分班次 SOC 使用量低於 7%；發車電量低於 45%之班次，各班次 SOC 使用量普遍較高，且有不少班次使用量高於 15%，相關分布趨勢圖可參考圖 3.3.25。

B.春季班次 SOC 使用量分析

春季之班次 SOC 使用量普遍介於 7~16%，平均使用量約為 10.79%，略高於冬季班次，發車電量位於 60%~100%之班次，各 SOC 使用量分布差異不大，部分班次 SOC 使用量低於 7%；發車電量低於 45%之班次，各班次 SOC 使用量普遍較高，且有不少班次使用量高於 17%，相關分布趨勢圖可參考圖 3.3.26。

C.夏季班次 SOC 使用量分析

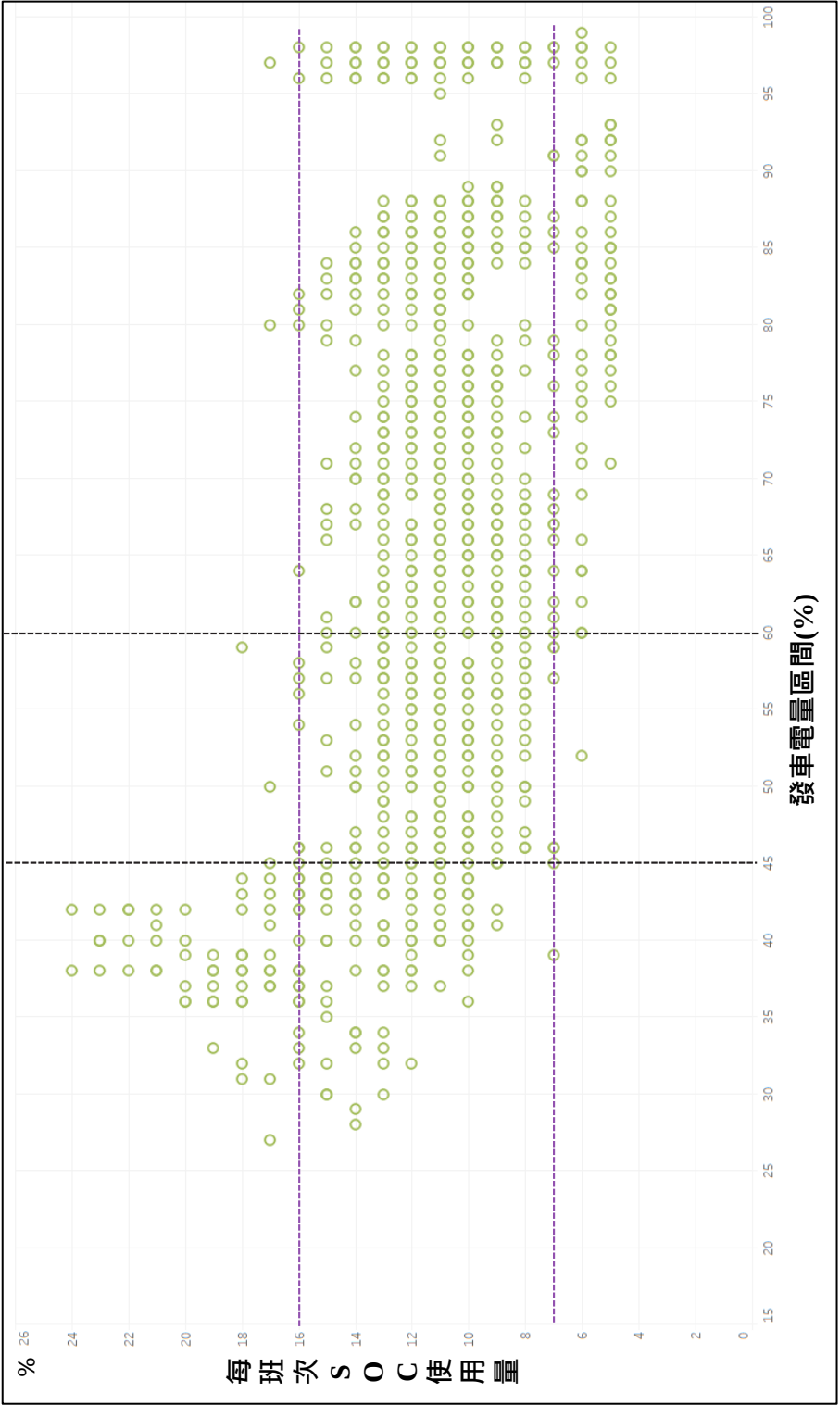
冬季之班次 SOC 使用量普遍介於 7~14%，平均使用量約為 12.86%，發車起始電量位於 60%~100%之班次，各 SOC 使用量分布差異不大，部分班次 SOC 使用量低於 7%；發車電量低於 45%之班次，各班次 SOC 使用量普遍較高，且有不少班次使用量高於 15%，相關分布趨勢圖可參考圖 3.3.27。



註：本圖表呈現已過濾部分資料明顯異常之極端值。

資料來源：本計畫繪製。

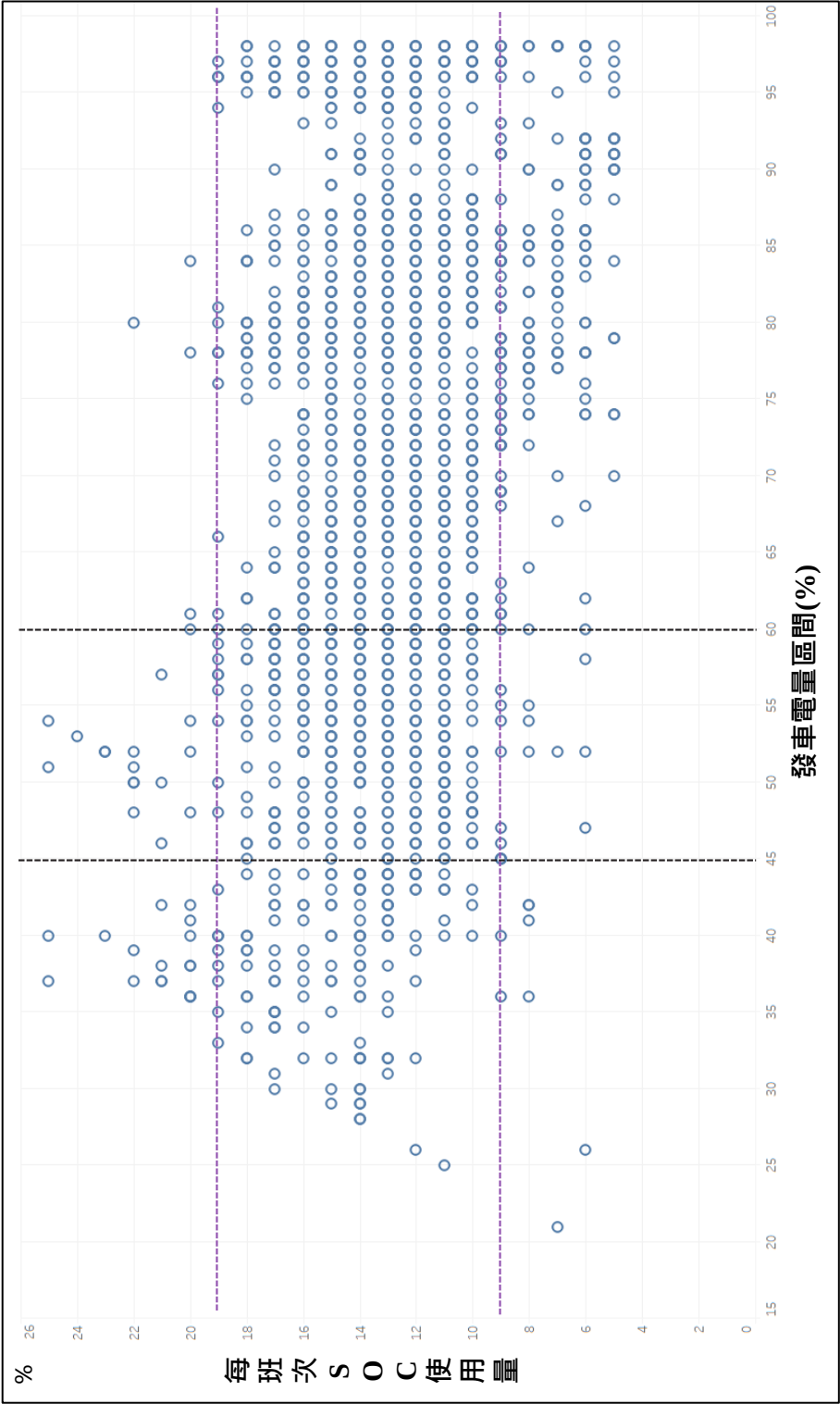
圖 3.3.25 班次發車起電量-SOC 使用量分布圖(冬季)



註：本圖表呈現已過濾部分資料明顯異常之極端值。

資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.26 班次發車起始電量-SOC 使用量分布圖(春季)



註：本圖表呈現已過濾部分資料明顯異常之極端值。

資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.27 班次發車起始電量-SOC 使用量分布圖(夏季)

②尖峰/非尖峰時段班次 SOC 使用量分析

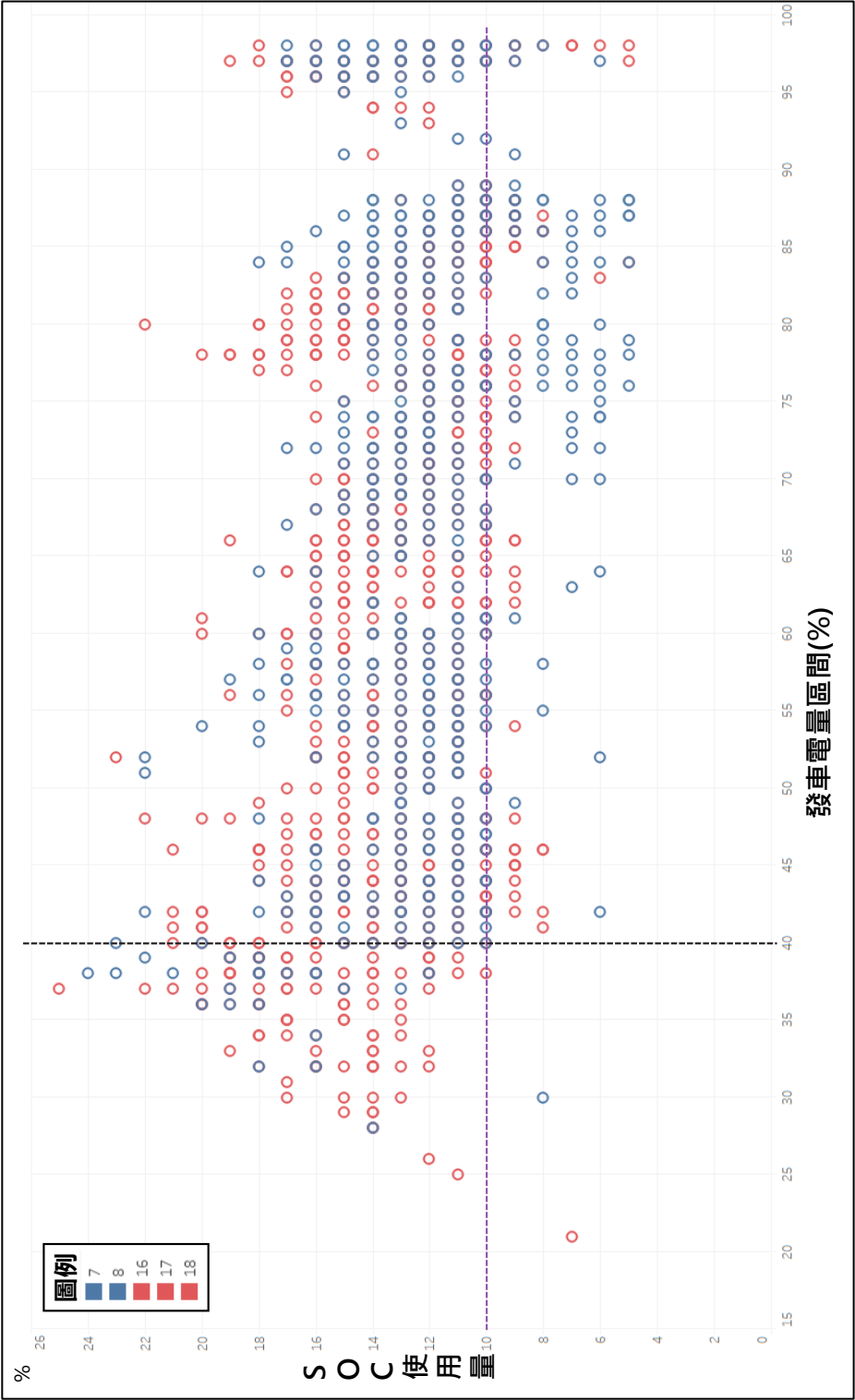
本計畫分別針對平日尖峰時段(晨峰 7~8 點、昏峰 16~18 點)以及非尖峰時段進行各班次發車起始電量之 SOC 使用量分析，藉此探討平日各時段對於班次 SOC 使用量之影響。

A.尖峰時段班次 SOC 使用量分析

晨峰(7、8 點)及昏峰(16~18 點)時段之班次，SOC 使用量多數高於 10%，各月份晨峰、昏峰平均使用量約為 11.91%以及 12.55%，又以發車起始電量低於 40%之班次相對較高，相對有較多 SOC 使用量低的班次為發車電量高於 40%之班次，整體而言，SOC 使用量分析結果亦與用電效率分析結果一致，相關分布趨勢圖可參考圖 3.3.28。

B.非尖峰時段班次 SOC 使用量分析

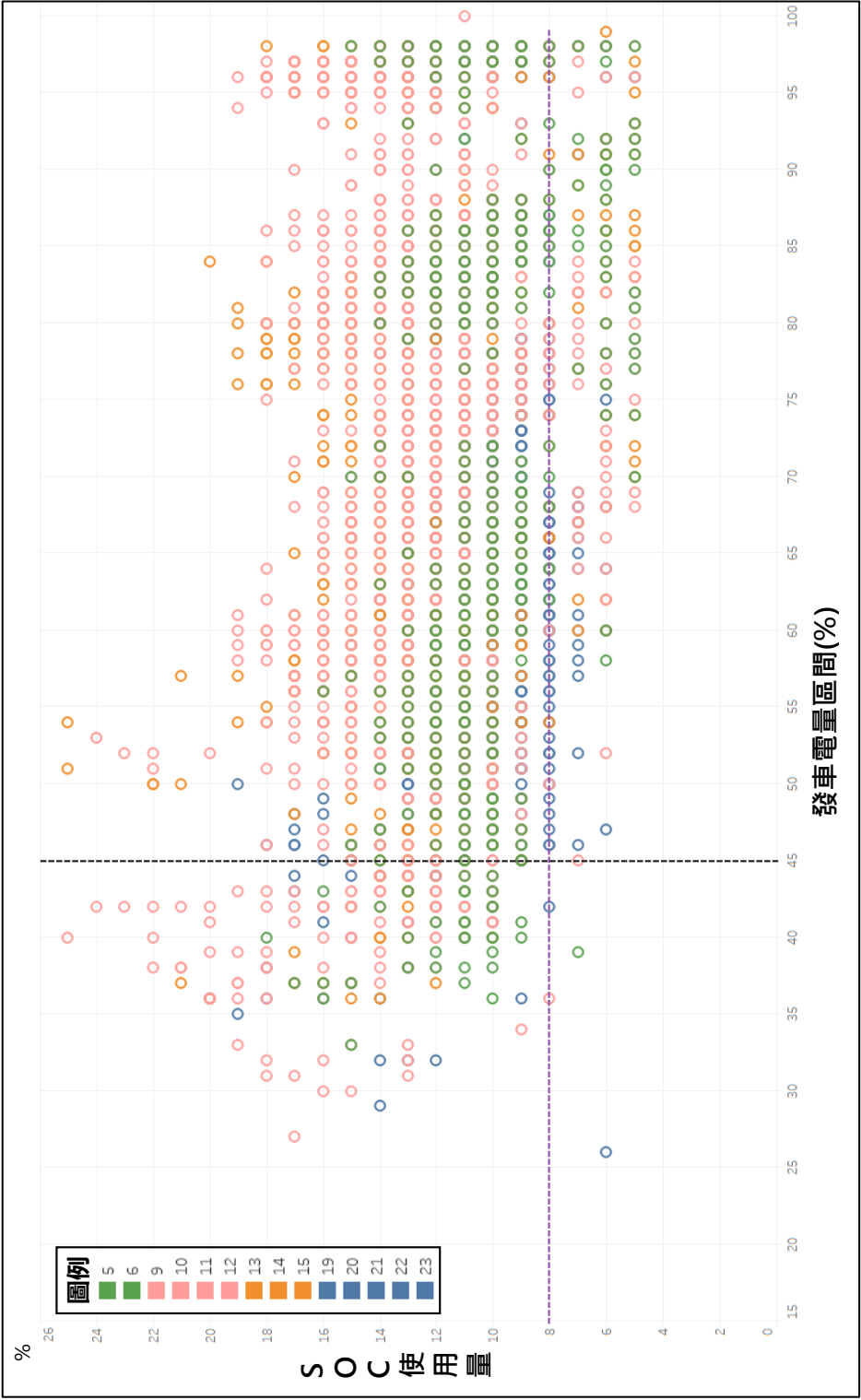
非尖峰時段之班次 SOC 使用量多數高於 8%，平均使用量約為 11.37%，又以發車起始電量低於 45%之班次相對較高，相對有較多 SOC 使用量低的班次為發車電量高於 45%之班次，日間時段(9~15 點)因受溫度影響，SOC 使用量普遍較清晨(5-6 點)及夜間(19-23 點)時段高，整體而言，非尖峰時段的班次 SOC 使用量明顯較尖峰時段低，整體分析結果亦與用電效率分析結果一致，相關分布趨勢圖可參考圖 3.3.29。



註：本圖表呈現已過濾部分資料明顯異常之極端值。

資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.28 班次發車起始電量-SOC 使用量分布圖(尖峰時段)



註：本圖表呈現已過濾部分資料明顯異常之極端值。

資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.29 班次發車起始電量-SOC 使用量分布圖(非尖峰時段)

3. 充電站充電資料分析

本計畫取得路線 R1、R2 約三個月份之充電站分析資料，兩條路線資料內容包含每車每次充電紀錄資料分別共計 2,096、2,924 筆，路線 R1、R2 分別各設置兩個充電站，以下分析分別以 R1-1、R1-2、R2-1、R2-2 表示。

(1) 各充電站充電時間分析

本計畫利用各充電站開始充電的時段資料筆數進行 24 小時分時統計，並針對該時段開始充電之車輛，其平均充電時間進行分析，如圖 3.3.30 所示，並說明如下。

路線 R1 之充電時段相對較分散，下午 15 點過後開始充電之車輛平均會有較長的充電時間，充電站 R1-1 主要以 5 小時內之充電為主；路線 R2 之充電時段則有較明顯之尖、離峰，中午 12 點過後開始充電之車輛平均會有較長的充電時間，並以 5 小時以上之長時間充電居多。

(2) 各充電站車輛 SOC 分析

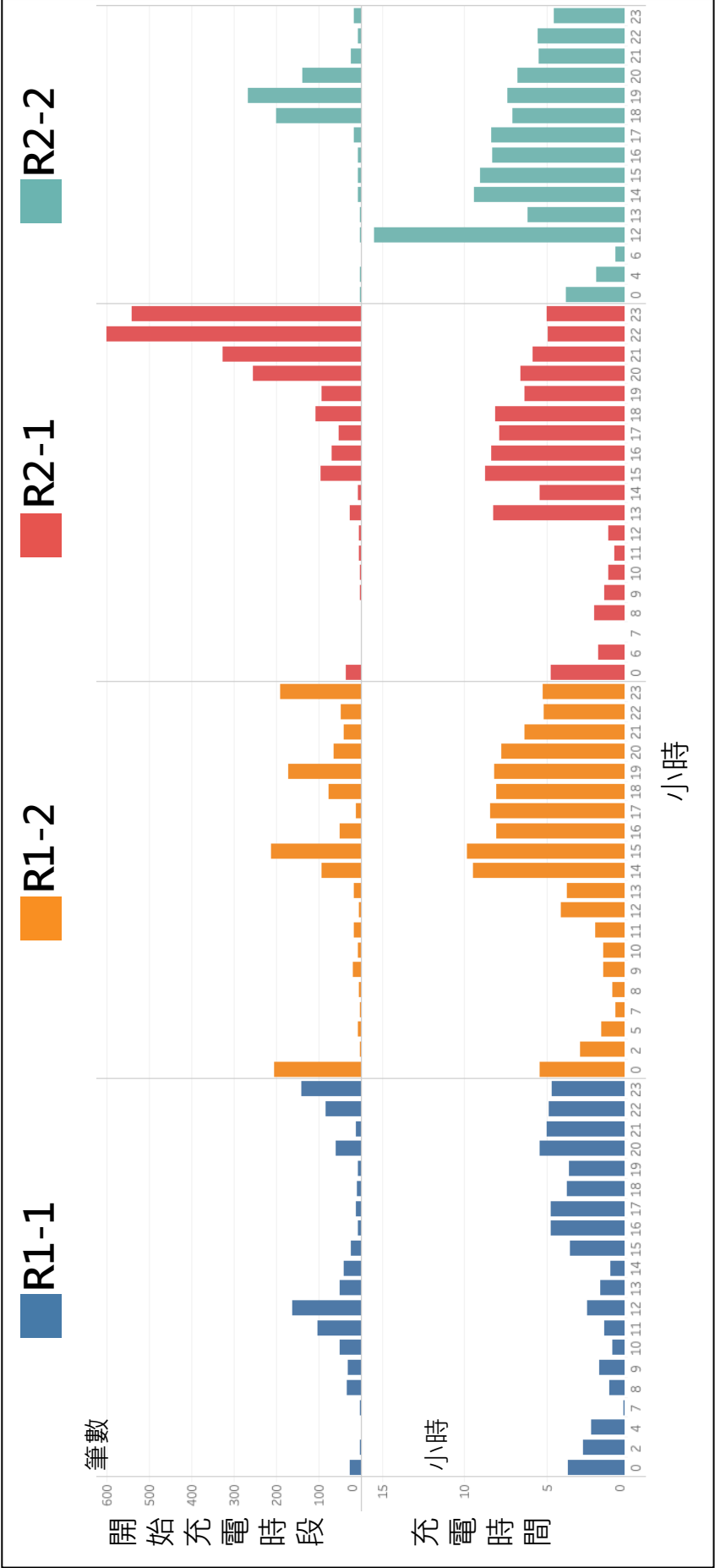
本計畫針對各充電站每車每日之開始充電 SOC 及結束充電 SOC 進行分析，如表 3.3-14 及圖 3.3.31 所示。

路線 R1 各車輛開始充電 SOC 差異較大，SOC 低於 20% 才開始充電的次數也相對較高，整體而言，充電站 R1-2 車輛 SOC 低於 30% 才開始充電的比率亦較 R1-1 高；路線 R2 各車輛開始充電 SOC 差異較小，SOC 低於 30% 才開始充電的比率約介於 10~15%。

表 3.3-14 各充電站車輛開始充電 SOC 資料統計表

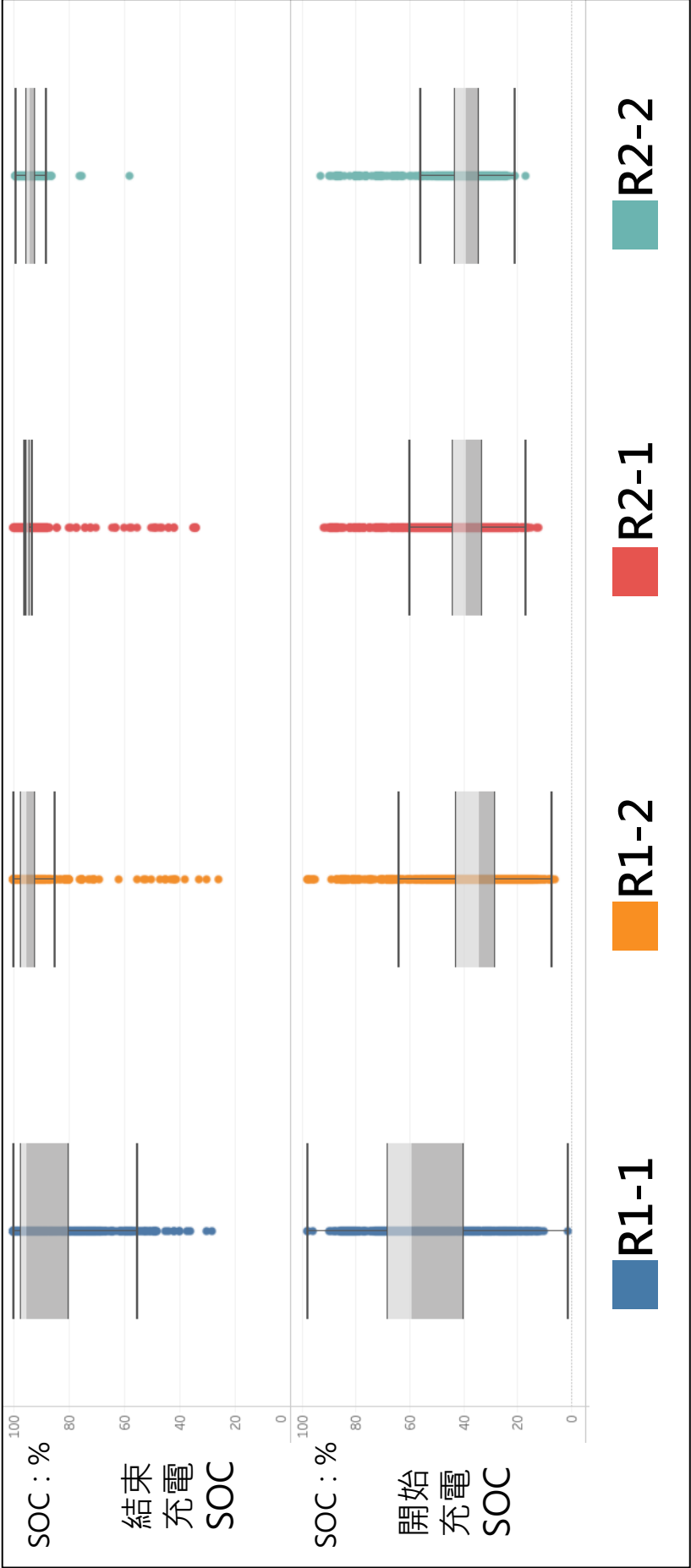
開始充電 SOC (%)	充電站 R1-1		充電站 R1-2		充電站 R2-1		充電站 R2-2	
	筆數	百分比	筆數	百分比	筆數	百分比	筆數	百分比
SOC≤20%	37	4.4%	103	8.4%	26	1.2%	1	0.1%
20%< SOC≤30%	83	9.8%	339	27.7%	289	13.0%	72	10.3%
SOC>30%	726	85.8%	781	63.9%	1,909	85.8%	627	89.6%
小計	846	100.0%	1,223	100.0%	2,224	100.0%	700	100.0%

資料來源：本計畫彙整。



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.30 各充電站充電時間分時統計圖



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.31 各充電站充電 SOC 統計圖

3.3.3 分析結果回饋

依據挑選路線進行營運指標之分析成果，彙整提供業者針對營運調度與充電規劃之參考，並依實際了解營運端考量與影響因子，可做為建立數據驅動模型之基礎資訊。

1.路線 R1 與 R2 連結到駕駛班表與營運狀況分析情形，初步彙整回饋就營運面關聯性方向：

- (1)路線 R1 平均每趟次 SOC 使用量約為 15%，中午時段(12、13 點)與昏峰(16、17 點)發車之 SOC 使用量明顯較其他時段高；相較之下，路線 R2 平均每趟次 SOC 使用量約為 10%，昏峰(16、17 點)發車之 SOC 使用量明顯較其他時段高，其餘差異較不明顯。
- (2)在非夏季不補電前提，建議路線 R1 每輛車安排 4 趟次為原則，路線 R2 每輛車最多安排 6 趟次；於夜間離峰電價時段將車輛充電至 90%以上，以滿足營運及安全電量需求。經與業者了解，因 SOC 顯示可能具有誤差，實務上會盡量維持於夜間充至滿電(100%)，以確保日間營運機動調度彈性及維持年營運里程總量之需求。
- (3)若車輛因調度需行駛額外趟次或雙班調度，建議於中休期間補電 10~20%，以維持回調度站時可維持車廠建議之安全電量(SOC 30%)。
- (4)兩條路線車隊車輛於每日行駛班次數上均有調配不均之情形，建議在人員調度容許之情況下，進行車輛排班檢視調整，維持用電與充電之穩定性。經與業者了解，主要原因為對應車輛年營運里程數目標下，因路線平假日服務班次數差異、車輛固定二級保養及不定期維護造成單一車輛平均日行駛里程數減少，於其他天增加派車造成的車輛班次不均的情形。
- (5)依據駕駛用電效率分析結果，部分駕駛固定行駛之用電效率較佳，經初步與業者了解，主要係落實節電教育訓練講師提供之經驗，歸納包括微調高空調溫度(從 24 度提高至 25 度)、鄰近路口時放電門讓電能回充、遇塞車車速低時微踩電門讓車輛滑行等駕駛行為。相關歸納意見與先驗知識一致，建議客運業者基於節能即節費的角度，適度向駕駛人員推廣，提升整體節能

效益。

2.以路線 R3 對應每班次行駛之起始 SOC 區間與季節、尖離峰之分析情形：

- (1)就發車起始 SOC 與每班次用電效率/SOC 使用量的關聯性，當發車起始 SOC 在低區間(40~45%)下，班次用電效率低於平均值、SOC 使用量高於平均值的比率增加。
- (2)當夏季、尖峰時刻之用電效率低於平均值、SOC 使用量高於平均值之比率增加，尤其以低起始 SOC 區間之狀況更為明顯。
- (3)參考分析成果，可運用實際出車累積資料計算每班次在不同季節/時段/起始 SOC 等情況下的 SOC 需求量，提供充電與否/充電量參考值，用來規劃車輛充電需求。

3.每趟次 SOC 使用量受路線特性、尖離峰特性、駕駛特性等多重因素影響，於不同季節、不同時間段、不同路線及不同車輛駕駛間呈現不一致的情形；故季節、時段、班次起始 SOC、路線類型、停靠站數、行駛里程、駕駛特性…等均為能耗影響因子。

4.針對個案分析之目的主要可做為與業者交流掌握營運細節之工具，掌握相關影響因子，依資料可取得情形，適度轉換納入數據驅動模型之變數，進一步了解可能之影響程度建立預測模型，朝向提供 SOC 使用量即時資料與預測值，增加客運業者日常營運調度與充電規劃作業之助益。

3.4 電動大客車導入指南與政策推動建議

運研所於 109 年度「電動公車示範計畫執行績效分析與推動策略支援應用(2/2)」計畫中，透過廣納蒐集各家客運業者之意見與國外使用經驗，了解技術發展及營運經驗，製作成電動大客車導入指南(草案)，期間陸續於 109~111 年對應實務遭遇課題及掌握資訊，針對相關內容進行增修。有導入指南歷次編修內容重點如表 3.4-1 所示。

表 3.4-1 電動大客車導入指南(草案)歷次補充內容重點整理

類別	補充內容重點
車輛使用經驗	109 年： - 購買車輛時應預先考量電池衰退可能程度下之電池容量，建議可補充說明提醒客運業者在議約時確認保固條件如何執行，如在保固期內整組更換或在電池堪用情況下僅針對有問題的 pack 部分更換。 - 在選購車輛的部分，對於電池可以選購電池組或電池包，僅更換衰退的電池組可節省成本。 - 應根據道路條件與車輛可能產生情況，選購安全性足夠之車輛。 110 年： - 依電動大客車所配備之電池容量與充電特性，提出客運行駛路線類型之建議。
資料傳輸檢核	111 年： 對應 111 年計畫期間蒐集業者資料傳輸檢核相關議題，針對資料傳輸檢核作業各階段辦理事項重點與注意事項進行彙整，提供客運業者申請檢核參考。
充電議題	109 年： - 可將目前充電站設置之地政法令綜整提供業者做初步的評估，但後續建議台灣電力公司聘請專業的機電人員做相關申請可節省作業時間。 - 鑒於目前台灣電力公司政策鼓勵客運業者使用夜間離峰時間進行充電，因此給予優惠之離峰電價，因此客運業者若有成本考量可就指南中之充電模式進行評估，何種充電模式符合營運現況。 - 建議增加說明智慧充電之使用條件，即回歸需求面，當車隊規模過大時仍需要提供足夠的電力以及符合營運需求的充電功率，充電樁功率必須跟上基本智慧充電排程需求。 111 年： - 對應台電公司頒布「電動車充換電設施電價」方案，除整理電價資訊外，亦彙整說明充電策略下之電價方案考量因素。 - 補充更新充電介面共同標準之發展資訊。

資料來源：本計畫整理。

表 3.4-1 電動大客車導入指南(草案)歷次補充內容重點整理(續 1)

類別	補充內容重點
維養費用與規劃	109 年： - 建議指南內用電效率的定義盡量減少定值呈現，亦會在內容中提及影響因素及用電效率經驗值區間。 - 目前對於保固期後的維修保養費用資料有限，較難提出具體數值，建議可參考國外案例先提出約略的費用估算。 110 年： - 建議客運業者可將維養內容分類為「不定期維修類」及「定期保養類」，再針對此兩大類做項目與分級之細分，以利客運業者掌握不同維修項目類別之故障原因及相關費用。
商業模式分析	110 年： - 針對「電池租購」所衍生之「商業模式 A」與「商業模式 B」等兩種商業模式之特性和優缺點之探討。 「商業模式 A」採車輛、充電設備自行購買與維養；「商業模式 B」一樣採車輛、充電設備自行購買與維養，但電池採租賃方式，且電池的維養由電池供應商負責。
示範計畫車輛業者合格清單	110 年： - 針對參與示範計畫之車輛業者及車型進行資格審查。 - 成運汽車製造股份有限公司及華德動能科技股份有限公司已於 110 年 2 月通過各一車型之示範計畫第一階段車輛業者資格審查。 - 成運公司亦於 110 年 11 月通過第二款車型之審查。 111 年： - 針對業者合格清單資訊更新，並說明自 112 年起，申請所有申請補助的車輛均須符合清單中之車輛業者及車型。

資料來源：本計畫整理。

考量電動大客車導入指南的資訊量龐大，為使客運業者更容易掌握指南架構與內容大綱，111 年度亦針對指南內容進行圖文框或圖表美化，提供數位化呈現版本，納入電動大客車營運數據監控管理平臺呈現。

本年度計畫主要針對平臺累積之數據與關鍵指標進行研析，對應前述分析成果，綜整因應國內電動公車特性於營運面的相關參考方向；此外，對應電動大客車補助作業相關資訊的新增與修定，原先指南內部分資訊亦需對應調整，故針對相關內容進行整理，建議可更新納入指南供業者參考。

1.營運階段排班調度與充電注意事項

除於營運前依初始營運需求擬定營運計畫外，對應已導入業者營運經驗與營運數據呈現情形，建議針對排班調度與充電規劃應考量下列事項：

(1)尖峰時段車輛出車時的起始 SOC 建議維持在安全區間

因發車起始SOC低時，車輛處於電壓較低狀態，需要較高電流輸出以維持電機設備運作與動力輸出，故會增加電量消耗；依分析結果，當發車起始 SOC 在低區間(40~45%)時，班次用電效率低於平均值、SOC 使用量高於平均值的比率增加。故建議於交通尖峰時段，出車時起始 SOC 建議維持至少 45%以上(或單趟行駛需求電量加計安全電量之總值)，降低因電量消耗較一般時間高而產生駕駛里程焦慮。

(2)建立分時、分季節之路線/車輛行駛耗電需求

經業者實際營運電動大客車經驗，車輛出廠之能耗數值並無法對應實際路線環境下之耗電需求，致使營運班次調度上(尤其夏季尖峰)可能會出現捉襟見肘之情形，故建議業者可藉由營運經驗進行數據化分析，對應不同時段、不同季節、不同路線建立更貼近實際營運的能耗數值，使班次耗電需求更準確，以滿足營運需求與及早應變。

(3)維持電池健康度之充電功率安排

影響充電效率的因素非常多，其中當SOC處於高值時，充電樁通常會啟動保護機制降低充電功率，依專業單位經驗，透過電化學分析充電過程中之電池變化，可掌握車輛電池特性於SOC處於低值時，亦因電池內部阻抗增加，需設定低充電功率的方式充電，方能維持電池健康度，達到電池壽命延長。

營運階段排班調度與充電注意事項

尖峰時段車輛出車起始SOC建議維持安全區間

- 建議於交通尖峰時段，出車時起始SOC建議維持至少45%以上(或單趟行駛需求電量加計安全電量之總值)，降低因電量消耗較一般時間高而產生駕駛里程焦慮。
- 出車起始SOC低時，車輛處於電壓較低狀態，需要較高電流輸出以維持電機設備運作與動力輸出，會增加電量消耗。

建立分時、分季節之路線/車輛行駛耗電需求

- 建議業者藉由營運經驗進行數據化分析，對應不同時段、不同季節、不同路線建立更貼近實際營運的能耗數值，使班次耗電需求更準確，以滿足營運需求與及早應變。
- 避免車輛出廠之能耗數值無法對應實際路線環境下之耗電需求，致使營運班次調度上(尤其夏季尖峰)出現捉襟見肘之情形。

維持電池健康度之充電功率安排

- 建議與充電樁及充電管理系統業者確認充電功率可調整程度，以對應提升電池健康度與充電安全性。
- 當車輛剩餘SOC處於高值(一般>80%)及處於低值(一般<30%)時，因電池內部阻抗增加，建議設定低充電功率的方式充電，方能維持電池健康度，延長電池壽命。

圖 3.4.1 營運階段排班調度與充電注意事項

2.國內智慧充電實際案例說明

交通部運研所結合產官學研能量，實際於中興大業巴士股份有限公司的北士科場站進行實際功能測試與驗證，透過事前事後比較分析，證明藉計畫建置之智慧充電管理系統可達到下列實質效益：

- (1)降低契約容量需求：依該場域服務車隊規模，原申請契約容量1,800 瓩可降為 900 瓩，可有效節省客運業者電力成本，更能減緩台電在該區域的電力供應壓力。
- (2)降低充電電費：依據每輛公車用電需求，優先於台電離峰時段提供充電服務，可有效降低客運業者之充電電費。
- (3)延長電池壽命：依電池特性評估各階段適合充電功率，平順化充電、延長電池使用壽命，依場域案例車輛試算，可延長壽命20%以上。
- (4)提升充電樁稼動率：智慧充電服務可有效提升充電樁稼動率，在場域充現有電樁數量(27 樁 54 槍)不變之條件下，可提供 108 輛電動公車充電服務。

(5)降低人員操作壓力：場域可提供全時、全自動化的充電作業程序，不僅降低人力操作需求，更可減少人員操作失誤的風險。

【智慧充電實際案例】

交通部運研所結合產官學研能量，112年實際於中興大業巴士股份有限公司的北士科場站進行實際功能測試與驗證，透過事前事後比較分析，證明藉計畫建置之智慧充電管理系統可達到下列實質效益：



圖 3.4.2 智慧充電實際案例執行效益

3.電動大客車補助管道

自 112 年起，電動大客車推動方式回歸單一補助作業，於民國 112 年 1 月 19 日訂定發布「交通部公路局補助電動大客車作業要點」，另於民國 112 年 9 月 21 日訂定發布「環境部補助電動大客車營運作業要點」，為現階段客運業者導入電動大客車之補助申請參考依據。

(1)交通部公路局補助電動大客車作業要點

公路局補助作業要點之內容主要為明確各項補助機制及加強相關審核與管考，並輔導地方政府推動電動大客車。補助作業要點規定內容重點如圖 3.4.3 所示。

(2)環境部補助電動大客車營運作業要點

對應權責分工，環境部於 112 年起不再補助車輛購置，改以實際營運行駛里程及載客人次補助，促使車輛優先投入高營運路線。補助作業要點規定內容重點如圖 3.4.3 所示。

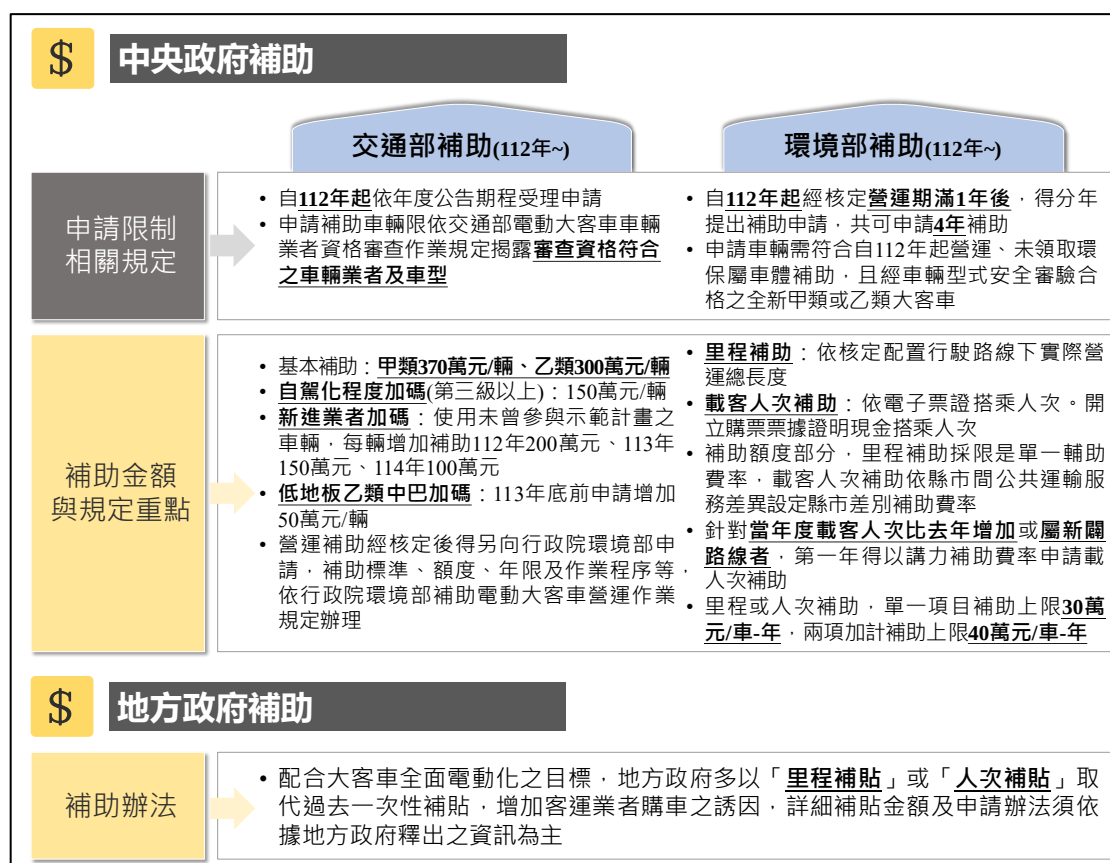


圖 3.4.3 補助作業要點規定內容重點-交通部、環境部

4.車輛業者合格清單更新

有關交通部電動大客車推動計畫合格車輛業者及車型，依據 112 年 7 月 25 日更新資料，成運汽車製造股份有限公司及華德動能科技股份有限公司各通過一車型，兩車型已完成 3 年 10 項國產化要求。有效期限至 112 年 12 月 31 日止。

第四章 電動大客車營運數據應用架構建立

4.1 整體研究分析架構

本節主要研提電動大客車營運數據整體研究分析架構圖(concept model)，參考標竿案例文獻回顧、公共運輸主管機關與客運業者訪談回饋，彙整本計畫電動大客車營運數據應用架構主要應用目的，並說明為達成應用目的，各項電動大客車數據分析成果之數據種類、分析程序及對應營運管理與政策推動建議之間的關聯性。本計畫綜整整體研究分析架構圖如圖 4.1.1，各項目內容說明如下。

1. 應用目的與效益

依據本計畫與客運業者實際需求訪談與討論，及對國內電動大客車政策推動之掌握，對應業者營運管理與政府推動，綜整各界關心議題包含如何提升業者在導入電動大客車後之營運效率、電池使用之安全性，並協助政府提升車輛監理及作為政策推動滾動參考等，而其中提升導入電動大客車後之營運效率為目前業者最為迫切關心議題，包含自導入電車(營運計畫規劃、購買車輛數、充電設施建置等)、維養(維修、保養、電池更換等)至緊急應變等各階段，提升對業者在日常管理及在車輛充電限制條件(台電電量及時間電價等)下之排班調度等營運效率、提升電池效能與減少用電量等能源使用效率面向效益，進而節省業者營運成本；而其他議題因屬電動大客車製造商業者或路線主管機關管理議題，不納入本計畫中進行著墨。

2. 分析主題與關鍵指標

由前述的應用目的與效益，研擬可反映應用目的、可系統化操作、可取得資料的主題，並持續透過文獻回饋及業者訪談回饋，掌握實務上的關鍵痛點，研擬具分析價值且有感的關鍵指標。本年度初步篩選分析主題包含用電效率(可轉換為更直覺的 SOC 使用量或續航里程)、充電效率及營運成本等。

3. 使用數據盤點與蒐集

由分析主題規劃，盤點數據來源大致可分為 4 大面向，分別為既

有電巴平臺蒐集數據、營運業者提供數據、運輸資料流通服務平臺(TDX)與其他既有外部開放平臺數據，分別透過資料介接或向業者索取等方式取得。

表 4.1-1 數據驅動模型來源數據資料一覽表

來源	變數	取得方式
電動大客車營運數據監控管理平臺	•車輛資料：車輛廠牌/業者、充電狀態、空調狀態、行駛里程、車速、剩餘電量(SOC)、總電壓、總電流、馬達轉速、經度、緯度、煞車狀態、電池平均溫度、車輛外界溫度、電門深度 •充電資料：充電廠牌、充電站建置價格、充電設施價格、充電介面規格標準、行駛里程、充電時間、充電度數 •保修資料：維修車輛、維修時間、維修項目、維修費用 •路線資料：路線名稱、營運里程、每日班次數	申請介接
營運業者	•駕駛員基本資料、排班明細、駕駛員工時、違規紀錄、事故事件紀錄、交通局計點、乘客投訴紀錄、油車加油紀錄	行文索取
TDX 平臺	•路線資料：路線線型、去返程、停靠站數、停靠站時間 •票證數據	申請介接
其他開放平臺	•氣象資料：氣溫、雨量 •交通資料：VD、平均載客量	申請介接

資料來源：本計畫彙整。

4.分析程序

指標分析規劃以 5 個步驟進行，依照各指標特性計算可能影響變數，針對變數進行初步描述性剖析檢核，再使用分析性統計進行進階剖析，確定變數可靠性、正確性、穩定性。而後依照各指標輸入變數、目標特性進行指標建立方法選擇，並進行指標驗證作業。

(1)指標變數計算：依照變數特性分為 6 大面向，分別為駕駛基本資料面、駕駛行為面、車輛基本資料面、車輛紀錄面、營運面向與外部參數面向。

(2)描述性統計數據分析：針對建立變數進行初步描述性統計，如平均數、標準差、眾數、四分位距、極大值、極小值、缺失值

比例等，了解各變數實際數據特性，針對數據可靠性進行初步篩選與分類。

- (3)分析性統計數據分析：將初步篩選後變數，繪製數據峰態圖，並使用 Shapiro-Wilk 常態性檢定，了解數據是否為常態，以作為指標建立模型選擇參考依據。如峰態分散變數，則進行分群分析，並與過往文獻常用分群切分值進行比較，評估是否將連續變數轉為類別變數納入指標建立內。
- (4)指標建立：依照各指標特性及輸入變相特性，進行指標建立資料探勘、機器學習及 AI 模型方法選擇，建立過程抽取一定比例(如 20%)數據作為測試集，其餘數據作為訓練集，作為指標建立之使用數據。
- (5)指標驗證：指標建立後使用 MAPE 值(平均絕對百分比誤差值)驗測準確性。



圖 4.1.1 電動大客車營運數據整體研究分析架構圖

4.2 電動大客車營運數據應用架構

1. 整體應用架構

本計畫建立電動大客車營運數據應用架構如圖 4.2.1，可以分為介接伺服器、資料運算伺服器、機器學習伺服器、應用分析伺服器、數據監控伺服器及備份伺服器等。

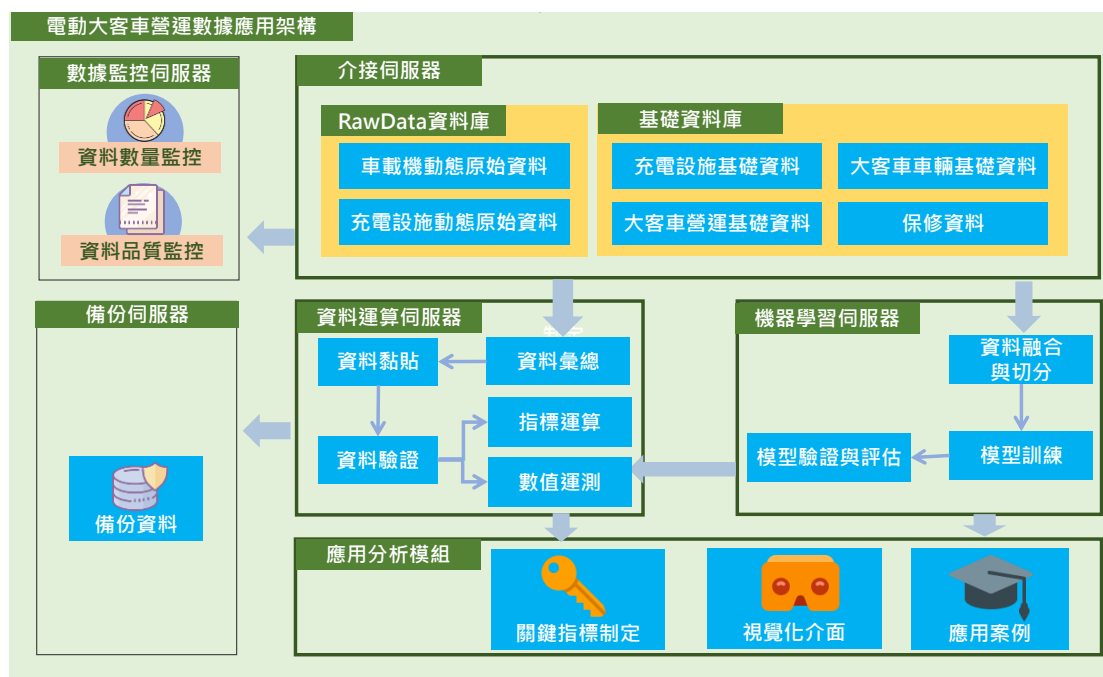


圖 4.2.1 電動大客車營運數據應用架構圖

系統規格初步建議如表 4.2-1，惟設備規格需視選擇之地端或雲端方案，以及平臺車輛數、介接資料頻率、運算與功能、平臺定位、服務對象等滾動檢討，設備規格可分階段建置，於初期資料量較少時，使用單一設備服務多個伺服器功能，待資料量或功能擴充後再逐步擴增。

表 4.2-1 營運數據應用設備規格建議表

設備	規格建議		
	CPU	記憶體	儲存空間
介接伺服器	4 核心以上	28GB 以上	500GB 以上
資料運算伺服器	4 核心以上	56GB 以上	1TB 以上
機器學習伺服器	4 核心以上	56GB 以上	1TB 以上
應用分析伺服器	4 核心以上	56GB 以上	1TB 以上
數據監控與備分伺服器	4 核心以上	28GB 以上	4TB 以上

註：此表設備為初步建議，後續實際設備規格需視選擇之地端或雲端方案，以及平臺車輛數、介接資料頻率、運算與功能、平臺定位、服務對象等滾動檢討。

(1)介接伺服器

預留從外部平臺介接相關資料，介接資料內容可視後續分析需求滾動檢討。介接內容可包含車機動態資料、充電設施原始資料之 Raw Data 資料庫，及基礎資料庫如充電樁、車輛、營運、保修等，再配合跨域數據資料可進行資料探勘與 BI 分析。

(2)資料運算伺服器

因應後續分析需求，仍需針對新增資料檢核方式，分別進行資料審查、異常清除、彙總、黏貼、驗證，以進行相關指標運算。

(3)機器學習伺服器

機器學習可透過 Python 等程式撰寫，或是透過雲端服務如 Azure 進行建置，整體機器學習架構流程如圖 4.2.2，先進行資料預處理，進行資料清洗與檢視，透過視覺化軟體輔助初步進行數據分析與探勘，再將資料清洗與融合，並將資料切分為訓練集與測試集，訓練集透過不同演算法選擇，建置不同訓練模型，再將測試集結果進行準確度驗證，並評估模型績效，以確保取得最佳之模型。

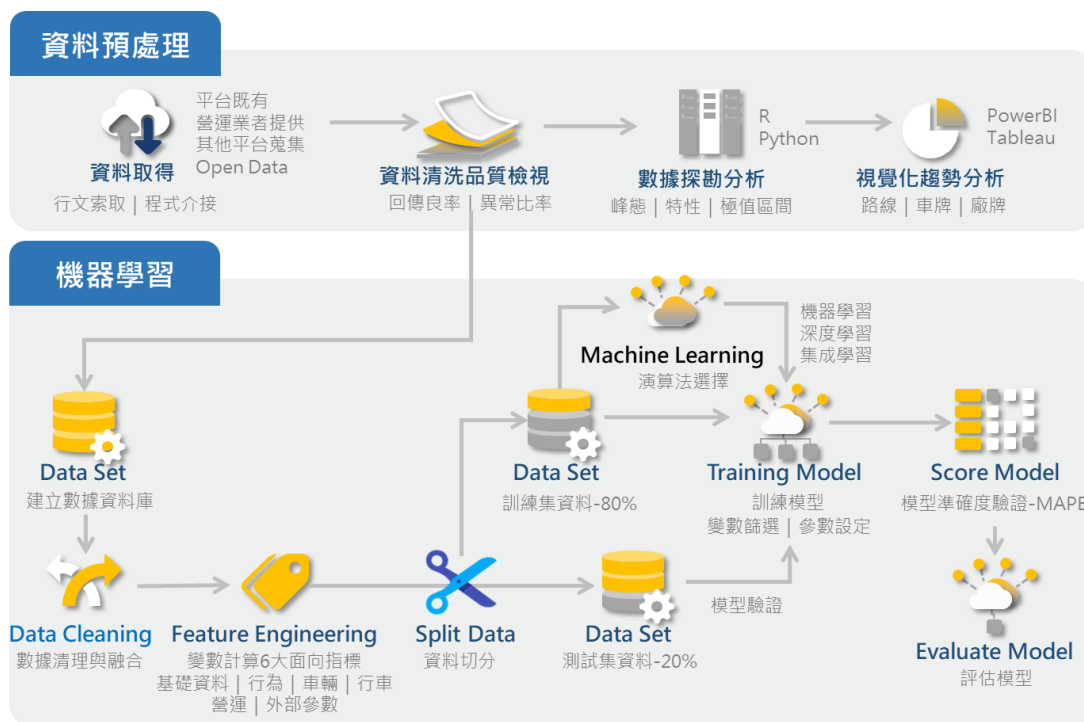


圖 4.2.2 機器學習流程架構

(4)應用分析伺服器

本應用架構經資料運算模組所彙整之資料，可透過應用分析模組進行關鍵指標制定、視覺化介面、應用案例等使用，如圖 4.2.3。

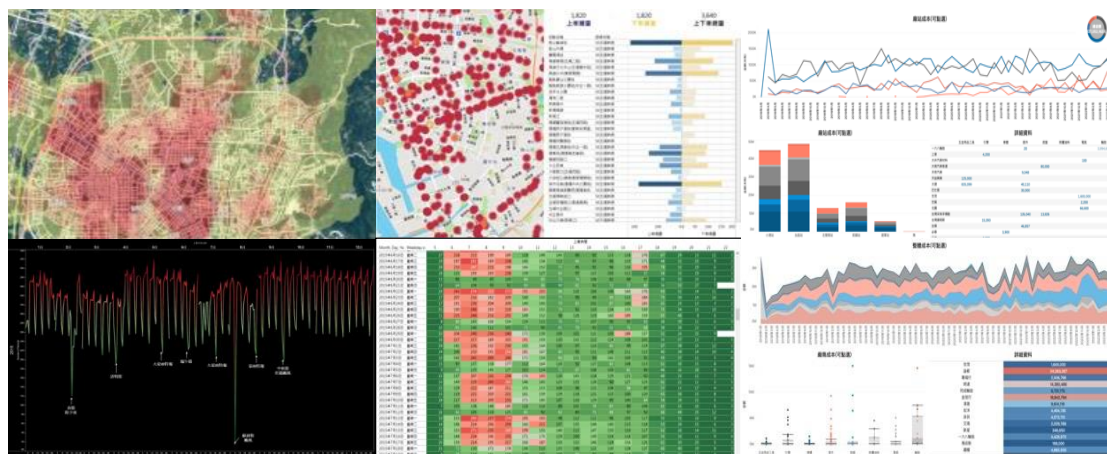


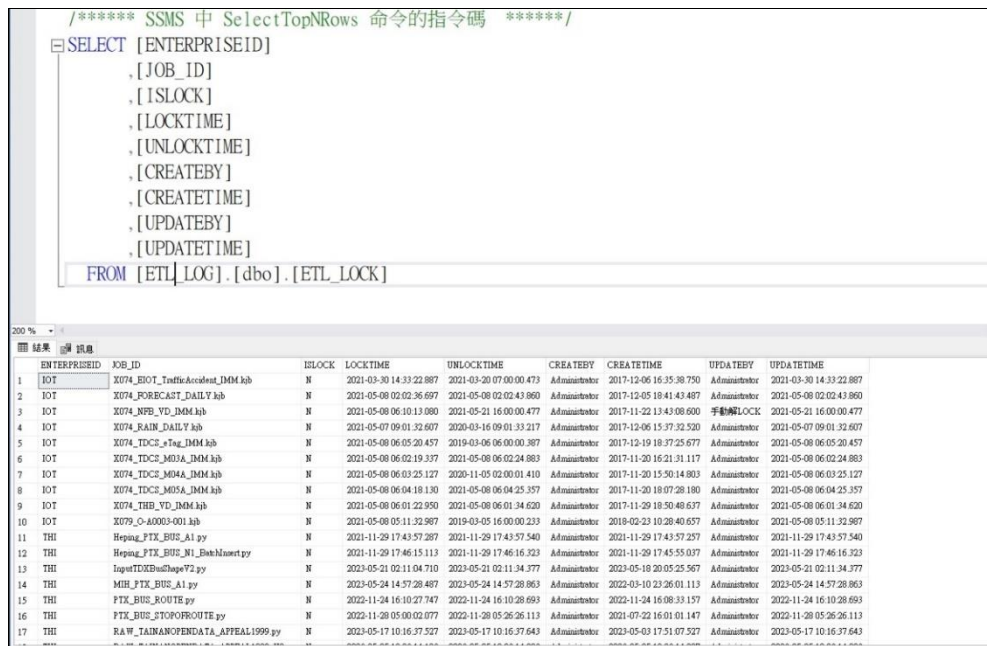
圖 4.2.3 應用視覺化分析示意圖表

(5)監控伺服器

針對介接資料運算過程與指標資料，進行初步合理性判讀與監控。

①介接交易紀錄 Log 與交易鎖定(圖 4.2.4)

若系統有自動介接程式，需於介接程式進行傳輸時，記錄該介接程式執行時間，以及觸發業者，以供後續查驗。另納入交易狀態欄位，介接起始時將狀態更新為交易中，待介接順利完成後將交易狀態更新為待交易，Log 寫入成功，若介接失敗例如時間過久，則狀態更新為待交易，並將失敗結果寫入 Log 記錄檔中。此外執行交易時亦須檢視交易狀態欄位，若為交易中，表示資料正在傳輸，則不重複執行相同之介接程式。另透過排程，搭配交易狀態欄位多次執行介接程式，避免因為資料來源錯誤，造成資料遺失，並自動續接與傳輸。



```

/***** SSMS 中 SelectTopNRows 命令的指令碼 *****/
SELECT [ENTERPRISEID]
,[JOB_ID]
,[ISLOCK]
,[LOCKTIME]
,[UNLOCKTIME]
,[CREATBY]
,[CREATETIME]
,[UPDAATEBY]
,[UPDATETIME]
FROM [ETL].[LOG].[ETL_LOCK]

```

	ENTERPRISEID	JOB_ID	ISLOCK	LOCKTIME	UNLOCKTIME	CREATBY	CREATETIME	UPDAATEBY	UPDATETIME
1	IoT	X074_BOT_TrafficAccident_DM.kh	N	2021-03-30 14:33:22.887	2021-03-30 07:00:00.473	Administrotor	2017-12-06 16:35:38.750	Administrotor	2021-03-30 14:33:22.887
2	IoT	X074_FORECAST_DAILY.kh	N	2021-05-08 02:02:36.697	2021-05-08 02:02:43.860	Administrotor	2017-12-05 18:41:43.487	Administrotor	2021-05-08 02:02:43.860
3	IoT	X074_NPB_YD_DM.kh	N	2021-05-08 06:10:13.080	2021-05-21 16:00:00.477	Administrotor	2017-11-22 13:43:08.600	手動解LOCK	2021-05-21 16:00:00.477
4	IoT	X074_RAIN_DAILY.kh	N	2021-05-07 09:01:32.607	2020-03-16 09:01:33.217	Administrotor	2017-12-06 15:37:32.530	Administrotor	2021-05-07 09:01:32.607
5	IoT	X074_TDCS_Tag_DM.kh	N	2021-05-08 06:05:20.457	2019-03-06 06:00:00.387	Administrotor	2017-12-19 18:37:25.677	Administrotor	2021-05-08 06:05:20.457
6	IoT	X074_TDCS_M01A_DM.kh	N	2021-05-08 06:02:19.337	2021-05-08 06:02:24.883	Administrotor	2017-11-30 16:21:31.117	Administrotor	2021-05-08 06:02:24.883
7	IoT	X074_TDCS_M03A_DM.kh	N	2021-05-08 06:03:25.127	2020-11-05 02:00:01.410	Administrotor	2017-11-30 15:50:14.983	Administrotor	2021-05-08 06:03:25.127
8	IoT	X074_TDCS_M05A_DM.kh	N	2021-05-08 06:04:18.130	2021-05-08 06:04:25.357	Administrotor	2017-11-30 18:07:28.180	Administrotor	2021-05-08 06:04:25.357
9	IoT	X074_THR_VD_DM.kh	N	2021-05-08 06:01:22.950	2021-05-08 06:01:34.620	Administrotor	2017-11-29 18:50:48.637	Administrotor	2021-05-08 06:01:34.620
10	IoT	X079_O-A0003-001.kh	N	2021-05-08 05:11:32.987	2019-03-05 16:00:00.233	Administrotor	2018-02-23 10:28:40.657	Administrotor	2021-05-08 05:11:32.987
11	THI	Heping_FTX_BUS_A1.py	N	2021-11-29 17:43:57.287	2021-11-29 17:43:57.540	Administrotor	2021-11-29 17:43:57.257	Administrotor	2021-11-29 17:43:57.540
12	THI	Heping_FTX_BUS_N1_BusInsect.py	N	2021-11-29 17:46:15.113	2021-11-29 17:46:16.323	Administrotor	2021-11-29 17:45:55.037	Administrotor	2021-11-29 17:46:16.323
13	THI	InputTXBusShapeV2.py	N	2023-05-21 02:11:04.710	2023-05-21 02:11:34.377	Administrotor	2023-05-18 20:05:25.567	Administrotor	2023-05-21 02:11:34.377
14	THI	MH_FTX_BUS_A1.py	N	2023-05-24 14:57:28.487	2023-05-24 14:57:28.863	Administrotor	2022-03-10 23:26:01.113	Administrotor	2023-05-24 14:57:28.863
15	THI	FTX_BUS_ROUTE.py	N	2022-11-24 16:10:27.747	2022-11-24 16:10:28.693	Administrotor	2022-11-24 16:08:33.157	Administrotor	2022-11-24 16:10:28.693
16	THI	FTX_BUS_STOPOFROUTE.py	N	2022-11-28 05:00:02.077	2022-11-28 05:26:26.113	Administrotor	2021-07-22 16:01:01.147	Administrotor	2022-11-28 05:26:26.113
17	THI	RAW_TAINANOPENDATA_APEAL1999.py	N	2023-05-17 10:16:37.527	2023-05-17 10:16:37.643	Administrotor	2023-05-03 17:51:07.527	Administrotor	2023-05-17 10:16:37.643

圖 4.2.4 交易鎖定示意圖

②資料數量監控

針對資料量進行統計，設置上下限警戒區，超越警戒區則以郵件自動提醒管理者進行處理，發生原因多為介接或上傳失敗，則需透過自動續傳，或是人為介入判斷與手動調整等方式修正。上下限警戒區可透過過去六個月，除去極端值後，最大值的 1.2~1.5 倍做為上限警戒值，最小值的 0.8 倍做

為下限警戒值，以減少班次增減班，設備增減所造成的誤判，另需滾動檢討，定時調整上下警戒區間以符合實際需要。

③資料品質監控

定時監控異常資料比例、資料更新日期、當日與前日資料筆數比例等。可用來判斷累積資料是否更新至最新，以及比例是否合理。

(6)備份伺服器

為確保資料安全，每日定時進行資料庫備份，檔案部分可透過檔案同步軟體如 rsync、雲端硬碟、FTP、FreeFileSync、FastCopy 等進行差異備份，資料庫則可透過 SQL Management 的維護計畫備份資料庫，再透過檔案同步軟體進行異地備份，避免軟硬體損毀造成之資料遺損。

2.系統環境與規格

系統設備與環境類型可分為地端與雲端服務兩種方案，優缺點彙整如表 4.2-2，地端設備特性為前期需一次性投入成本，彈性較低，但成本較低廉，雲端則有可靠度高與彈性高之優勢，惟成本會隨時間增長而墊高。另隨著系統擴充，或收納外部資料類型增加，可考慮將效能瓶頸之介接服務，透過雲端服務方式進行擴充，長期亦可降低維運與管理成本。地端與雲端的選擇需以成本或資料存放位置為考量，或是系統穩定性與彈性為考量。

表 4.2-2 地端與雲端比較

項目	方案一 地端	方案二 雲端
建置成本	- 先期投入成本較高，長期成本較低 - 需額外考慮機房、用電、網路等成本	長期使用成本較高
維護成本	較高，須定時監控軟硬體設備	較低，僅需監控軟體資訊
可靠度	中，無法預期硬體損壞時間	較高，內建設備備援機制
配置彈性	較低	可隨需求機動調整規格或進行功能擴充
安全性	較高，資料存放於機關內	中，資料存放於機關外

整體設備評估而言，若以地端硬體保固約三年的服務費用計算，雲端費用約需地端服務 2.5 至 3.5 倍，因雲端穩定性較高，地端若額外採購備援環境，差距則可縮小，因此若以成本為優先考量，地端費用較低，但若以穩定性與擴充性，則以雲端服務較佳。

雲端與地端佈署流程如圖 4.2.5，不論是雲端或地端，均須於地端進行預準備，地端可能泛指導入單位或是協助導入單位的機房或工作區域，主要內容包括資料蒐集、取得、介接、展示、模擬、Prototype 建置等，若導入地端方案，則於地端環境進行建置與佈署；若導入雲端環境，可分階段進行，逐步將地端服務與資料，整合至雲端服務中，待服務與環境建置完畢，在正式將所有服務移轉至雲端環境並完成建置。

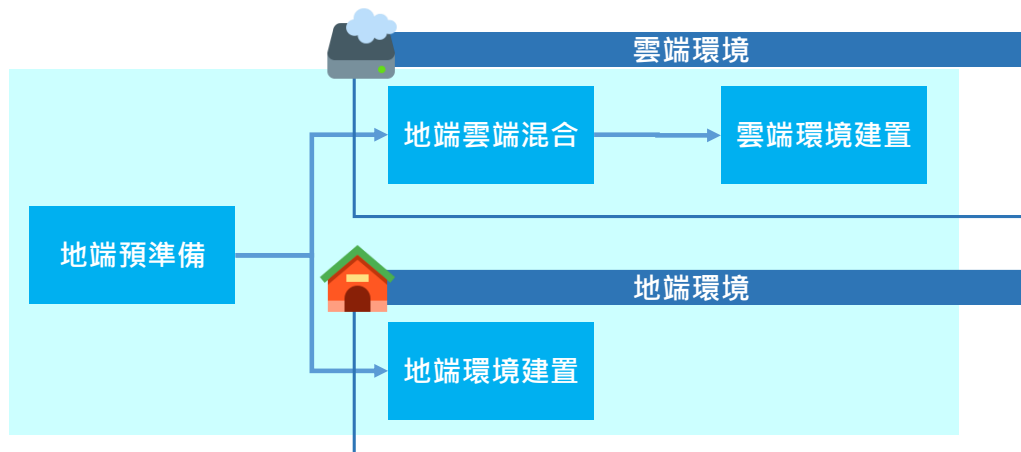


圖 4.2.5 地端與雲端佈署流程圖

(1) 雲端服務

雲端服務可分為雲端 VM(IaaS)與雲端服務(PaaS)，前者以租賃雲端 VM 為基礎，架構與地端伺服器一致，而後者則以該雲端服務商之 PaaS 服務為主，雖然費用較前者低廉，但需重新調整架構，雲端之優勢與劣勢如下。

① 優勢

- A. 成本效益：不需要大量的初始投資，可以按需支付，根據實際使用的資源進行計費。
- B. 擴展性和靈活性：可以根據需求迅速擴展或縮減資源，提供更大的靈活性。

- C.無需擔心硬體更新：雲端提供商負責硬體設備的更新和維護，減輕了管理單位負擔。
- D.全球可用性：雲端服務通常有多個數據中心，提供全球範圍內的高可用性。

②劣勢

- A.安全性顧慮：由於資源是在雲端提供商的基礎設施上運行，敏感資料儲存有安全性疑慮。
- B.依賴第三方：依賴雲端提供商的服務，一旦服務中斷或提供商出現問題，可能會影響業務運作。
- C.定制性有限：雲端服務通常提供預配置的服務，有一定的限制，某些特定需求可能無法滿足。

③各大雲端服務比較

由於雲端有高可用性與高彈性之優勢，考量市面上三大公有雲相關優劣勢，根據整合性、費用、使用易用性、視覺化、PaaS 服務等面向，建議後續設置可考慮於 Azure 服務上進行建置。

- A.整合性：目前交通部部分服務已開始採用 Azure 雲端服務，若採用 Azure 可保留不同系統的整合彈性。
- B.費用價格：AWS 使用費用相對較高，而 Azure 與 GCP 使用費用相對較低。
- C.使用易用性：Azure 介面有統一化設計，操作門檻相對較低。
- D.視覺化：Azure 可整合 Power BI 等視覺化儀表板服務，亦可於上租賃 Tableau Server 等服務，提供彈性的視覺呈現效果。
- E.PaaS 服務：AWS、Azure 發展較早，PaaS 服務較 GCP 多樣。

(2)地端服務

①優勢

- A.掌握全面控制權：在地端機房中，可取得完全的控制權，並根據特定需求進行定制化配置。
- B.安全性掌握：由於所有資源都在地端機房內部，有更大的安全性掌控權，能夠實施特定的安全政策。
- C.性能穩定：由於資源不與其他單位共享，可以更好地掌握性能，減少潛在的共享資源問題。

②劣勢

- A.較高的初期投入成本：建置和維護地端機房需要大量資金，包括硬體、設備、空調、電力等。
- B.擴展性限制：擴展機房容量需要時間和資源，不能像雲端迅速擴展。
- C.管理複雜性：單位需自行管理硬體、軟體更新和維護，需要相對較高的技術能力。

4.3 結合跨域資料之數據驅動模型初探

本節為透過電巴平臺所蒐集之營運數據以及結合跨域巨量數據，例如：天氣、路線特性、道路特性等，應用 Python 語言進行資料探勘分析，建立至少 5 個以上數據驅動模型，並進行實際數據初探與分析，4.3.1 節說明數據驅動模型整體分析構想；4.3.2 節針對本計畫(第一年期)模型初探成果進行詳細分析說明。

4.3.1 數據驅動模型整體分析構想

依據文獻蒐集回顧及業者在意之關鍵痛點，針對各主題彙整可能影響關鍵變數，並透過描述性、分析性統計剖析數據，進一步確立本計畫之指標並進行模型初探，作為後續發展之標的。

1.營運特性對於用電效率(續航力、SOC 使用量)之影響

探討營運特性對於用電效率之影響，包含業者選購之車型本身條件，如車輛廠牌、電池特性等，及營運路線所經之道路特性，如道路等級、行車速度、坡度等，以及路線營運特性，如營運時段、載客量(重量)、服務班次數、公車停靠站數、站間距或停站時間等，提供業者於新路線導入電巴車輛時，有相較於車輛出廠時說明之能耗參考值，進行營運前班表安排及充電規劃等參考，以及於營運時協助即時因應動態班表預測下一班次之 SOC 使用量，提供站務人員機動調度及安排充電事宜。

2.駕駛行為對於用電效率之影響

探討駕駛行為對於用電效率之影響，包含司機踩放電門深度、加減速行為、怠速等，以及對應公車路線行駛於一般道路路段、進入或離開公車停靠站、交叉路口等不同特性，分析成果可提供業者作為駕駛員教育訓練之依據，引導駕駛行為以降低耗電量進而節省用電成本。

3.SOC 使用量回饋至充電效率

透過用電效率相關數據驅動模型，於業者實際營運時，透過模型滾動分析提供 SOC 使用量預測參考，或提供車輛收班或日間補電充電前之 SOC 剩餘量預測參考，並與運研所電動大客車智慧充電案

智慧充電管理系統進行整合，回饋提供充電排程最佳化運算分析。

由第三章營運數據分析與關鍵指標分析結果，瞭解路線營運特性對於用電效率有顯著影響，因此本年度計畫於數據驅動模型部分，亦優先針對營運特性對於用電效率之影響進行深入探討，應用電動大客車營運數據監控管理平臺數據，串聯其他既有開放平臺可取得資料進行分析。

4.3.2 第一年期(112 年)數據驅動模型初探

本計畫針對用電效率-營運特性數據驅動模型進行模型探討，營運特性包含業者選購之車輛、行駛路線道路特性、路線營運特性等，提供客運業者於新路線導入電動巴士車輛時，先行評估該路線之用電效率及SOC使用量，作為業者營運前規劃或營運時排班調度之參考。

1.分析範圍與對象

(1)挑選原則

以通過電巴平臺資料傳輸檢核路線為主，考量資料穩定性與代表性，資料傳輸時間至少 3 個月，且營運路線配置車輛至少 20 輛(30 輛以上為佳)。

(2)分析範圍

考量目前通過電巴平臺資料傳輸檢核車輛中，有過半車輛為服務雙北地區公車路線，同時因應業者訪談需求，本計畫優先以雙北公車路線為分析標的。

(3)分析對象

①空間範圍：262、902、620(北環幹線)、578、579、582、紅12、656、信義幹線及羅斯福幹線等公車路線。

②時間範圍：2023 年 5 月至 2023 年 8 月，合計 4 個月。

③分析單位：每班次 1 筆。

2.分析流程

透過資料蒐集、處理、融合、模型建立等流程，建立初步用電效率-營運特性數據驅動模型，分析流程如圖 4.3.1 所示。

(1)原始資料定義

依照用電效率-營運特性分析目標，找尋可能影響因子，來源可分為三大面向，包含基本資料、設備偵測資料，以及營運紀錄資料，並將資料依照每班次維度，進行資料處理。

(2)變數建立

彙整國內外文獻案例，以及與業者訪談回饋，由可蒐集資料

面向上，定義資料可計算的變數項目，並進行影響變數建立。

(3)資料樣態分析

針對建立變數進行描述性統計分析，掌握資料特性與品質，以利後續納入模型資料評估。

(4)變數相關性分析

初步探勘變數之間關聯性，掌握用電效率與各變數間相關程度，並了解其他變數之前相關性過高，產生共線性之變數，提供後續最終模型建立，評估是否排除共線性較高的變數議題。

(5)分析標的確認

依照描述性統計與相關性分析，依照分析標的確認最終投入模型變數。

(6)模型建立

本計畫於期中階段已使用隨機森林進行初探模型之建立，並透過樹量參數設定、投入可能影響變數，進行變數篩選，於期末階段則再建立指數回歸、分層回歸、深度學習、機器學習、移動平均等模型方法，比較其預測效果。

(7)模型驗證

針對階段性初步模型進行準確度驗證，並研擬後續模型優化方向。

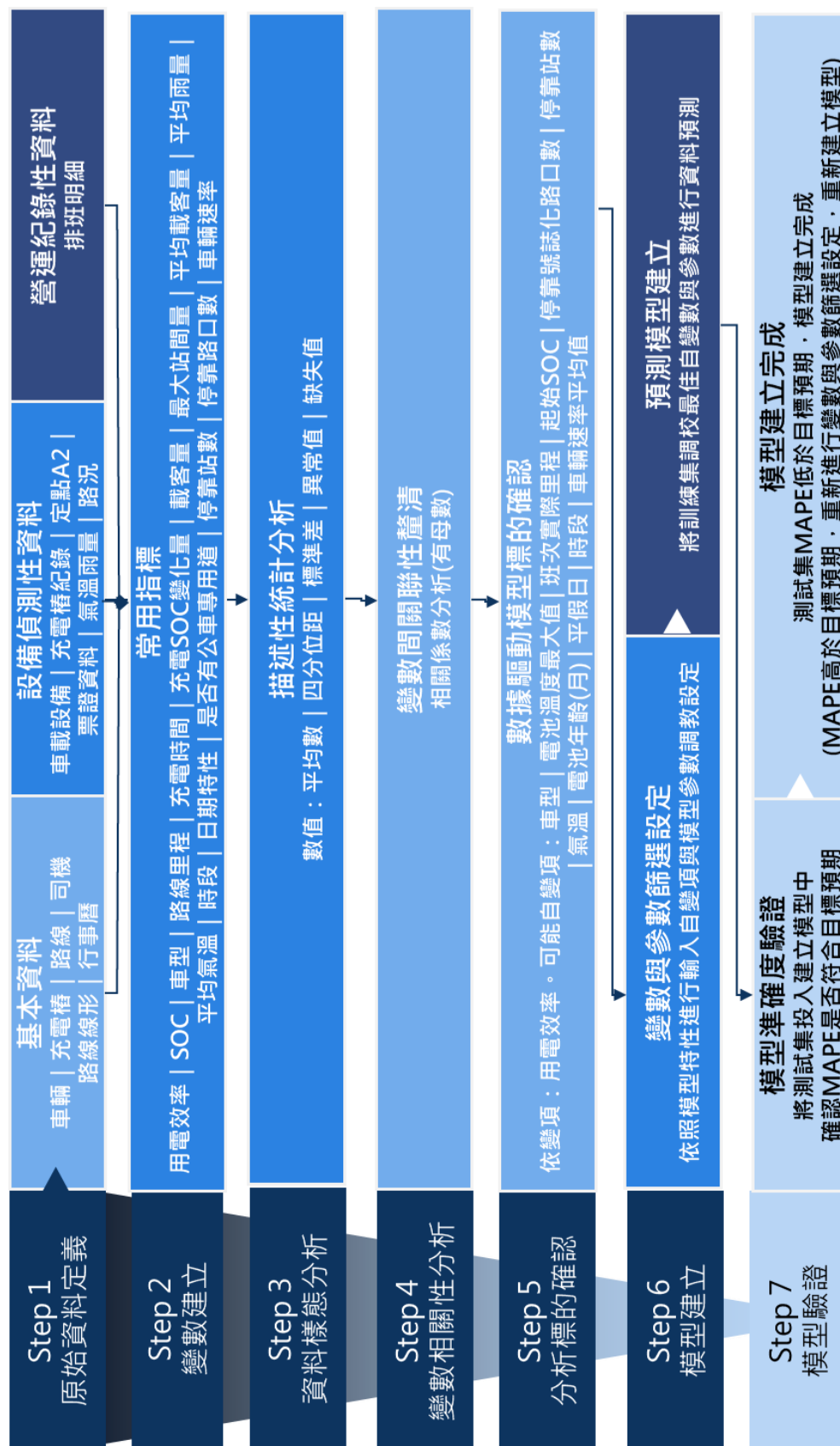


圖 4.3.1 用電效率-營運特性分析流程

3. 資料處理

透過大數據技術，進行大數據匯流、清理及融合，透過數據分析日期、交通特性、道路環境特性、氣象環境特性、車輛特性、公車營運特性等資料，掌握可能影響電動巴士用電量之變數，數據處理結果作為後續數據驅動模型之基礎，詳細作業流程如圖 4.3.2 所示。以下茲就大數據蒐集處理內容說明如下。

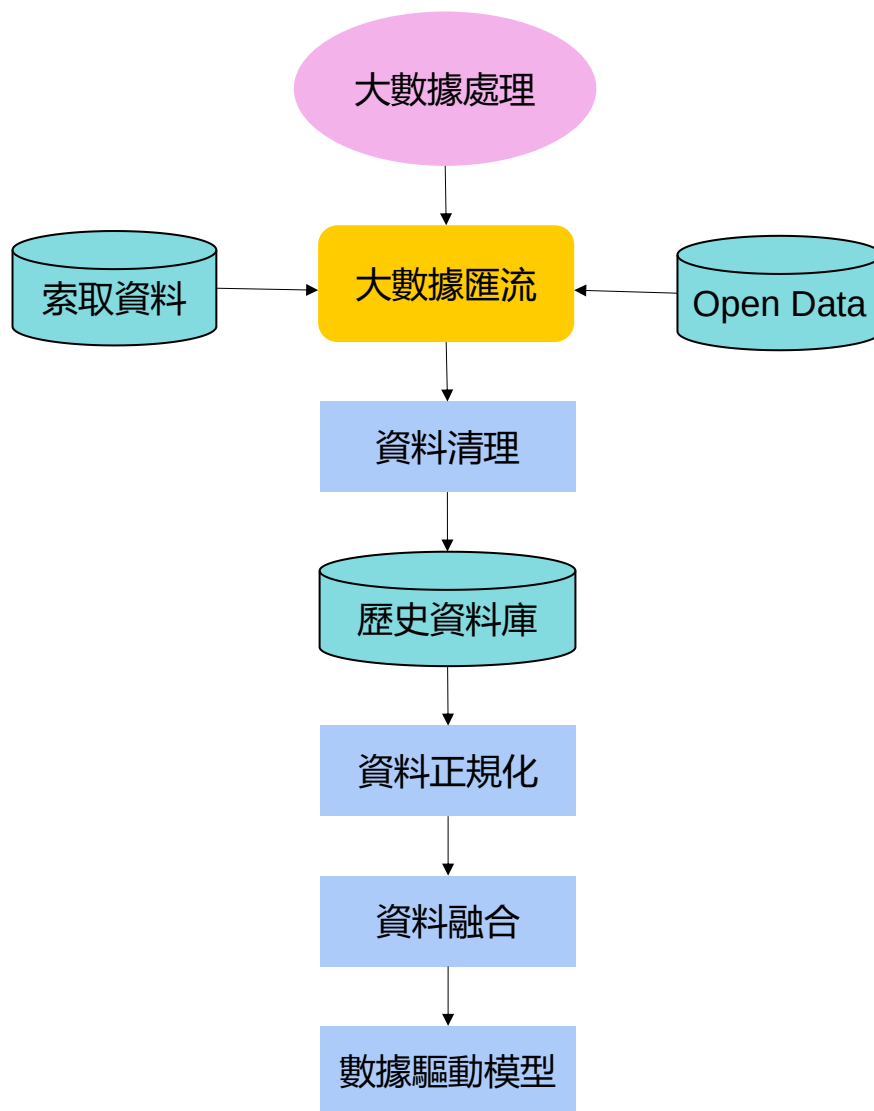


圖 4.3.2 數據驅動模型大數據處理流程圖

(1)資料匯流

①資料蒐集

茲就電動巴士車載機資料與日期特性、氣象觀測、車輛特性、道路環境、營運路線、路側設施等，可能影響模型面向之資料、特徵、蒐集處理方法彙整說明於表 4.3-1 所示。

表 4.3-1 大數據蒐集項目範圍表

面向	資料項	資料描述	欄位說明	蒐集方法	資料時間
日期	日期/ 時間	每日日期 特性定義	時段、日期別、月份 別、年份	人事行政局公告 表單下載/本計畫 彙整	2023/5/1~ 2023/8/31
車機	基本 資料	營運車輛 資料	路線 ID、路線名 稱、車牌號碼、去/ 返程、起站時間、終 站時間	電動大客車營運 數據控管理平臺	2023/5/1~ 2023/8/31
	電池	電池即時 狀況	時間、電池即時偵測 溫度、電池即時剩餘 電量		2023/5/1~ 2023/8/31
	速率	車輛速率	車輛速率		2023/5/1~ 2023/8/31
氣象	降雨量	氣象觀測 站每小時 降雨量	時間、觀測站名、降 雨量	中央氣象署觀測 資料查詢系統	2023/5/1~ 2023/8/31
	氣溫	氣象觀測 站每小時 平均氣溫	時間、觀測站名、氣 溫		2023/5/1~ 2023/8/31
車輛	電池 年齡	車輛電池 使用時間	電池採購時間	電動大客車營運 數據控管理平臺/ 業者提供	2023/9
	車型	車輛型號	型號代碼		2023/9
	電池 容量	電池設計 容量	電池設計容量		2023/9
	馬達 功率	馬達功率	馬達功率		2023/9
營運 路線	里程	路線里程	路線名稱、去/返 程、路線里程數	電動大客車營運 數據控管理平臺/ 業者提供	2023/5/1~ 2023/8/31
	載客 人次	每段次平 均人次	時間、路線名稱、每 段次平均人次	地方政府統計年 報	2022

資料來源：本計畫彙整。

表 4.3-1 大數據蒐集項目範圍表(續 1)

面向	資料項	資料描述	欄位說明	蒐集方法	資料時間
道路環境	路口數	路線行經號誌化路口數	路線名稱、去/返程、沿線行經號誌化路口數	臺灣通用電子地圖/本計畫盤點	2023/9
	停靠站數	路線停靠站點數	路線名稱、去/返程、路線停靠站點數	TDX 平臺站點資訊	2023/5/1~2023/8/31
	公車專用道	路線是否行經公車專用道	路線名稱、去/返程、路線行經公車專用道路段	地方政府公車專用道分布圖/本計畫盤點	2023/9
	跨河	路線是否行經跨河橋梁	路線名稱、去/返程、路線行經跨河橋梁	臺灣通用電子地圖/本計畫盤點	2023/9
路側設施	地方VD	臺北市各偵測點之路段交通量、旅行速率	VD 編號、日期、時間、偵測方向、機慢車交通量、小客車交通量、大型車交通量、速率、佔有率	臺北市資料大平臺/臺北市政府交通局交工處	2023/5/1~2023/8/31

資料來源：本計畫彙整。

A.日期

包含時段、日期別、月份別、年份，為分析時間範圍與交通特性、交通措施、各面向之關聯分析以及車載機擷取之重要資料。

B.車載機

由車輛將車載機所存取之電池及車輛相關資料上傳至電動大客車營運數據控管理平臺，並於平臺資料庫進行介接。

C.氣象

由中央氣象署氣候資料服務系統(<https://codis.cwa.gov.tw/StationData>)，取得雙北地區觀測站之歷史雨量、氣溫等數據資料。

D.車輛

由業者提供之路線及車輛靜態資料至電巴平臺，並於平臺資料庫進行下載索取。

E.營運路線

包含業者提供之公車路線里程資料以及地方政府統計年報紀錄之各公車路線每段次平均人次。

F.道路環境

包含路線行經號誌化路口數、停靠站數、公車專用道及跨河情形等資料，結合相關數位圖資以及本計畫盤點之結果。

G.路側設施

地方 VD 是由臺北市政府提供的 API 進行即時介接 (<https://data.taipei/dataset?qs=VD>)，蒐集時間為 2023 年 5 月 1 日至 2023 年 8 月 31 日。

②資料存放

A.數據蒐集存放

- a.透過 python 及 pentaho 程式，皆可自動化取得 OpenData 之 API 資料，並進行資料下載、解析、儲存等工作，非以固定 API 連結提供資料者，就需透過網路爬蟲或行文索取方式取得資料後，以手動匯入資料方式儲存資料。
- b.Pentaho 是一套以 Java 作為開發環境的 Open Source，它是一個資料整合 ETL(Extract-Transform-Load)的工具，提供圖形化介面讓使用者設定資料整合的方式，將資料從來源端經過萃取(Extract)、轉置(Transform)與載入(Load)的處理，包括解析各種資料格式、過濾異常資料、進行欄位運算、最後匯入資料庫。
- c.資料庫使用關聯式資料庫 Microsoft SQL Server，存放氣象、地方 VD、車載機等資料，提供跨資料表資料查詢與較高運算效能。

B.數據處理方式

依照資料類型、格式以及使用需求的不同，其處理的方式也不盡相同，以下針對特殊應用之數據處理方法說明如下。

a.車載機：針對所需分析之時間範圍內，介接電動大客車營運數據監控管理平臺相關資料，並根據路線ID (SubRouteUID)以及車牌號碼(PlateNumb)，介接車機動態資料，並彙整指標資料庫如妥善率、續航力、用電效率、充電效率等。

b.氣象：透過 python 程式介接中央氣象署氣象資料開放平臺(<https://opendata.cwa.gov.tw/index>)之 API，並設排程每一小時啟動程式抓取即時資料，將來源 API 資料解析後，依既定資料表欄位格式匯入資料庫儲存。

c.臺北市政府地方 VD

- 排除設備狀態(Status)不為 0 的資料。
- 排除各車種流量(Volume)不在此範圍內之資料：0~250。
- 排除平均速度(Speed)不在此範圍內之資料：0~ 120。
- 排除平均佔有率(Laneoccupy)不在此範圍內之資料：0~100。
- 排除交通量(Volume)、速度(Speed)、佔有率(Laneoccupy)皆為 0 的資料。

(2)大數據融合

①數據正規化

依照各模型分析時間及空間需求，需將初步處理後的資料進行進一步的資料正規化，以下茲就各模型所需的格式、時間維度、空間維度進行說明，與各資料處理其說明如下：

- A.日期：日期資料特性以日為單位，紀錄每日日期特性，如星期別、平假日、是否為連假等資訊。
- B.車載機：車機介接之資料已透過電動大客車營運數據監控管理平臺進行資料清理黏貼，故將針對新增資料檢核方式，分別進行資料審查、異常清除、彙總、黏貼、驗證，藉此進行相關指標運算。
- C.氣象：原始氣象資料為 1 小時 1 筆，惟其來源資料可能發生因觀測站偵測異常，而回傳溫度-99 或雨量-99 等不合常理之資料，故需先進行資料清理，避免影響後續模型使用。
- D.臺北地方 VD：根據臺北市地方 VD 設備架設位置，撈出各公車路線往返，途中所會行經之 VD 點位，盤點各路線之行經 VD 點位及偵測方向所屬道路 ID，如表 4.3-2 所示，再將 VD 設備之各車種交通量、速率及佔有率由原始五分鐘一筆彙整至一小時一筆，以利後續模型使用。

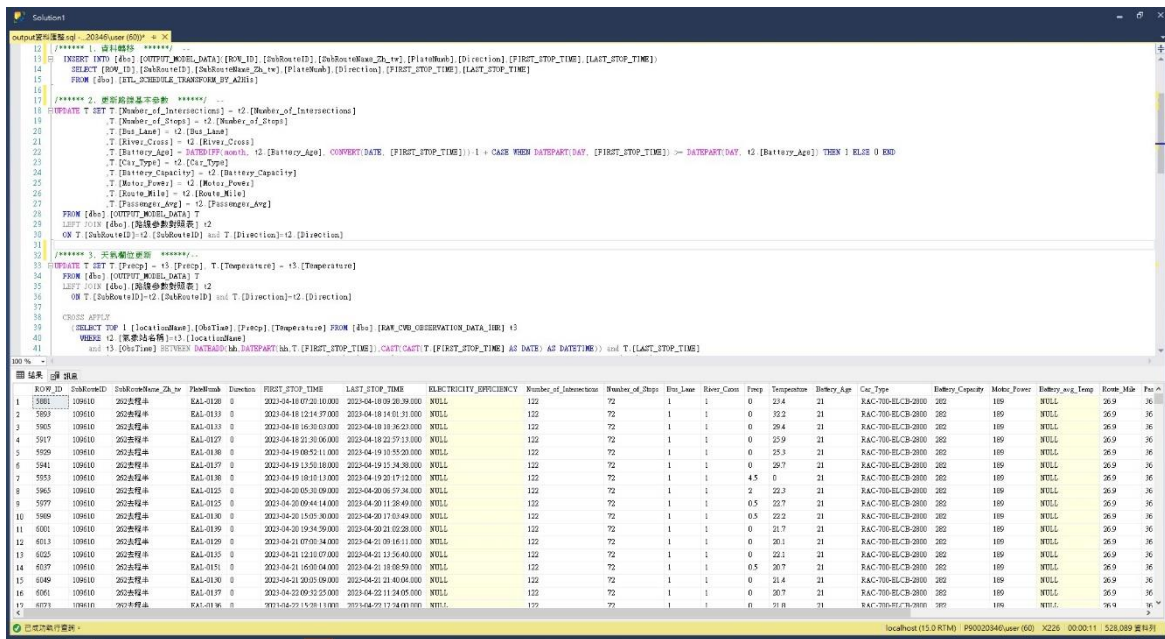
表 4.3-2 路線行經道路之地方 VD

公車路線	方向	VDID	LinkID
262	0	VJHML20	6003360200000A
	1	VJHML20	6003360600000A
信義幹線	0	VHKQP20	6000780600000A
	1	VHKQP20	6000780200000A
902	0	VJGN700	6003920000020A
	1	VJGN700	6003920400020A
紅 12	0	V37JI40	6003470000000A
	1	V37JI40	6003470400000A
北環幹線(620)	0	VSXTK20	6000910200020A
	1	VT8SZ60	6000910600020A
羅斯福幹線	0	VDTJW00	6006712700020A
	1	VDTJW00	6006712300020A
578	0	V0120C0	2000200000060A
	1	V03E0G1	2000200100060A
579	0	V0120C0	2000200000060A
	1	V03E0G1	2000200100060A
582	0	V0120C0	2000200000060A
	1	V03E0G1	2000200100060A

註解：656 路線行經道路之地方 VD 資料有問題，無法對應交通量資訊。

②數據融合

各資料在正規化後，資料面向包含日期、車載機、氣象、車輛、營運路線、道路環境、地方VD，依照各模型需求進行資料整併，以 pentaho 進行資料 ETL(Extract-Transform-Load) 整合作業，各資料面向依據相同車號、班次進行資料整合，如圖 4.3.3、圖 4.3-4 所示，彙整至模型輸入之資料格式，並存放至 Microsoft SQL Server 資料庫。



```
12 /***** 1. 資料整合 *****/
13 INSERT INTO [dbo].[OUTPUT_MODEL_DATA] ([ROW_ID], [SubRouteID], [SubRouteID_Chk], [PlateNo], [Direction], [FIRST_STOP_TIME], [LAST_STOP_TIME])
14 SELECT [ROW_ID], [SubRouteID], [SubRouteID_Chk], [PlateNo], [Direction], [FIRST_STOP_TIME], [LAST_STOP_TIME]
15 FROM [dbo].[ETL_SCHEDULE_TRANSFORM_BY_ADHIS]
16
17 /***** 2. 彙整至模型輸入 *****/
18 UPDATE T SET T.[Number_of_Intersections] = i2.[Number_of_Intersections]
19 , T.[Number_of_Stops] = i2.[Number_of_Stops]
20 , T.[Dir_Lane] = i2.[Dir_Lane]
21 , T.[River_Cross] = i2.[River_Cross]
22 , T.[Battery_Age] = i2.[Battery_Age], COALESCE([FIRST_STOP_TIME], 1) + CASE WHEN DATAPART([DAY], [FIRST_STOP_TIME]) > DATAPART([DAY], [Battery_Age]) THEN 1 ELSE 0 END
23 , T.[Dir_Type] = i2.[Dir_Type]
24 , T.[Battery_Capacity] = i2.[Battery_Capacity]
25 , T.[Motor_Power] = i2.[Motor_Power]
26 , T.[Route_Mile] = i2.[Route_Mile]
27 FROM T
28 , T.[Passenger_Avg] = i2.[Passenger_Avg]
29 LEFT JOIN [dbo].[ETL_SCHEDULE_TRANSFORM_BY_ADHIS] i2
30 ON T.[SubRouteID] = i2.[SubRouteID] and T.[Direction] = i2.[Direction]
31
32 /***** 3. 天氣數據整合 *****/
33 UPDATE T SET T.[Temp] = i3.[Temp], T.[Temperature] = i3.[Temperature]
34 FROM [dbo].[ETL_SCHEDULE_TRANSFORM_BY_ADHIS] T
35 , T.[Temp] = i3.[Temp]
36 , T.[Temperature] = i3.[Temperature]
37 LEFT JOIN [dbo].[ETL_SCHEDULE_TRANSFORM_BY_ADHIS] i3
38 ON T.[SubRouteID] = i3.[SubRouteID] and T.[Direction] = i3.[Direction]
39
40 CROSS APPLY
41 (SELECT TOP 1 [LocationID], [Date], [Temp], [Temperature] FROM [dbo].[RAW_OVS_OBSERVATION_DATA_TIME] i3
42 WHERE i3.[LocationID] = T.[LocationID]
43 AND i3.[Date] BETWEEN DATAPART([DAY], [FIRST_STOP_TIME], 1) AND DATAPART([DAY], [LAST_STOP_TIME], 1)) i4
44
45
```

圖 4.3.3 ETL 數據整合

route_name	TOTAL_VOLTAGE_max	TOTAL_VOLTAGE_min	TOTAL_VOLTAGE_mean	TOTAL_VOLTAGE_std	TOTAL_CURRENT_max	TOTAL_CURRENT_min	TOTAL_CURRENT_mean	TOTAL_CURRENT_std				
262	631.8	641.8	6.871344	664.1331	251.2	-103.0	67.07382					
262	631.8	641.8	6.871344	664.1331	251.2	-103.0	67.07382					
262	647.2	610.1	7.980478	830.5319	261.5	-103.6	76.89019					
262	662.0	626.3	8.124932	647.8557	243.7	-101.2	60.64251					
262	663.8	622.6	9.455561	644.7231	256.5	-108.7	60.87914					
TOTAL_CURRENT_min	TOTAL_CURRENT_max	TOTAL_CURRENT_mean	BATTERY_AVC_TEMP_min	BATTERY_AVC_TEMP_max	BATTERY_AVC_TEMP_mean	BATTERY_AVC_TEMP_std	SDC_ID					
-103.0	67.07382	34.98035	43.4	42.0	0.4720482	42.88030	24					
-111.2	72.31852	35.48986	42.0	41.4	0.3350864	41.74826	24					
-103.6	76.89019	38.74365	44.1	43.6	0.3303996	43.88063	26					
-101.2	60.64251	26.52294	42.4	41.7	0.18067123	42.04552	11					
-108.7	60.87914	33.34882	42.7	42.2	0.33949661	42.53331	15					
-104.2	62.01161	30.29504	40.6	38.5	0.36752102	40.33416	13					
Number_of_Intersections	Number_of_Stops	River_Cross	Temp	Temperature	Battery_Age	Car_Type	Battery_Capacity	Motor_Power				
122	72	1	1	0.0	33.4	24 RAC-700-ELCB-2800	282	189				
122	72	1	1	0.0	33.4	24 RAC-700-ELCB-2800	282	189				
122	72	1	1	0.0	33.4	24 RAC-700-ELCB-2800	282	189				
122	72	1	1	0.0	33.9	24 RAC-700-ELCB-2800	282	189				
Battery_Age	Car_Type	Battery_Capacity	Motor_Power	Route_Mile	Passenger_Avg	Volume_M	Volume_S	Volume_L	Pcu	Speed	Occupancy	weekend
24 RAC-700-ELCB-2800	282	189	26.9	36	184	1211	99	1414.7	46.601	5.294	0	
24 RAC-700-ELCB-2800	282	189	26.9	36	184	1211	99	1414.7	46.601	5.294	0	
24 RAC-700-ELCB-2800	282	189	26.9	36	184	1211	99	1414.7	46.601	5.294	0	
24 RAC-700-ELCB-2800	282	189	26.9	36	183	1172	88	1358.9	45.754	5.022	0	
24 RAC-700-ELCB-2800	282	189	26.9	36	195	1277	86	1464.5	44.895	5.244	0	
24 RAC-700-ELCB-2800	282	189	26.9	36	195	1277	86	1464.5	44.895	5.244	0	
24 RAC-700-ELCB-2800	282	189	26.9	36	196	1129	89	1321.3	47.335	4.572	0	
24 RAC-700-ELCB-2800	282	189	26.9	36	196	1129	89	1321.3	47.335	4.572	0	

圖 4.3.4 用電效率-營運特性數據驅動模型輸入資料

4.初探結果

(1)初探模型變數

依照前一小節所處理過後數據，彙整成各模型使用之變數欄位，使用資料面向如表 4.3-3 所示，模型依照資料特徵，進行變數對於模型之影響程度計算，進而篩選出各模型影響較大之變數。

表 4.3-3 用電效率-營運特性數據驅動模型輸入變數

變數名稱	中文說明	型態	範例
ROWID	班次流水號	INT	10000
TOTAL_VOLTAGE_max	總電壓最大值	FLOAT	681.6
TOTAL_VOLTAGE_min	總電壓最小值	FLOAT	641.8
TOTAL_VOLTAGE_sd	總電壓標準差	FLOAT	8.873144085
TOTAL_VOLTAGE_mean	總電壓平均數	FLOAT	664.1130792
TOTAL_CURRENT_max	總電流最大值	FLOAT	251.2
TOTAL_CURRENT_min	總電流最小值	INT	-103
TOTAL_CURRENT_sd	總電流標準差	FLOAT	67.07382235
TOTAL_CURRENT_mean	總電流平均數	FLOAT	34.99334828
BATTERY_AVG_TEMP_max	電池溫度最大值	FLOAT	43.4
BATTERY_AVG_TEMP_min	電池溫度最小值	FLOAT	42
BATTERY_AVG_TEMP_sd	電池溫度標準差	FLOAT	0.472045817
BATTERY_AVG_TEMP_mean	電池溫度平均值	FLOAT	42.66509716
DR_MILE_dff	班次實際里程	FLOAT	27.1
Start_SOC	起始 SOC	INT	76
SOC_dff	SOC 變化量	INT	14
RouteID	路線代碼	NVARCHAR	A
PlateNumb	車牌號碼	NVARCHAR	EAL-0152
ELECTRICITY_EFFICIENCY	用電效率	FLOAT	0.6738
Number_of_Intersections	停靠號誌化路口數	INT	122
Number_of_Stops	停靠站數	INT	72
Bus_Lane	是否有公車專用道	INT	1
River_Cross	是否跨河	INT	1
Precp	雨量	FLOAT	0
Temperature	氣溫	FLOAT	33.4
Battery_Age	電池年齡(月)	INT	24
Car_Type	車型	NVARCHAR	車型 C
Battery_Capacity	電池容量	INT	282
Motor_Power	馬達功率	INT	189
Route_Mile	路線里程	FLOAT	26.9

表 4.3-3 用電效率-營運特性數據驅動模型輸入變數(續 1)

變數名稱	中文說明	型態	範例
Passenger_Avg	每段次平均人次	INT	36
Volume_M	機慢車數量	INT	184
Volume_S	小型車數量	INT	1211
Volume_L	大型車數量	INT	99
Volume_T	聯結車數量	INT	0
Pcu	道路交通量	FLOAT	1414.7
Speed	道路平均速率	FLOAT	46.601
Occupancy	道路佔有率	FLOAT	5.294
weekend	平假日	NVARCHAR	1
Hour	時段	INT	8
Speed_mean	車輛速率平均值	FLOAT	21.7

(2)資料樣態分析

分析數據包含 10 條路線、涵蓋 3 種車型，資料品質彙整如表 4.3-4~4.3-6，總原始資料班次數為 147,475 筆。依照各欄位特性，剔除缺失與異常資料，剩餘 119,090 筆，約占原始班次 80.75%。車載數據相關欄位缺失與異常比例皆不高於 3.50%，資料品質穩定度高，數據樣態與原始數據差異不大。

用電效率-營運特性數據驅動模型描述性統計如表 4.3-7 所示，依據描述性統計結果，對多欄位進行極端值排除，如車載機回傳電流、電壓、電池溫度等，其超過標準差 3 倍以上或為 0 的資料、無氣溫(包含氣溫為 0)、用電效率小於 0.2 或大於 1.5 等資料，進行初步極端值排除後，仍有部分極值存在，因首次針對所有欄位進行模型建立，因此以保留原始資料樣態為原則，先進行初探，再建立後針對異常值給予更嚴格篩選條件，以免造成建立初期資料量過度流失情形。

表 4.3-4 用電效率-營運特性數據驅動模型路線資料品質

路線	原始班次數	清理後班次數	輸入模型資料比例
路線 A	18,119	14,935	82.4%
路線 B	36,592	28,530	78.0%
路線 C	20,871	17,717	84.9%
路線 D	12,210	9,302	76.2%
路線 E	7,802	6,333	81.2%
路線 F	6,988	5,424	77.6%
路線 G	9,202	7,063	76.8%
路線 H	8,963	6,742	75.2%
路線 I	6,630	5,432	81.9%
路線 J	20,098	17,612	87.6%

資料來源：本計畫彙整。

表 4.3-5 用電效率-營運特性數據驅動模型車型資料品質

車型	原始班次數	清理後班次數	輸入模型資料比例
車型 A	44,863	36,537	81.4%
車型 B	33,712	27,109	80.4%
車型 C	68,900	55,444	80.5%

資料來源：本計畫彙整。

表 4.3-6 用電效率-營運特性數據驅動模型資料品質

變數名稱	缺失值	極端值	缺失與異常比例
總電壓最大值	0	3,836	2.46%
總電壓最小值	0	3,898	2.50%
總電壓標準差	164	587	0.48%
總電壓平均數	0	3,639	2.34%
總電流最大值	0	4,366	2.80%
總電流最小值	0	193	0.12%
總電流標準差	164	4,155	2.77%
總電流平均數	0	146	0.09%
電池溫度最大值	0	124	0.08%
電池溫度最小值	0	8	0.01%
電池溫度標準差	164	0	0.11%
電池溫度平均數	0	45	0.03%
SOC 變化量	0	379	0.24%
路線名稱	0	0	0.00%
車牌號碼	0	0	0.00%
用電效率	5,044	407	3.50%
停靠號誌化路口數	0	0	0.00%
停靠站數	0	0	0.00%
是否有公車專用道	0	0	0.00%
是否跨河	0	0	0.00%
雨量	4,906	0	3.15%
氣溫	1	27,163	17.44%
電池年齡(月)	0	0	0.00%
車型	0	0	0.00%
電池容量	0	0	0.00%
馬達功率	0	0	0.00%
路線里程	0	0	0.00%
每段次平均人次	0	0	0.00%
機慢車數量	21,630	0	13.89%
小型車數量	21,630	0	13.89%
大型車數量	21,630	0	13.89%
道路交通量	21,630	0	13.89%
平均速率	21,630	0	13.89%
佔有率	21,630	0	13.89%
平假日	0	0	0.00%
時段	0	0	0.00%
車輛速率平均值	0	0	0.00%

資料來源：本計畫彙整。

表 4.3-7 用電效率-營運特性數據驅動模型描述性統計

中文說明	極小值	第一四分位數	中位數	平均數	第三四分位數	極大值	標準差
總電壓最大值	572.40	628.00	639.90	642.40	655.80	703.20	23.53
總電壓最小值	497.50	605.70	617.40	619.90	628.10	697.60	24.65
總電壓標準差	0.33	2.89	3.75	4.50	5.67	30.44	2.17
總電壓平均數	533.80	618.30	632.10	632.90	641.20	700.10	23.56
總電流最大值	18.80	246.90	258.00	284.80	323.00	500.00	61.71
總電流最小值	-287.50	-140.90	-117.20	-123.70	-99.10	39.50	34.72
總電流標準差	1.34	54.21	61.44	63.45	70.47	185.09	14.03
總電流平均數	-27.82	27.38	31.40	32.90	36.92	93.42	8.08
電池溫度最大值	14.00	28.00	34.20	33.18	38.20	81.40	6.23
電池溫度最小值	23.00	27.00	33.10	32.09	37.10	46.00	6.15
電池溫度標準差	0.00	0.08	0.17	0.27	0.40	5.11	0.30
電池溫度平均值	12.18	27.55	33.65	32.62	37.65	46.54	6.14
SOC 變化量	1.00	5.00	9.00	9.83	14.00	35.00	5.72
用電效率	0.26	0.66	0.75	2.20	0.90	7.45	0.24
停靠號誌化路口數	32.00	41.00	52.00	64.74	84.00	133.00	29.62
停靠站數	2.00	21.00	33.00	33.89	41.00	77.00	20.79
雨量	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	90.00	3.08
氣溫	18.10	27.40	29.80	29.44	32.00	37.70	3.53
電池年齡(月)	2.00	13.00	17.00	16.79	23.00	28.00	7.34
每段次平均人次	10.00	23.00	28.00	27.21	36.00	36.00	8.41
機慢車數量	0.00	23.00	108.00	170.90	268.00	1444.00	182.57
小型車數量	0.00	186.00	475.00	661.90	805.00	2854.00	658.54
大型車數量	0.00	34.00	83.00	105.70	145.00	792.00	96.10
道路交通量	1.00	337.90	733.40	871.70	1100.80	3048.30	694.48
道路平均速率	13.06	36.69	41.83	42.45	46.07	74.15	9.83
道路佔有率	0.03	2.05	4.63	7.07	11.40	70.35	6.62
平假日	0	0	0	0.22	0	1	0.41
時段	0	9	13	13.28	17	23	4.88
車輛速率平均值	1.33	13.83	15.15	15.42	16.65	39.46	2.63

資料來源：本計畫彙整。

(3)變數相關性分析

由表 4.3-8 所顯示，起始 SOC、電池溫度、道路交通量、平假日、時段等欄位與用電效率皆呈現中低度相關，研判因變數與用電效率皆可能不為線性關係，或可能為多變量關係，因此於單一相關係數實際數值無法呈現高度相關，將納入模型後觀察欄位現象。

其中部分影響變數欄位之間呈現高度相關，如電池容量與電池溫度、小型車輛數與道路交通量皆呈現高度相關，最終模型如使用有母數方法，須留意共線性問題，考慮是否剔除其中影響度較低的變數。

表 4.3-8 用電效率-營運特性數據驅動模型變數相關分析

相關係數	起始SOC	電池溫度 最大值	電池溫度 最小值	電池溫度 標準差	電池溫度 平均值	班次實際 里程	用電效率	停靠站數 化路口數	停靠站數 口+站數	號誌化路 口+站數	雨量	氣溫	電池年齡 (月)	電池容量	馬達功率	路線里程	每段次平 均人次	機車車 數量	小型車 數量	大型車 數量	道路 交通量	道路平均 速率	道路佔有 率	平假日	時段	車輛速度 平均值	車輛速度 標準差
起始SOC	1																										
電池溫度最大值	-0.066	1																									
電池溫度最小值	-0.068	0.989	1																								
電池溫度標準差	0.059	-0.341	-0.441	1																							
電池溫度平均值	-0.065	0.997	0.995	-0.397	1																						
班次實際里程	0.098	-0.282	-0.322	0.316	-0.295	1																					
用電效率	0.135	-0.144	-0.140	0.004	-0.140	0.453	1																				
停靠站數	0.118	-0.570	-0.608	0.495	-0.587	0.779	0.263	1																			
停靠站數化路口數	0.096	-0.271	-0.308	0.279	-0.282	0.898	0.306	0.839	1																		
號誌化路口+站數	0.111	-0.428	-0.467	0.396	-0.442	0.879	0.298	0.953	0.965	1																	
雨量	-0.004	0.002	0.000	0.006	0.001	0.014	0.043	0.000	0.006	0.004	1																
氣溫	-0.063	0.275	0.249	0.125	0.263	0.109	-0.122	0.080	0.053	0.068	-0.133	1															
電池年齡(月)	0.081	-0.143	-0.175	0.188	-0.151	0.850	0.372	0.631	0.877	0.795	0.020	0.171	1														
電池容量	-0.054	0.737	0.760	-0.559	0.756	-0.322	-0.148	-0.696	-0.258	-0.482	0.009	-0.091	-0.133	1													
馬達功率	0.054	-0.737	-0.760	0.559	-0.756	0.322	0.148	0.696	0.258	0.482	-0.009	0.091	0.133	-1.000	1												
路線里程	0.068	-0.298	-0.334	0.287	-0.309	0.907	0.324	0.816	0.985	0.945	0.006	0.058	0.906	-0.295	0.295	1											
每段次平均人次	-0.075	0.676	0.707	-0.533	0.694	-0.603	-0.270	-0.787	-0.554	-0.691	0.003	-0.082	-0.546	0.866	-0.866	-0.612	1										
機車數量	-0.072	0.115	0.105	-0.099	0.118	0.411	0.106	0.113	0.495	0.330	-0.003	-0.080	0.539	0.325	-0.325	0.509	-0.008	1									
小型車數量	-0.068	0.048	0.050	-0.100	0.053	0.125	-0.084	0.022	0.195	0.119	0.037	-0.014	0.270	0.211	-0.211	0.195	0.041	0.458	1								
大型車數量	0.021	0.021	0.016	-0.059	0.025	0.302	0.012	0.139	0.387	0.283	0.026	-0.034	0.425	0.177	-0.177	0.381	-0.063	0.613	0.784	0.862	1						
道路交通量	-0.061	0.057	0.057	-0.103	0.062	0.201	-0.052	0.054	0.280	0.182	0.034	-0.027	0.353	0.239	-0.239	0.282	0.022	0.594	0.984	0.056	0.065	1					
道路平均速率	0.095	-0.016	-0.030	0.042	-0.017	0.042	0.172	0.331	0.526	0.454	-0.060	0.080	0.570	0.033	-0.033	0.543	-0.243	0.407	0.002	0.056	0.065	1					
道路佔有率	-0.020	0.059	0.054	-0.020	0.058	0.092	-0.057	0.037	0.111	0.080	0.065	0.108	0.182	0.065	-0.065	0.115	-0.032	0.094	0.636	0.519	0.602	-0.329	1				
平假日	0.014	0.026	0.028	-0.017	0.027	-0.006	0.092	-0.029	-0.015	-0.022	-0.007	0.016	-0.015	0.045	-0.045	-0.019	0.052	-0.055	-0.105	-0.133	-0.112	0.069	-0.190	1			
時段	-0.617	0.084	0.082	-0.028	0.082	-0.024	0.003	-0.051	-0.006	-0.028	0.039	0.087	-0.010	0.074	-0.074	-0.005	0.085	0.091	0.073	0.000	0.071	-0.122	0.052	0.034	1		
車輛速度平均值	0.083	0.010	0.067	-0.145	0.044	0.038	0.457	0.168	0.168	0.168	-0.011	-0.110	0.000	0.000	0.000	-0.168	0.000	-0.193	-0.411	-0.174	-0.392	0.219	-0.397	0.305	0.037	1	
車輛速度標準差	0.113	0.080	0.145	-0.141	0.121	0.079	0.309	0.134	0.134	0.134	-0.029	0.003	0.063	0.000	0.000	-0.134	0.000	-0.169	-0.293	-0.095	-0.272	0.135	-0.257	-0.059	0.756	1	

(4)模型建立-資料群集測試

①全路線模型

將所有分析對象路線，不分路線特性，測試所有路線對於模型之反應程度，說明如下：

A.模型參數

本計畫使用 Python 語言中的擴充套件 scikit-learn 內之 RandomForestRegressor 模組執行隨機森林模式構建，設定訓練 500 棵樹，RandomForestRegressor 建模與預測函數為：

```
model = RandomForestRegressor(n_estimators  
= 500,random_state = 0)
```

```
model.fit(x_train,y_train)
```

```
y_pred = model.predict(x_test)
```

B.變數選擇

依照前章節所處理過後數據，彙整成各模型使用之變數欄位，各模型使用資料面向如表 4.3-9 所示，模型依照資料特徵，進行變數對於模型之影響程度計算，進而篩選出各模型影響較大之變數。

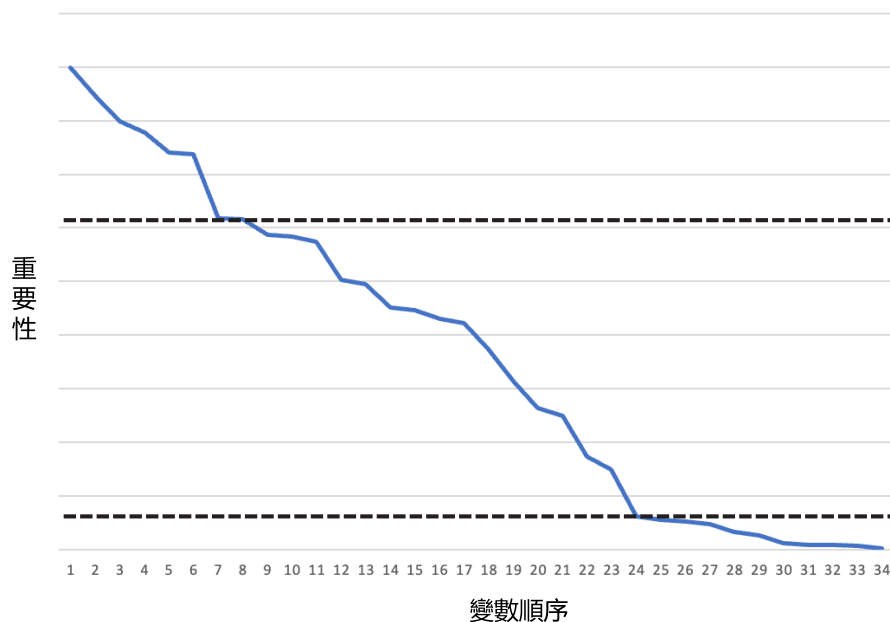


圖 4.3.5 用電效率-營運特性數據驅動模型變數重要性曲線

表 4.3-9 用電效率-營運特性數據驅動模型(全路線模型)變數重要性順序

順序	變數名稱	重要性程度	順序	變數名稱	重要性程度
1	總電流平均數	183.3	13	道路交通量	37.9
2	總電壓標準差	153.9	14	總電流標準差	35.0
3	電池年齡(月)	81.2	15	停靠號誌化路口數	31.1
4	道路佔有率	77.6	16	大型車數量	29.8
5	路線里程	76.7	17	總電流最小值	29.2
6	車牌號碼	63.5	18	電池溫度標準差	28.2
7	氣溫	62.4	19	道路平均速率	27.3
8	總電壓最小值	60.6	20	機慢車數量	25.8
9	總電流最大值	59.0	21	電池溫度平均值	21.9
10	總電壓平均數	51.1	22	電池溫度最大值	19.3
11	總電壓最大值	42.2	23	電池溫度最小值	16.8
12	小型車數量	39.2	24	雨量	3.3

C.模型初步建立成果

模型結果輸入變數：依照前章節所處理過後數據，彙整成各模型使用之變數欄位，各模型使用資料面向如表 4.3-10 示，模型依照資料特徵，進行變數對於模型之影響程度計算，進而篩選出各模型影響較大之變數。

模型結果輸出：模型預測結果如表 4.3-11 所示，欄位包含用電效率及路線預測結果。

模型驗證：使用 10 條路線 4 個月數據所建立用電效率-營運數據驅動模型驗證，模型 MAPE 超過 50%，車載設備、路線特性與天氣特性皆有變數呈現部分關聯，並選入影響因素之一，但全路線模型預測誤差明顯較大，故接續依據路線特性分模型建立與驗證，以利降低模型 MAPE 值，提高模型預測準確度。

表 4.3-10 用電效率-營運特性數據驅動模型(全路線模型)變數

變數名稱	中文說明	型態	範例
BATTERY_AVG_TEMP_max	電池溫度最大值	FLOAT	43.4
TOTAL_CURRENT_mean	總電流平均數	FLOAT	34.9933483
TOTAL_CURRENT_sd	總電流標準差	FLOAT	67.0738224
TOTAL_VOLTAGE_sd	總電壓標準差	FLOAT	8.87314409
BATTERY_AVG_TEMP_sd	電池溫度標準差	FLOAT	0.47204582
TOTAL_CURRENT_max	總電流最大值	FLOAT	251.2
TOTAL_CURRENT_min	總電流最小值	FLOAT	-103
Speed	道路平均速率	FLOAT	46.601
Occupancy	道路佔有率	FLOAT	5.294
Temperature	氣溫	FLOAT	33.4
Pcu	道路交通量	FLOAT	1414.7
Volume_L	大型車數量	INT	99
TOTAL_VOLTAGE_mean	總電壓平均數	FLOAT	664.113079
TOTAL_CURRENT_max	總電流最大值	FLOAT	251.2
PlateNumb	車牌號碼	NVARCHAR	EAL-0152
TOTAL_VOLTAGE_min	總電壓最小值	FLOAT	641.8
Volume_M	機慢車數量	INT	184
SOC_dff	SOC 變化量	INT	14
BATTERY_AVG_TEMP_min	電池溫度最小值	FLOAT	42
Battery_Age	電池年齡(月)	INT	24
Precp	雨量	FLOAT	0
Number_of_Intersections	停靠號誌化路口數	INT	122

表 4.3-11 用電效率-營運驅動模型(全路線模型)預測結果輸出

變數名稱	中文名稱	範例
ELECTRICITY EFFICIENCY	用電效率	0.6737
RouteID	路線代碼	B

②模型建立-第一群

依照公車路線特性，篩選路線行經範圍涵蓋 40%以上公車專用道路線，且路線長度相近路線，篩選出路線 B 與路線 C，進行第一群路線模型建置初探。

A.模型參數設定

使用 Python 語言中的擴充套件 scikit-learn 內之 RandomForestRegressor 模組執行隨機森林模式構建，設定訓練 500 棵樹。

B.變數選擇

依照前章節所處理過後數據，彙整成各模型使用之變數欄位，各模型使用資料面向如表 4.3-12 所示，模型依照資料特徵，進行變數對於模型之影響程度計算，進而篩選出各模型影響較大之變數。

表 4.3-12 用電效率-營運特性數據驅動模型(第一群)變數重要性順序

順序	變數名稱	重要性程度	順序	變數名稱	重要性程度
1	總電壓標準差	162.9	12	電池容量	10.9
2	總電流平均數	115.5	13	停靠站數	10.0
3	道路佔有率	48.0	14	每段次平均人次	9.6
4	氣溫	31.8	15	停靠號誌化路口數	8.2
5	道路交通量	20.6	16	電池年齡(月)	7.4
6	小型車數量	19.6	17	路線里程	4.8
7	道路平均速率	15.7	18	是否跨河	1.8
8	機慢車數量	14.2	19	平假日	1.8
9	電池溫度平均值	11.8	20	雨量	1.8
10	車型	11.4	21	路線	1.5
11	大型車數量	11.4	22	馬達功率	1.0

C.模型初步建立成果

模型結果輸入變數：依照前章節所處理過後數據，彙整成各模型使用之變數欄位，各模型使用資料面向如表 4.3-13 示，模型依照資料特徵，進行變數對於模型之影響程度計算，進而篩選出各模型影響較大之變數。

模型結果輸出：模型預測結果如表 4.3-14 所示，欄位包含用電效率及路線預測結果。

模型驗證：使用 2 條路線 4 個月數據所建立用電效率-營運數據驅動模型(第一群)驗證，模型 MAPE 值為 9.2%，後續將再評估重要性較低變數是否於其他路線測試可進行剔除，以減少變數數量過多之影響。

表 4.3-13 用電效率-營運特性數據驅動模型(第一群)模型變數

變數名稱	中文說明	型態	範例
TOTAL_VOLTAGE_sd	總電壓標準差	FLOAT	8.87314409
TOTAL_CURRENT_mean	總電流平均數	FLOAT	34.9933483
Occupancy	道路佔有率	FLOAT	5.294
Temperature	氣溫	FLOAT	33.4
BATTERY_AVG_TEMP_mean	電池溫度平均值	FLOAT	42.6650972
Speed	道路平均速率	FLOAT	46.601
Volume_S	小型車數量	INT	1211
Battery_Age	電池年齡(月)	INT	24
Volume_M	機慢車數量	INT	184
Volume_L	大型車數量	INT	99
Car_Type	車型	NVARCHAR	車型 C
Passenger_Avg	每段次平均人次	INT	36
Route_Mile	路線里程	FLOAT	26.9
Battery_Capacity	電池容量	INT	282
Number_of_Intersections	停靠號誌化路口數	INT	122
Number_of_Stops	停靠站數	INT	72
Precp	雨量	FLOAT	0
weekend	平假日	NVARCHAR	1
River_Cross	是否跨河	INT	1
Motor_Power	馬達功率	INT	189
RouteID	路線代碼	NVARCHAR	C

表 4.3-14 用電效率-營運驅動模型(第一群)預測結果輸出

變數名稱	中文名稱	範例
ELECTRICITY_EFFICIENCY	用電效率	0.6737
RouteID	路線代碼	C

③模型建立-第二群

依照公車路線特性並扣除第一群，篩選路線里程長度相近、服務行經地區特性相近且無山區路段路線，篩選路線 E、路線 F 與路線 G，進行第二群路線模型建置初探。

A.模型參數設定

使用 Python 語言中的擴充套件 scikit-learn 內之 RandomForestRegressor 模組執行隨機森林模式構建，設定訓練 500 棵樹。

B.變數選擇

依照前章節所處理過後數據，彙整成各模型使用之變數欄位，各模型使用資料面向如表 4.3-15 所示，模型依照資料特徵，進行變數對於模型之影響程度計算，進而篩選出各模型影響較大之變數。

表 4.3-15 用電效率-營運特性數據驅動模型(第二群)變數重要性順序

順序	變數名稱	重要性程度	順序	變數名稱	重要性程度
1	總電壓最小值	77.4	9	道路交通量	6.0
2	停靠站數	46.4	10	大型車數量	4.7
3	路線里程	39.2	11	停靠號誌化路口數	2.3
4	機慢車數量	25.4	12	電池年齡(月)	2.2
5	道路平均速率	21.1	13	每段次平均人次	1.8
6	道路佔有率	15.3	14	路線代碼	1.8
7	氣溫	8.5	15	雨量	0.7
8	小型車數量	6.8	16	平假日	0.7

C.模型初步建立成果

模型結果輸入變數：依照前章節所處理過後數據，彙整成各模型使用之變數欄位，各模型使用資料面向如表 4.3-16 示，模型依照資料特徵，進行變數對於模型之影響程度計算，進而篩選出各模型影響較大之變數。

模型結果輸出：模型預測結果如表 4.3-17 所示，欄位包含用電效率及路線預測結果。

模型驗證：使用 3 條路線 4 個月數據所建立用電效率-營運數據驅動模型(第二群)驗證，模型 MAPE 值為 10.4%，後續建議再增加路線數量，驗證此模型之穩定性及可靠度。

表 4.3-16 用電效率-營運特性數據驅動模型(第二群)模型變數

變數名稱	中文說明	型態	範例
TOTAL_VOLTAGE_min	總電壓最小值	FLOAT	641.8
Route_Mile	路線里程	FLOAT	26.9
Speed	道路平均速率	FLOAT	46.601
Temperature	氣溫	FLOAT	33.4
Number_of_Stops	停靠站數	INT	72
Occupancy	道路佔有率	FLOAT	5.294
Volume_M	機慢車數量	INT	184
Volume_S	小型車數量	INT	1211
Pcu	道路交通量	INT	1414.7
Volume_L	大型車數量	INT	99
Battery_Age	電池年齡(月)	INT	24
Number_of_Intersections	停靠號誌化路口數	INT	122
Passenger_Avg	每段次平均人次	INT	36
RouteID	路線代碼	NVARCHAR	E
Precp	雨量	FLOAT	0
weekend	平假日	NVARCHAR	1

表 4.3-17 用電效率-營運驅動模型(第二群)預測結果輸出

變數名稱	中文名稱	範例
ELECTRICITY_EFFICIENCY	用電效率	0.6737
RouteID	路線代碼	E

④模型建立-第三群

依照公車路線特性並扣除第一群及第二群，篩選路線里程長度相近、服務行經地區特性相近且貫通郊區至市區路線，篩選路線 D、路線 I 與路線 J，進行第三群路線模型建置。

A.模型參數設定

使用 Python 語言中的擴充套件 scikit-learn 內之 RandomForestRegressor 模組執行隨機森林模式構建，設定訓練 500 棵樹。

B.變數選擇

依照前章節所處理過後數據，彙整成各模型使用之變數欄位，各模型使用資料面向如表 4.3-18 所示，模型依照資料特徵，進行變數對於模型之影響程度計算，進而篩選出各模型影響較大之變數。

表 4.3-18 用電效率-營運特性數據驅動模型(第三群)變數重要性順序

順序	變數名稱	重要性程度	順序	變數名稱	重要性程度
1	電池年齡(月)	100.1	9	氣溫	8.6
2	總電流最大值	35.4	10	大型車數量	6.3
3	總電流平均數	20.3	11	總電流最小值	6.0
4	總電流標準差	13.2	12	道路佔有率	6.0
5	總電壓標準差	10.4	13	路線里程	5.7
6	小型車數量	10.2	14	機慢車數量	4.8
7	停靠站數	8.9	15	總電壓平均數	4.7
8	道路交通量	8.7	16	總電壓最小值	4.7

C.模型初步建立成果

模型結果輸入變數：依照前章節所處理過後數據，彙整成各模型使用之變數欄位，各模型使用資料面向如表 4.3-19 示，模型依照資料特徵，進行變數對於模型之影響程度計算，進而篩選出各模型影響較大之變數。

模型結果輸出：模型預測結果如表 4.3-20 所示，欄位包含用電效率、路線及車型預測結果。

模型驗證：使用 3 條路線 4 個月數據所建立用電效率-營運數據驅動模型(第三群)驗證，模型 MAPE 值為 9.4%，後續建議再增加路線數量，驗證此模型之穩定性及可靠度。

表 4.3-19 用電效率-營運特性數據驅動模型(第三群)模型變數

變數名稱	中文說明	型態	範例
TOTAL_VOLTAGE_min	總電壓最小值	FLOAT	641.8
TOTAL_VOLTAGE_sd	總電壓標準差	FLOAT	8.9
TOTAL_VOLTAGE_mean	總電壓平均數	FLOAT	664.1
TOTAL_CURRENT_max	總電流最大值	FLOAT	251.2
TOTAL_CURRENT_min	總電流最小值	INT	-103
TOTAL_CURRENT_sd	總電流標準差	FLOAT	67.1
TOTAL_CURRENT_mean	總電流平均數	FLOAT	35.0
Number_of_Stops	停靠站數	INT	72
Temperature	氣溫	FLOAT	33.4
Battery_Age	電池年齡(月)	INT	24
Route_Mile	路線里程	FLOAT	26.9
Volume_M	機慢車數量	INT	184
Volume_S	小型車數量	INT	1211
Volume_L	大型車數量	INT	99
Pcu	道路交通量	FLOAT	1414.7
Occupancy	道路佔有率	FLOAT	5.3

表 4.3-20 用電效率-營運驅動模型(第三群)預測結果輸出

變數名稱	中文名稱	範例
ELECTRICITY_EFFICIENCY	用電效率	0.8614
RouteID	路線代碼	J

(5)模型方法比較

依據前述(4)模型建立-資料群集測試分析結果，本計畫針對第三群路線資料，建立不同種類模型，並測試其不同模型預測效果差異。此外，期末階段因應第三章營運數據關鍵指標分析觀察結果，再納入如起始 SOC、車輛速率平均值及時段等可能影響模型分析結果之變數。

①回歸模型-貝氏線性回歸

A.模型建立與參數設定

使用 python 程式語言 scikit-learn 套件內之 BayesianRidge 模組建立貝氏線性回歸模型。

B.變數選擇

依照前章節所處理過後數據，將資料拆分為訓練集與測試集，輸入模型中進行訓練與測試，並藉由模型回饋之變數權重調整輸入變數組合，最終投入模型變數依權重排序如表 4.3-21 所示。

表 4.3-21 指數回歸輸入變數權重排序

順序	變數名稱	權重
1	道路平均速率	0.0057
2	總電流平均數	-0.129

C.模型初步建立成果

模型輸入變數：依前述變數選擇之最終輸入模型變數，針其欄位說明如下表 4.3-22。

模型預測結果輸出：模型預測結果如表 4.3-23 所示，欄位包含用電效率及路線預測結果。

模型驗證：使用 3 條路線 4 個月數據所建立用電效率-營運數據驅動模型(第三群)之測試資料集進行驗證，模型 MAPE 值為 18.59%，惟其自變數與因變數間並不具線性關係，因此貝氏線性回歸模型不適用於用電效率-營運數據驅動模型。

表 4.3-22 用電效率-營運特性數據驅動模型模型變數

變數名稱	中文說明	型態	範例
TOTAL_CURRENT_mean	總電流平均數	FLOAT	35.0
Speed	道路平均速率	FLOAT	46.6

表 4.3-23 用電效率-營運驅動模型預測結果輸出

變數名稱	中文名稱	範例
ELECTRICITY_EFFICIENCY	用電效率	0.7463
RouteID	路線代碼	I

② 回歸模型-指數回歸

A. 模型建立與參數設定

使用 python 程式語言 statsmodels 套件建立指數回歸模型。

B. 變數選擇

依照前章節所處理過後數據，將資料拆分為訓練集與測試集，輸入模型中進行訓練與測試，並藉由模型回饋之變數權重調整輸入變數組合，最終投入模型變數依權重排序如表 4.3-24 所示。

表 4.3-24 指數回歸輸入變數權重排序

順序	變數名稱	權重
1	車輛速率平均值	0.343
2	班次實際里程	0.1949
3	起始 SOC	0.0873
4	電池溫度最大值	0.0404
5	時段	0.0367
6	平假日	0
7	道路交通量	-0.0201
8	氣溫	-0.2261

C.模型初步建立成果

模型輸入變數：依前述變數選擇之最終輸入模型變數，針其欄位說明如下表 4.3-25。

模型預測結果輸出：模型預測結果如表 4.3-26 所示，欄位包含用電效率及路線預測結果。

模型驗證：使用 3 條路線 4 個月數據所建立用電效率-營運數據驅動模型(第三群)之測試資料集進行驗證，模型 MAPE 值為 15.05%，但其部分變數間具共線性且自變數與因變數間並不具指數關係，因此指數回歸模型不適用於用電效率-營運數據驅動模型。

表 4.3-25 用電效率-營運特性數據驅動模型模型變數

變數名稱	中文說明	型態	範例
BATTERY_AVG_TEMP_max	電池溫度最大值	FLOAT	43.4
DR_MILE_dff	班次實際里程	FLOAT	27.1
Start_SOC	起始 SOC	INT	76
Temperature	氣溫	FLOAT	33.4
Pcu	道路交通量	FLOAT	1414.7
weekend	平假日	NVARCHAR	1
Hour	時段	INT	8
Speed_mean	車輛速率平均值	FLOAT	21.7

表 4.3-26 用電效率-營運驅動模型預測結果輸出

變數名稱	中文名稱	範例
ELECTRICITY_EFFICIENCY	用電效率	0.79727
RouteID	路線代碼	I

③回歸模型-分層回歸

A.模型建立與參數設定

使用 python 程式語言 statsmodels 套件建立分層回歸模型。

B.變數選擇

依照前章節所處理過後數據，將資料拆分為訓練集與測試集，輸入模型中進行訓練與測試，並藉由模型回饋之變數權重調整輸入變數組合，最終投入模型變數依權重排序如表 4.3-27 所示。

表 4.3-27 指數回歸輸入變數權重排序

順序	變數名稱	權重
1	車輛速率平均值	0.017
2	班次實際里程	0.012
3	平假日	0.01
4	時段	0.005
5	起始 SOC	0.002
6	電池溫度最大值	0.001
7	道路交通量	0
8	氣溫	-0.007

C.模型初步建立成果

模型輸入變數：依前述變數選擇之最終輸入模型變數，針其欄位說明如下表 4.3-28。

模型預測結果輸出：模型預測結果如表 4.3-29 所示，欄位包含用電效率及路線預測結果。

模型驗證：使用 3 條路線 4 個月數據所建立用電效率-營運數據驅動模型(第三群)之測試資料集進行驗證，模型 MAPE 值為 15.91%，但其部分變數間具共線性且自變數與因變數間並不具線性關係，因此分層回歸模型不適用於用電效率-營運數據驅動模型。

表 4.3-28 用電效率-營運特性數據驅動模型模型變數

變數名稱	中文說明	型態	範例
BATTERY_AVG_TEMP_max	電池溫度最大值	FLOAT	43.4
DR_MILE_dff	班次實際里程	FLOAT	27.1
Start_SOC	起始 SOC	INT	76
Temperature	氣溫	FLOAT	33.4
Pcu	道路交通量	FLOAT	1414.7
weekend	平假日	NVARCHAR	1
Hour	時段	INT	8
Speed_mean	車輛速率平均值	FLOAT	21.7

表 4.3-29 用電效率-營運驅動模型預測結果輸出

變數名稱	中文名稱	範例
ELECTRICITY_EFFICIENCY	用電效率	0.7943
RouteID	路線代碼	I

④機器學習-隨機森林

A.模型建立與參數設定

使用 python 程式語言 scikit-learn 套件內之 RandomForestRegressor 模組，建立機器學習中隨機森林模型，設定模型參數為 500 棵樹。

B.變數選擇

依照前章節所處理過後數據，將資料拆分為訓練集與測試集，輸入模型中進行訓練與測試，並藉由模型回饋之變數重要程度調整輸入變數組合，最終投入模型變數依重要程度排序如表 4.3-30 所示。

表 4.3-30 隨機森林輸入變數重要性順序

順序	變數名稱	重要程度	順序	變數名稱	重要程度
1	班次實際里程	0.43	6	電池溫度最大值	0.06
2	車輛速率平均值	0.17	7	時段	0.05
3	氣溫	0.1	8	停靠號誌化路口數	0.01
4	起始 SOC	0.08	9	停靠站數	0.01
5	電池年齡(月)	0.08	10	平假日	0.01

C.模型初步建立成果

模型輸入變數：依前述變數選擇之最終輸入模型變數，針其欄位說明如下表 4.3-31。

模型預測結果輸出：模型預測結果如表 4.3-32 所示，欄位包含用電效率及路線預測結果。

模型驗證：使用 3 條路線 4 個月數據所建立用電效率-營運數據驅動模型(第三群)之測試資料集進行驗證，模型 MAPE 值為 9.35%，後續建議再增加路線數量，驗證此模型之穩定性及可靠度。

表 4.3-31 用電效率-營運特性數據驅動模型模型變數

變數名稱	中文說明	型態	範例
BATTERY_AVG_TEMP_max	電池溫度最大值	FLOAT	43.4
DR_MILE_dff	班次實際里程	FLOAT	27.1
Start_SOC	起始 SOC	INT	76
Number_of_Intersections	停靠號誌化路口數	INT	122
Number_of_Stops	停靠站數	INT	72
Temperature	氣溫	FLOAT	33.4
Battery_Age	電池年齡(月)	INT	24
weekend	平假日	NVARCHAR	1
Hour	時段	INT	8
Speed_mean	車輛速率平均值	FLOAT	21.7

表 4.3-32 用電效率-營運驅動模型預測結果輸出

變數名稱	中文名稱	範例
ELECTRICITY_EFFICIENCY	用電效率	0.8369
RouteID	路線代碼	I

⑤機器學習-極限梯度提升模型(XGBoost)

A.模型建立與參數設定

使用 python 程式語言 scikit-learn 套件內之 xgboost 模組建立機器學習中極限梯度提升模型(eXtreme Gradient Boosting)，調整模型參數設定：弱學習器最大個數(n_estimators):200、學習速率(learning_rate):0.4、樹的最大深度(max_depth):3、最小葉子節點(min_child_weight):1。

B.變數選擇

依照前章節所處理過後數據，將資料拆分為訓練集與測試集，輸入模型中進行訓練與測試，並藉由模型回饋之變數重要程度調整輸入變數組合，最終投入模型變數依重要程度排序如表 4.3-33 所示。

表 4.3-33 機器學習(xgboost)輸入變數重要性順序

順序	變數名稱	重要程度	順序	變數名稱	重要程度
1	班次實際里程	0.37	6	停靠站數	0.07
2	電池年齡(月)	0.20	7	時段	0.06
3	車輛速率平均值	0.08	8	起始 SOC	0.04
4	氣溫	0.07	9	電池溫度最大值	0.02
5	停靠號誌化路口數	0.07	10	平假日	0.02

C.模型初步建立成果

模型輸入變數：依前述變數選擇之最終輸入模型變數，針其欄位說明如下表 4.3-34。

模型預測結果輸出：模型預測結果如表 4.3-35 所示，欄位包含用電效率及路線預測結果。

模型驗證：使用 3 條路線 4 個月數據所建立用電效率-營運數據驅動模型(第三群)之測試資料集進行驗證，模型 MAPE 值為 9.21%，後續建議再增加路線數量，驗證此模型之穩定性及可靠度。

表 4.3-34 用電效率-營運特性數據驅動模型模型變數

變數名稱	中文說明	型態	範例
BATTERY_AVG_TEMP_max	電池溫度最大值	FLOAT	43.4
DR_MILE_dff	班次實際里程	FLOAT	27.1
Start_SOC	起始 SOC	INT	76
Number_of_Intersections	停靠號誌化路口數	INT	122
Number_of_Stops	停靠站數	INT	72
Temperature	氣溫	FLOAT	33.4
Battery_Age	電池年齡(月)	INT	24
weekend	平假日	NVARCHAR	1
Hour	時段	INT	8
Speed_mean	車輛速率平均值	FLOAT	21.7

表 4.3-35 用電效率-營運驅動模型預測結果輸出

變數名稱	中文名稱	範例
ELECTRICITY_EFFICIENCY	用電效率	0.8603
RouteID	路線代碼	I

⑥深度學習-深度神經網路(DNN)

A.模型建立與參數設定

使用 python 程式語言 h2o 套件建立深度學習模型，調整模型參數設定：層數(Layer):[400,400]、疊代次數(Epochs):60、自適應學習率(adaptive_rate):True。

B.變數選擇

依照前章節所處理過後數據，將資料拆分為訓練集與測試集，輸入模型中進行訓練與測試，並藉由模型回

饋之變數重要程度調整輸入變數組合，最終投入模型變數依重要程度排序如表 4.3-36 所示。

表 4.3-36 深度學習(h2o)輸入變數重要性順序

順序	變數名稱	重要程度	順序	變數名稱	重要程度
1	電池年齡(月)	0.18	6	停靠號誌化路口數	0.09
2	班次實際里程	0.17	7	車輛速率平均值	0.09
3	停靠站數	0.1	8	電池溫度最大值	0.08
4	時段	0.09	9	氣溫	0.07
5	起始 SOC	0.09	10	平假日	0.04

C.模型初步建立成果

模型輸入變數：依前述變數選擇之最終輸入模型變數，針其欄位說明如下表 4.3-37。

模型預測結果輸出：模型預測結果如表 4.3-38 所示，欄位包含用電效率及路線預測結果。

模型驗證：使用 3 條路線 4 個月數據所建立用電效率-營運數據驅動模型(第三群)之測試資料集進行驗證，模型 MAPE 值為 9.68%，後續建議再增加路線數量，驗證此模型之穩定性及可靠度。

表 4.3-37 用電效率-營運特性數據驅動模型模型變數

變數名稱	中文說明	型態	範例
BATTERY_AVG_TEMP_max	電池溫度最大值	FLOAT	43.4
DR_MILE_dff	班次實際里程	FLOAT	27.1
Start_SOC	起始 SOC	INT	76
Number_of_Intersections	停靠號誌化路口數	INT	122
Number_of_Stops	停靠站數	INT	72
Temperature	氣溫	FLOAT	33.4
Battery_Age	電池年齡(月)	INT	24
weekend	平假日	NVARCHAR	1
Hour	時段	INT	8
Speed_mean	車輛速率平均值	FLOAT	21.7

表 4.3-38 用電效率-營運驅動模型預測結果輸出

變數名稱	中文名稱	範例
ELECTRICITY_EFFICIENCY	用電效率	0.8368
RouteID	路線代碼	I

(6)即時預測模型方法比較

本計畫針對路線 I，透過移動平均模型及前節模型方法比較結果中，挑選資料特性適合且預測結果相對準確之用電效率-營運驅動模型，驗證以歷史數據所訓練之模型，用於預測即時資料時之準確率與效率，做為後續建立即時預測模型參考之依據。

①移動平均

A.訓練模型資料範圍

將路線 I 連續一個月前 25 天之清理後班次資料，以每五日為週期計算其週期內平均值，做為訓練資料集輸入，移動平均模型為對單一變數建立時間序列模型的方法，因此投入訓練變數為欲預測之 SOC 使用量。

B.預測資料範圍

上述未投入訓練之資料，以每五日為週期計算其週期內平均值，做為預測資料集進行模型預測驗證。

C.模型準確率驗證

針對每日 7 時、14 時、17 時發車班次之資料進行訓練與預測，預測結果如圖 4.3.6~4.3.8 所示，模型 MAPE 值約為 10~22.9%，歸納原因為路線 I 之 SOC 變化量亦受到時段尖離峰、交通量、氣溫等變數影響，單以 SOC 變化量進行移動平均，使資料敏感程度降低，而無法預測更高或更低的波動，因此較難有準確的預測結果，移動平均法屬時間序列相關方法，適用於具有時間前後關聯性之數據，並不適合用於即時 SOC 預測。

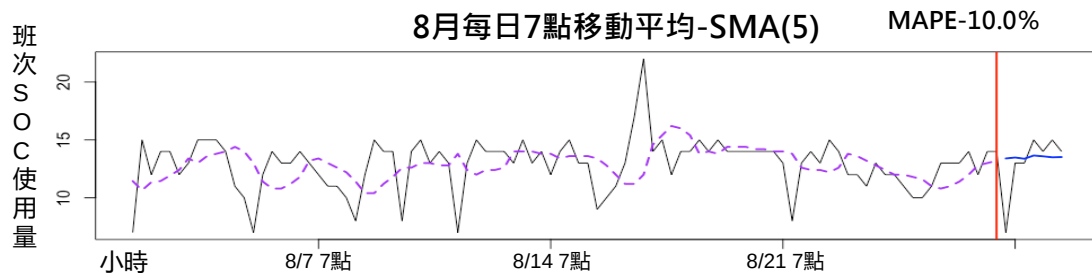


圖 4.3.6 移動平均-每日 7 時預測結果

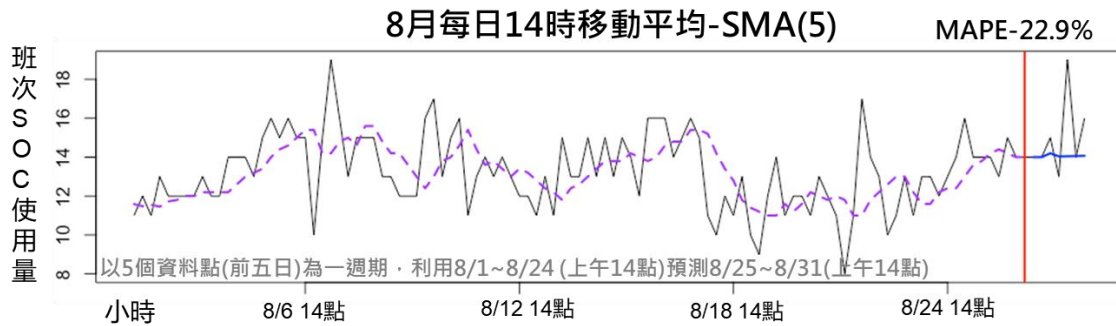


圖 4.3.7 移動平均-每日 14 時預測結果



圖 4.3.8 移動平均-每日 17 時預測結果

②隨機森林

A.訓練模型資料範圍

資料區間：路線 I 連續四個月之清理後每班次資料，以 80:20 比例分為訓練及測試資料集投入模型。

模型輸入變數：投入與前(5)模型方法比較-驅動模型小節中，建立隨機森林模型最終使用變數做為此模型變數選擇。

B.預測資料範圍

使用上述訓練資料連續四月後第五個月之資料，做為預測資料集進行模型預測驗證。

C.模型準確率驗證

使用四個月資料訓練隨機森林模型耗費時間約 4.29 秒，模型 MAPE 值為 8.9，以此模型預測第五個月資料集 MAPE 值為 10.31，預測資料耗費時間均不到 1 秒，MAPE 值略微上升 1.41，模型預測準確率略為下降，顯示其有部分班次資料特性並未被模型訓練過，建議後續可持續加入新資料，滾動訓練模型，提升模型預測準確力。

③極限梯度提升模型(XGBoost)

A.訓練模型資料範圍

資料區間：路線 I 連續四個月之清理後每班次資料，以 80:20 比例分為訓練及測試資料集投入模型。

模型輸入變數：投入與前(5)模型方法比較-驅動模型小節中，建立極限梯度提升模型最終使用變數做為此模型變數選擇。

B.預測資料範圍

使用上述訓練資料連續四月後第五個月之資料，做為預測資料集進行模型預測驗證。

C.模型準確率驗證

使用四個月資料訓練極限梯度提升模型耗費時間約 0.15 秒，模型 MAPE 值為 8.66，以此模型預測第五個月資料集 MAPE 值為 9.68，預測資料耗費時間均不到 1 秒，MAPE 值略微上升 1.02，模型預測準確率略為下降，顯示其有部分班次資料特性並未被模型訓練過，建議後續可持續加入新資料，滾動訓練模型，提升模型預測準確力。

④深度神經網路(DNN)

A.訓練模型資料範圍

資料區間：路線 I 連續四個月之清理後每班次資料，以 80:20 比例分為訓練及測試資料集投入模型。

模型輸入變數：投入與前(5)模型方法比較-驅動模型小節中，建立深度神經網路模型最終使用變數做為此模型變數選擇。

B.預測資料範圍

使用上述訓練資料連續四月後第五個月之資料，做為預測資料集進行模型預測驗證。

C.模型準確率驗證

使用四個月資料訓練深度神經網路模型耗費時間約 41.8 秒(其中包含使用 H2O 套件進行訓練預測，需透過 java 程式開啟 h2o 叢集服務約 12 秒、與將資料轉換為模型輸入格式約 21 秒)，模型 MAPE 值為 9.23，以此模型預測第五個月資料集 MAPE 值為 10.47，預測資料耗費時間約 18 秒(其中包含將資料轉換為模型輸入格式約 10 秒)，MAPE 值略微上升 1.24，模型預測準確率略為下降，顯示其有部分班次資料特性並未被模型訓練過，建議後續可持續加入新資料，滾動訓練模型，提升模型預測準確力。

5.結論與後續優化建議

依據本計畫模型初探結果，歸納結論與後續優化建議如下：

(1)以本計畫蒐集之 10 條路線進行模型初探之建議：

①雙北地區各公車路線營運特性明顯不同，所有路線無法以單一模型進行反應，全路線模型預測誤差明顯偏大，需依據路線特性區分模型。

②進一步建立路線特性模型，分類方式包含路線是否行經 40%以上公車專用道、路線營運長度與路線服務行經地區特性相近等，經分類後第一~三群之各模型 MAPE 值約為 9.2~11.5%。

(2)以第三群路線(市郊通勤路線模型)進行不同模型方法測試結果之建議：

- ①參考國外文獻研究，以貝氏線性回歸、指數回歸及分層回歸測試，各模型 MAPE 值約 15~18.6%，且部分變數間具共線性、自變數與因變數間並不具線性或指數關係，因此回歸模型不適用於建立用電效率-營運數據驅動模型。
 - ②以常用機器學習(隨機森林、極限梯度提升模型(XGBoost))、深度學習(深度神經網路(DNN))方法測試，MAPE 值約為 9.2~9.7%，各模型間差異不大。
- (3)以單一路線 I 進行即時預測模型方法測試結果之建議：
- ①以移動平均法測試，尖、離峰時段模型 MAPE 值約為 10~22.9%，歸納原因為路線 I 之 SOC 變化量亦受到時段尖離峰、交通量、氣溫等變數影響，且移動平均法屬時間序列相關方法，適用於具有時間前後關聯性之數據，並不適合用於即時 SOC 預測。
 - ②以常用機器學習(隨機森林、極限梯度提升模型(XGBoost))、深度學習(深度神經網路(DNN))方法測試，MAPE 值約為 8.7~8.9%，各模型間差異不大，且較第三群路線模型 MAPE 值提升效果有限。
 - ③於實務應用上，如以路線 I 為應用標的，建議可優先選擇機器學習(極限梯度提升模型(XGBoost))，除 Python 套件本身提供較多可調整參數，亦常被使用外，同時運算速度亦較快、MAPE 值也較低；如若應用於其他類型路線，則建議後續可持續測試不同模型之預測效果。
- (4)經本計畫各模型建立與測試結果，投入模型變數之建議：
- ①模型所投入之變數需考慮後續應用之便利性與取得性，經本年度模型變數篩選與測試，主要影響模型之變數為公車路線停靠號誌化路口數、氣溫、時段、車輛平均速率、起始 SOC 及平假日等，皆為後續易取得或設定之變數。
 - ②後續計畫針對既有已投入且與用電效率呈現相關趨勢變數，建議針對各欄位資料特性可再進一步將極端值與異常值條件限縮，提升資料品質。

- ③模型使用資料以電巴平臺、既有開放平臺或較易取得轉換資料為主，後續針對可能影響用電效率但現階段無法掌握資料，進一步向業者索取及進行資料轉換分析。

(5)後續模型建立與優化之相關建議：

- ①本計畫雖已針對雙北地區共 10 條路線進行路線特性模型區分，但建議後續模型如延伸至雙北以外地區，除上述路線特性外，亦須考量地區特性是否有所影響。
- ②考量各廠牌車輛三電系統設計本身有所不同，用電效率可能已受車輛廠牌出廠潛在自身條件影響，後續建議依資料累積情形，針對各車型分別進行獨立模型建立。
- ③本計畫以連續 4 個月資料進行模型初探，後續建議依電巴資料累積時間，可延長模型分析時間長度，以掌握與時間維度相關(如季節及電池年齡對用電效率)變數之影響程度。

4.4 電動大客車營運數據應用推動建議

本節針對 4.3 節數據驅動模型初探成果，並結合電巴車機資料、路線營運資料等資訊，進一步提出後續模型可能之應用面向及未來推動建議，包含模型運作方式及使用情境規劃等內容，說明如后。

1. 模型運作方式

(1) 模型分析應用構想

本計畫規劃以輸入層、驅動層與應用層三個面向，將模型運作分為三個階段，透過模型所需資料輸入、模型自動化執行運算，並藉由視覺化儀表板進行模型結果輸出，以下茲就各層面進行說明：

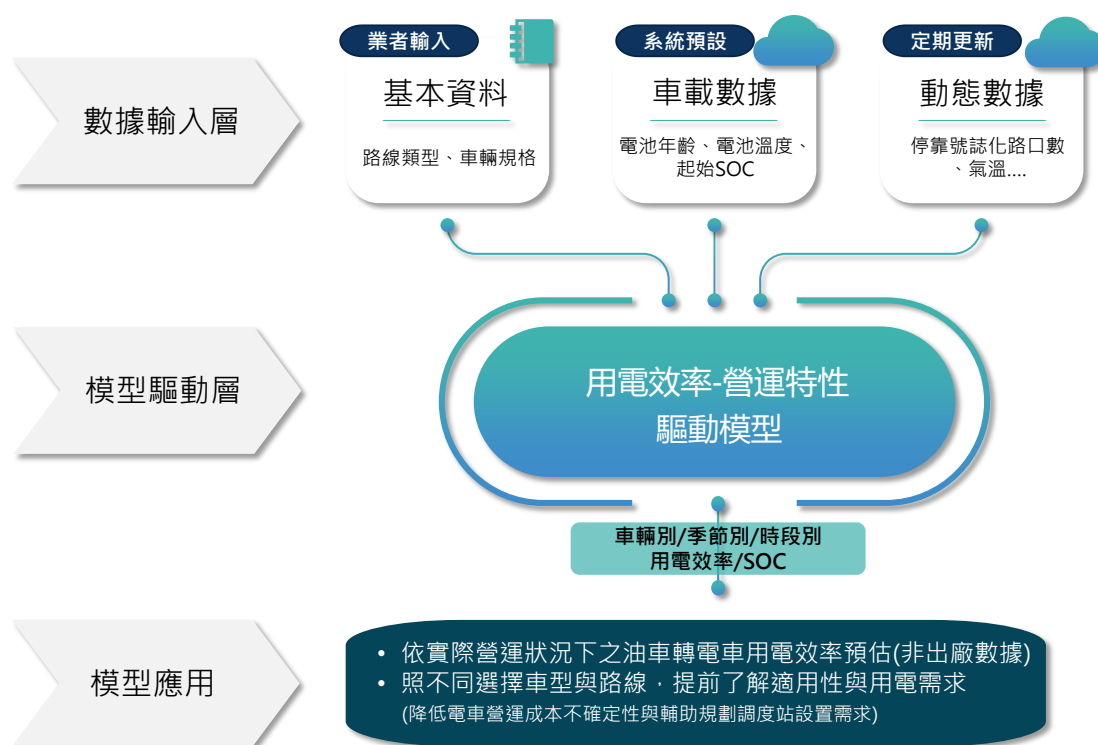


圖 4.4.1 模型分析應用構想圖

- ①數據輸入層：資料概分為三個面向，包含基本資料、車載數據及動態數據資料，透過客運業者輸入基本路線營運資料，及介接電動大客車平臺取得車載數據，以及結合其他動態開放平臺資料，進行外部變數串接，並整合完成數據輸入層變數產製。

②模型驅動層：依照本計畫所建立之模型，將數據輸入層資料依照模型輸入格式進行投入，模型自動化進行目標路線之分平假日別及時段別之用電效率預測。

③模型應用層：模型預測結果可透過資料庫表單進行輸出，亦可透過儀表板進行結果查詢，儀表板結合既有營運數據，包含班表、車輛資料、場站資料等，進行綜合性呈現，提供使用者營運管理調整。

(2)模型投入與輸出結果

本計畫建立之用電效率-營運特性數據驅動模型輸入變數如表 4.4-1 所示，首次設定業者須先進行營運路線之班次實際里程、停靠站數及車輛電池採購時間(系統自動化依時間換算電池年齡)設定，由系統透過電巴歷史資料分析自動預設建議之車輛速率平均值、起始 SOC 與電池溫度最大值，並透過介接方式取得氣象局氣溫資料，其中時段、平假日及起始 SOC 等資訊，亦可結合業者既有數位化資訊(如動態發車班表或及即時車機資料)，系統自動將三個面向變數組合至用電效率-營運特性數據驅動模型輸入格式，進行用電效率結果預測。

表 4.4-1 用電效率-營運特性數據驅動模型輸入範例

變數名稱	中文說明	範例	來源(輸入層)
DR_MILE_dff	班次實際里程 (公里)	26.6	業者輸入
Battery_Age	電池年齡(月)	24	系統預設 (依車輛電池採購 登錄資料換算)
Speed_mean	車輛速率平均值 (公里/小時)	27.3	系統預設
Temperature	氣溫(C)	33.4	即時更新
Number_of_Intersections	停靠號誌化 路口數(個數)	122	不定時更新
Number_of_Stops	停靠站數(個數)	72	業者輸入
Hour	時段(點)	5	系統預設 (或結合業者發車 班表)
Star_SOC	起始 SOC(%)	76	系統預設 (或結合即時車機 資料)
BATTERY_AVG_TEMP_max	電池溫度最大值 (C)	43.4	系統預設
weekend	平假日	1	系統預設 (或結合業者發車 班表)

用電效率-營運特性數據驅動模型輸出欄位包含特定日期型態、時段別之用電效率及 SOC 使用量(依路線里程及電池容量換算)，並可提供投入模型的基本參考資訊，如氣溫、起始 SOC 等，模型執行結束後自動將預測結果儲存至資料庫內，可提供使用者進行下載，或於儀表板介面進行查詢。

表 4.4-2 用電效率-營運特性數據驅動模型預測結果輸出

變數名稱	中文名稱	範例	備註
Weekend	平假日	1(平日)	時間
Hour	時段(點)	5	時間
ELECTRICITY EFFICIENCY	用電效率 (Km/kwh)	0.8368	主要輸出

表 4.4-2 用電效率-營運特性數據驅動模型預測結果輸出(續 1)

變數名稱	中文名稱	範例	備註
SOC	SOC 使用量	6	主要輸出
Star_SOC	起始 SOC	76	參考資訊
Temperature	氣溫	33.4	參考資訊

2.模型使用情境規劃

本計畫彙整營運業者訪談需求，規劃用電效率-營運特性數據驅動模型結果儀表板如圖 4.4.2~圖 4.4.4 所示。

(1)能耗資料分析應用方向-剩餘 SOC 監控表板

業者場站調度人員可透過儀表板掌握當前服務車輛剩餘 SOC 狀況，結合車輛車載資料回傳，掌握目前車輛狀態外，包含車輛回站時間、回站時剩餘 SOC，並依驅動模型針對各時段 SOC 預測，可知該車輛下一個預排班表預計 SOC 使用量，與當前剩餘 SOC 進行比對，提醒調度人員車輛是否需進行補電、需補多少 SOC、預計補電時間，降低場站因車輛 SOC 不足，造成過頻繁臨時調度或脫班情形，以剩餘 SOC 示警以提高電動巴士調度服務穩定性、可控性。



圖 4.4.2 能耗資料分析應用方向-剩餘 SOC 監控儀表板(示意圖)

(2) 能耗資料分析應用方向-SOC 健檢儀表板

於車輛服務結束後，定期進行 SOC 健檢，場站管理階層可掌握車輛 SOC 使用量是否正常，如出現異常可知是哪一輛車、哪一班次，以提供場站管理階層與車輛管理人員清楚掌握潛在問題車輛，或是調度不佳造成 SOC 剩餘低於 30% 的班次比率，提早對該車輛進行檢查，並進行調度管理調整，避免造成車輛損耗，以及降低因 SOC 異常造成途中故障的風險。



圖 4.4.3 能耗資料分析應用方向-SOC 健檢儀表板(示意圖)

(3) 能耗資料分析應用方向-傳輸資料監控儀表板

業者可由儀表板快速掌握每輛車之車機資料回傳完整比率統計結果，針對回傳完整比率經常低於 80% 之車輛，確認是否為車機資料傳輸通訊問題、設定問題或回傳設備本身問題等，以及早進行相關改善，降低後續班次傳輸不良問題。



圖 4.4.4 能耗資料分析應用方向-傳輸資料監控儀表板(示意圖)

第五章 成果推廣

5.1 辦理成果發表會

- 1.本計畫成果發表會規劃結合運研所「電動大客車智慧充電服務驗證(1/2)-智慧充電管理系統實證計畫」共同辦理，向外界說明及推廣電動大客車營運數據監控管理平台資料應用成果，並透過討論與交流，彙集產官學研各方的意見與建議。
- 2.會議日期為 2023 年 12 月 5 日(星期二)，會議地點在交通部運輸研究所 B1 國際會議廳(臺北市松山區敦化北路 240 號)。
- 3.邀請對象包含交通部部(次)長及相關單位(公共運輸及監理司、交通科技及資訊司、公路局等)、各縣市政府交通局、台灣電力公司、經濟部產業發展署、中華民國公共汽車客運商業同業公會全國聯合會、臺灣電動車輛電能補充產業技術推動聯盟、中華智慧運輸協會等單位。(詳如圖 5.1.1)
- 4.辦理當天產官學研究單位報名參與人數統計達 131 人至發表會現場交流，另有 12 家媒體單位出席，現場活動照片如圖 5.1.2，發表會重點紀要詳請參閱附錄一。

5.2 辦理成果展示及國內交流

- 1.本計畫將協助運研所於「中華民國運輸學會 2023 年會暨學術論文國際研討會」展示及宣傳電動大客車營運數據監控管理平台資料應用成果，探詢後續與客運業者、電動大客車製造商、充電營運商等單位合作機會。
- 2.會議日期為 2023 年 12 月 7 及 8 日(星期四及五)，會議地點在劍潭青年活動中心(臺北市士林區中山北路四段 16 號)。(詳如圖 5.2.1)



電動大客車

營運數據分析 與 智慧充電系統



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute



新動智能股份有限公司
NeoPower Technologies



鼎漢國際工程顧問股份有限公司
thi consultants inc.



謹訂於中華民國112年12月5日（星期二）上午 09:30～12:40

假 交通部運輸研究所B1國際會議廳(台北市松山區敦化北路240號) 舉行

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統 成果發表會

誠摯邀請 蒞臨指導



立即報名



交通部運輸研究所 所長
林繼國 敬邀

活動議程表

時 間	主 題	講 者
09:00-09:30	報到	
09:30-09:45	開幕典禮&貴賓合影	(1)林繼國所長 致歡迎詞 (2)王國材部長 致詞
09:45-09:55	電動大客車 營運數據分析與智慧充電系統	交通部運輸研究所 吳東凌組長
09:55-10:10	電動大客車 營運數據分析與應用	鼎漢國際工程顧問公司 林幸加副董事長
10:10-10:25	電動大客車 智慧充電管理系統	工業技術研究院機械所 張念慈組長
10:25-10:35	茶敘 Tea Break	
10:35-11:15	成果討論與交流	主持人：王穆衡副所長
11:15-11:30	現場來賓問答	
11:30-12:40	技術參訪-北士科電動大客車智慧充電管理系統 (名額有限，將於會前電郵通知是否成行與接駁車資訊)	

聯絡人：交通部運輸研究所 陳翔捷 電話：02-23496886 電郵：r00521508@iot.gov.tw

資料來源：本計畫整理。

圖 5.1.1 本計畫成果發表會邀請函



圖 5.1.2 成果發表會現場紀錄照片

5.3 成果資料製作

1. 成果發表會海報、易拉展等宣傳品已完成，使用於成果發表會、運輸年會攤位等場合。(詳如圖 5.2.1)
2. 成果說明影片(中、英文各 1 份)結合運研所「電動大客車智慧充電服務驗證(1/2)-智慧充電管理系統實證計畫」共同製作，委託專業影片製作公司編擬拍攝腳本(詳如附錄二)，並使用於成果發表會、成果展示等場合。
3. 成果發表簡報(中、英文各 1 份)詳請參閱附錄三，另彙整提供成果摘要報告(中、英文各 1 份)。



圖 5.2.1 2023 年運輸年會成果海報現場展示

5.4 成果投稿研討會、運輸計劃季刊或國內、外期刊

本計畫於辦理驗收作業前完成投稿「交通部運輸研究所運輸計劃季刊」(詳如圖 5.4.1)，期提供相關國內、外產官學研究單位參考，以利後續共同合作之可能性。



資料來源：交通部運輸研究所官網 <https://www.iot.gov.tw/np-85-1.html>。

圖 5.4.1 交通部運輸研究所運輸計劃季刊

5.5 計畫成果推動國際合作初步構想

依據第二章文獻回顧可知，目前國內、外電動大客車營運數據分析與應用發展主要係由車輛製造商開發車輛或電池智慧管理平臺，車商在車輛設計時規劃相關電子儀器，監控與記錄電池與車上設備的使用情形，以利車商掌握車輛穩定性，並作為未來車輛性能優化與研發之參據，以及因應車輛使用業者在營運管理上之需求，提供車輛、電池、電量與充電之即時運行狀況，屬於智慧監控管理面之基本服務，少數廠商(如 BP Pulse)則進一步提供智慧充電排程之進階服務。

在學術研究方面，有部分學術研究則會依據研究目的，在研究車輛上增設其他電子儀器監控車上設備的使用情形，以利蒐集更多且更詳細的電動大客車運行數據資料，進行目的性的特性研析。另有部分學術研究方向與本計畫相同，係運用可取得的電動大客車實際運行數據資料，進一步研析營運關鍵指標與資料探勘，本計畫建立營運特性對用電效率影響之模型，預測路線之用電效率及 SOC 使用量，提供客運業者於路線導入電動大客車時，可依據車隊規模進行用電需求規劃，營運後可結合每日班表進行車輛排班調度與充(補)電規劃。

綜合考量本計畫成果推動國際合作，初步規劃構想說明如下：

1.整合運研所「電動大客車智慧充電服務驗證計畫」共同推向國際化

建議本計畫可與運研所刻正執行的「電動大客車智慧充電服務驗證計畫」整合後再共同推向國際。

2.以國際研討會發表方式推廣與徵求國外廠商共同合作機會

本計畫與「電動大客車智慧充電服務驗證計畫」皆屬於軟體技術方面的研究，需應用於實體硬體上方能展現成效，故建議可藉由國際研討會發表方式，同時向國外的車商、電動大客車相關產業、電動大客車使用業者等介紹並推廣計畫成果，以利衍生與國外廠商共同合作之機會。

第六章 結論與建議

6.1 結論

1. 電動大客車營運管理精進示範對象規劃

示範對象挑選評估條件包括車輛數、營運數據資料蒐集量及車型須達到一定數量規模、電動大客車的車輛妥善率、平臺數據資料傳輸的完整度與正確度、對應路線及充電特性代表性、以及客運業者的參與意願與配合度，綜合考量上述條件，第2年期計畫可優先以首都集團與中興集團之路線或場域做為合作示範對象，計畫執行期間亦已取得二家業者認同。

2. 客運業者與專家學者訪談交流回饋建議

(1) 客運業者回饋

- ① 充電系統程式會依據設定自動控制開始與結束，故上傳平臺之開始/結束充電時間為插槍/拔槍時間，非實際充電時間。並希望能導入智慧排程充電與充電設施警示機制，以提升營運效率並提醒業者須為充電設施進行檢修。
- ② 希望藉由平臺協助回饋資料傳輸異常數據占比及異常問題方向，若可判斷為車機傳送問題，將請車機業者維修，並可提醒業者進行資料補傳，以提升資料完整性。
- ③ 建議可針對車內空調溫度與能耗、路線特性(路線長短、地形等)與用電效率作探討，提供客運業者在營運上參考。
- ④ 目前續航里程計算是採用總電量*用電效率，若要提供排班實務應用，需考量安全電量、電池衰退等影響因子，且應用方向希望可提供即時性與提供 SOC 使用量預測。

(2) 模式應用專家學者回饋

- ① 資料蒐集方面，由於車輛行駛時間、用電量、載客人數為隨機變數，建議納入模式中求解以提升精度。
- ② 在演算法應用方面，由於 SOC 為非線性資料，為精確分析出結果，建議使用機器學習、深度學習或非線性迴歸。

另深度學習可觀察到更細微的差異性，可根據重要特徵進行預處理，學習出不易觀察的參考變數，進而加入模型進行分析，提高其預測準確性。

- ③若要評估路線用電效能及 SOC 使用量，變數上建議加入車輛預估停站時間、每趟次車輛載客人數、電池年齡(月)、已使用里程、駕駛行為、旅次時間以類別變數方式分時段分析、駕駛年齡(駕駛習慣)及轉為電動車輛駕駛之車齡檢驗預測準確性之影響，應可降低模式預測結果差異過大之情形增加其準確性。

3. 電動大客車營運數據分析與關鍵指標建立

本計畫針對 3 條使用電動大客車進行營運之公車路線(以代碼路線 R1~R3 表示)，進行營運數據分析關鍵指標探勘分析，包含班次用電效率及 SOC 使用量分析(各車輛及駕駛用電效率分析、各車輛及駕駛分時用電效率分析、每班次 SOC 使用量分析、SOC 變化趨勢分析)、班次發車起始 SOC 資料分析(各季節班次用電效率分析、尖峰/非尖峰時段班次用電效率分析、各季節班次 SOC 使用量分析、尖峰/非尖峰時段班次 SOC 使用量分析)、充電站充電資料分析(各充電站充電時間分析、各充電站車輛 SOC 分析、各充電站充電效率分析)。

4. 電動大客車營運數據應用架構建立

- (1)本計畫初步篩選分析主題包含用電效率、更直覺的 SOC 使用量。
- (2)在模型方法比較方面，本計畫以機器學習、深度學習方法測試，預測準確性(MAPE 值)差異不大，MAPE 介於 8.66~8.92%，考量 XGBoost 經常被使用，Python 套件本身提供較多可調整參數，同時運算速度較快，建議後續優先採用機器學習之 XGBoost 方法。
- (3)用電效率-營運特性數據驅動模型重要變數包含氣溫、車輛速率平均值、起始 SOC、時段、班次實際里程、電池溫度最大值、電池年齡(月)、停靠號誌化路口數、停靠站數、及平假日。
- (4) 電動大客車營運數據應用推動建議：

- ①本計畫規劃將模型運作方式分為三個階段：數據輸入層(包含基本資料、車載數據及動態數據資料)、模型驅動層與模型應用層三個面向，透過模型所需資料輸入、模型自動化執行運算，並藉由視覺化儀表板進行模型結果輸出。
- ②本計畫依據客運業者訪談需求，規劃用電效率-營運特性數據驅動模型結果儀表板，包含能耗資料分析應用方向-剩餘 SOC 監控表板(提醒調度人員車輛是否需進行補電、需補多少 SOC、預計補電時間)、能耗資料分析應用方向-SOC 健檢儀表板(提供業者掌握車輛 SOC 使用量是否正常，並掌握潛在問題車輛或調度不佳造成 SOC 剩餘低於 30%，提早對該車輛進行檢查或進行調度管理調整)。

6.2 後續建議

1. 用電效率-營運特性數據驅動模型後續優化建議：

- (1) 本計畫雖已針對雙北地區共 10 條路線進行路線特性模型區分，但建議後續模型如延伸至雙北以外地區，除上述路線特性外，亦須考量地區特性是否有所影響。
- (2) 考量各廠牌車輛三電系統設計本身有所不同，用電效率可能已受車輛廠牌出廠潛在自身條件影響，後續建議依資料累積情形，針對各車型分別進行獨立模型建立。
- (3) 經與客運業者訪談回饋，駕駛行為確實對於用電效率有所影響，後續針對駕駛行為對於用電效率影響模型，可依據電巴車機資料，依速度及加速度等資料將駕駛行為進行分類(如激進型、一般型及積極型駕駛)作為模型投入變數進行測試。
- (4) 本計畫以連續 4 個月資料進行模型初探，後續建議依電巴資料累積時間，可延長模型分析時間長度，以掌握與時間維度相關(如季節及電池年齡對用電效率)變數之影響程度。

2. 建議將本計畫成果與運研所刻正執行的「電動大客車智慧充電服務驗證計畫」整合後再共同推向國際，可藉由國際研討會發表方式，同時向國外的車商、電動大客車相關產業、電動大客車使用業者等介紹並推廣計畫成果，以利衍生與國外廠商共同合作之機會。

壹、會議名稱：「電動大客車營運數據分析與智慧充電系統」成果發表會

貳、時間：112 年 12 月 5 日(星期二)上午 9 時至 11 時 30 分

參、地點：本所 B1 樓國際會議廳

肆、主持人：林繼國所長

伍、出席單位及人員：(詳簽到表)

陸、會議議程：

時間	議程項目
9:00 ~ 9:30	辦理報到
9:30 ~ 9:45	開幕典禮&貴賓合影 (1) 致歡迎詞 交通部運輸研究所 林繼國所長 (2) 貴賓致詞 交通部 陳彥柏次長
9:45 ~ 9:55	成果簡報 1 「電動大客車營運數據分析與智慧充電系統」 吳東凌組長 (交通部運輸研究所)
9:55 ~ 10:10	成果簡報 2 「電動大客車營運數據分析與應用」 林幸加副董事長 (鼎漢國際工程顧問股份有限公司)
10:10 ~ 10:25	成果簡報 3 「電動大客車智慧充電系統」 張念慈組長 (工業技術研究院機械所)
10:25 ~ 10:35	茶敘(Coffee Break)
10:35 ~ 11:15	成果討論與交流 主持人：王穆衡副所長
11:15 ~ 11:30	現場來賓問答(Q&A Session)
11:30 ~ 12:40	技術參訪-北士科電動大客車智慧充電管理系統

柒、 會議重點紀要：

- (一) 我國在 2022 年 3 月公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略」，提出 12 項關鍵戰略，其中「運具電動化及無碳化」不僅是其中 1 項關鍵戰略，也是我國 2050 達成淨零排放非常重要的一步，而「2030 年市區公車全面電動化」是其中一項非常重要的推動計畫。
- (二) 「2030 年市區公車全面電動化」政策是國內客運業者營運、服務與能源管理「數位轉型」(DX)的最佳契機；未來數位轉型的面向可延伸面向：
- 跨場站、跨業者、跨系統之能源管理服務雲端平台。
 - 關鍵民生基礎設施(如:醫院)電力緊急支援。
 - 智慧城市備用能源(虛擬電廠/行動電源)。
- (三) 我國電動大客車計畫推動所面臨的議題與挑戰包括空間限制、時間限制、車輛議題與電力供應議題等面向。
- 空間限制-停車場區位、停車場土地面積、可設置充電樁之數量。
 - 時間限制-班表(車輛休息)時間、電價尖/離峰時間。
 - 車輛議題-車輛數量、電池特性、充電標準(ccs)、行駛里程(用電需求)。
 - 電力供應議題-區域電網供電能量、契約容量限制、尖/離峰電價差異、土地使用名目限制電力申請。
- (四) 運研所結合產官學研能量，協助客運業者進行電動公車能源管理、智慧充電與營運管理作業，包括「電動大客車營運數據分析與智慧充電系統」的應用與管理服務創新思維，及中興巴士-北士科站之技術-智慧充電系統的建置成果與實際應用效益。
- (五) 電動大客車智慧充電服務系統結合大數據分析及人工智慧技術，同時支援國際通用的開放充電站通訊標準(Open Charge Point Protocol；OCPP)。

- (六) 系統採用「非均流充電」技術，可降低業者在電力契約容量需求，能有效節省電力成本，只需插上充電槍，即可實現全自動化及全時段充電，擺脫了繁瑣的人力充電作業，減輕台電在區域內的電力供應壓力。根據實際場域案例試算有效節省客運業者的營運成本，並延長電動車電池壽命。
- (七) 交通部在 2025 年電動大客車比例要達到 35%，但是目前上路的電動大客車只有 1,641 輛，今年底預計要達 2,300 輛，2025 年目標在 4,000 到 4,600 輛，但公車業者面對電動大客車的妥善率及可靠度問題，加上各場站的供電系統及容量都不同，因此極需智慧充電服務，以利業者導入。
- (八) 110-111 年所建置的電動大客車營運數據監控管理平台，促成了電動大客車資料整合與數位化管理應用。
- (九) 112 年運研所透過整合電動大客車營運數據監控管理平台資料、客運業者動態班表和站務資料等跨系統資料，運算各種限制條件下的充電排程，已成功發展電動大客車智慧充電服務系統，對於我國實現永續發展、推動低碳交通的目標具有非常重要的意義。
- (十) 智慧充電系統現況自電動大客車啟動應用驗證，未來可朝向電動物流車及電動計程車等電動車隊進行充電管理或充電共享平台擴展。
- (十一) 《2035 技術策略與藍圖》作為研發方向，在「智慧生活」應用領域，發展電動車整車系統、關鍵零部件及智慧充電服務，用技術研發強化產業的全球競爭力。這項創新的智慧充電系統將為臺灣的交通運輸，帶來更加智慧、節能、環保的未來。

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會 簽到表

- 一、 會議時間：民國112年12月5日上午9:30
- 二、 會議地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳
- 三、 出席單位及人員：

出席技術參訪				
單位	職稱	姓名	簽名	備註
交通部公路局	組長	梁郭國	梁郭國	✓
臺北市交通局	副局長	葉梓銓	葉梓銓	✓
桃園市交通局	專門委員	劉廣堂	劉廣堂	✓
臺南市公共運輸處	處長	吳侯之	吳侯之	✓
中興巴士集團	董事長	呂奇龍	呂奇龍	✓
中興巴士集團	副總經理	黃志淮	黃志淮	✓
中興巴士集團	副總經理	馬祖軍		✓
中興巴士集團	顧問	龍貺雲		✓
大南汽車股份有限公司	董事長	賀政		
首都客運股份有限公司	總經理	李建文	李建文	×
臺灣大學	教授	張學孔		
交通部運輸研究所	組長	吳東凌		✓
新動智能股份有限公司	總經理	詹嘉文		✓
金名安		郭子儀		✓

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會 簽到表

- 一、 會議時間：民國112年12月5日上午9:30
 二、 會議地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳
 三、 出席單位及人員：

出席技術參訪				
單位	職稱	姓名	簽名	備註
臺北市公共運輸處	科長	劉國著	劉國著	✓ (出席)
基隆市政府交通處	科長	曾令偉	曾令偉	✓
桃園市政府交通局	技士	吳佳益	吳佳益	×
臺南市政府交通局 公共運輸處	股長	郭郁鋒	郭郁鋒	○
臺南市政府交通局	技佐	賴柏蓉	賴柏蓉	○
交通部 公共運輸及監理司	科員	溫晴	溫晴	✓

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會 簽到表

- 一、 會議時間：民國112年12月5日上午9:30
 二、 會議地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳
 三、 出席單位及人員：

出席技術參訪				
單位	職稱	姓名	簽名	備註
國立臺灣科技大學 電機系	教授	林長華	林長華	陳慶明(學生)
國立中興大學 智慧運輸發展中心	主任	賴慶明		
國立中興大學 智慧運輸發展中心	副主任	盧兆威	盧兆威	✓
勤崙國際科技 股份有限公司	副總	張子安	張子安	✓ (開車)
勤崙國際科技 股份有限公司	協理	胡威名		
銓鼎科技股份有限公司	總經理	鄭旭峰	鄭旭峰	✓
天眼衛星科技 股份有限公司	資深 副總經理	陳建甫	陳建甫	✓
台灣車用電子協會	秘書長	鄧善修	鄧善修	×
億光電子工業 股份有限公司	處長	郭志豪		

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會 簽到表

- 一、 會議時間：民國112年12月5日上午9:30
- 二、 會議地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳
- 三、 出席單位及人員：



出席技術參訪				
單位	職稱	姓名	簽名	備註
中華民國公共汽車商業 同業公會全國聯合會	秘書	王詮勳	王詮勳	✓
桃園汽車客運 股份有限公司	廠長	郭文皓		
桃園汽車客運 股份有限公司	營運課長	崔展華		
臺北汽車客運 股份有限公司	課長	馮汝康		
高雄汽車客運 股份有限公司	總經理 特助	陳可培	陳可培	✓
高雄汽車客運 股份有限公司	協理	陳彥碩	陳彥碩	✓
大南汽車股份有限公司	業務部 經理	宋成章		
中華民國公共汽車商業 同業公會全國聯合會	理事長		郭子美	✓

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會 簽到表

- 一、 會議時間：民國112年12月5日上午9:30
 二、 會議地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳
 三、 出席單位及人員：

未出席技術參訪			
單位	職稱	姓名	簽名
鼎漢國際工程顧問股份有限公司	副董事長	林幸加	林幸加
台灣車聯網產業協會	理事長	吳盟分	吳盟分
立委魯明哲辦公室	副主任	鍾育欣	
工業技術研究院	副院長	胡竹生	胡竹生
工業技術研究院	組長	張念慈	張念慈
工業技術研究院 智慧綠能載具推動策略辦公室	主任	林福明	林福明

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會 簽到表

- 一、 會議時間：民國112年12月5日上午9:30
 二、 會議地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳
 三、 出席單位及人員：

未出席技術參訪			
單位	職稱	姓名	簽名
交通部	政務次長	陳彥伯	✓
交通部運輸研究所	所長	林繼國	✓
交通部運輸研究所	副所長	王穆衡	✓
交通部公路局	副局長	張舜清	張舜清
交通部公共運輸及監理司	司長	林福山	林福山
新北市交通局	局長	鍾鳴時	鍾鳴時

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會 簽到表

- 一、 會議時間：民國112年12月5日上午9:30
 二、 會議地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳
 三、 出席單位及人員：

未出席技術參訪			
單位	職稱	姓名	簽名
弋揚科技股份有限公司	產品規劃專員	林靖穎	林靖穎
億光電子工業股份有限公司	協理	陳政欣	
億光電子工業股份有限公司	專員	陳政蓁	陳政蓁
立皓科技股份有限公司	總經理	林岳峰	林岳峰
健和興端子股份有限公司	經理	姚文章	
馳諾瓦科技股份有限公司	營業代表	蕭先生	蕭政合
亞力电机	副理	張大建	張大建
台電公司	課長	楊程鈞	楊程鈞
新北市政府交通局	辦事員	謝曉珊	
桃園客運	課長	崔展華	崔展華
桃園客運	廠長	劉文皓	劉文皓
太古商庫	經理	鄭榮宏	
統亞安立電	經理	吳芳誠	吳芳誠

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會 簽到表

- 一、 會議時間：民國112年12月5日上午9:30
 二、 會議地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳
 三、 出席單位及人員：

未出席技術參訪			
單位	職稱	姓名	簽名
首都客運股份有限公司	股長	常舜璋	常舜璋
首都客運股份有限公司	協理	張世峰	張世峰
首都客運股份有限公司	副課長	林宸恩	林宸恩
臺北汽車客運股份有限公司	股長	吳愷笙	吳愷笙
葛瑪蘭汽車客運股份有限公司	副總經理	李俊仁	
葛瑪蘭汽車客運股份有限公司	副總經理	劉銀凱	
大都會汽車客運股份有限公司	副理	張震寰	張震寰
大都會汽車客運股份有限公司	股長	洪一菁	洪一菁
大都會汽車客運股份有限公司	經理	魏光男	魏光男
桃園汽車客運股份有限公司	業務經理	簡誌良	簡誌良
豐原汽車客運股份有限公司	副總經理	黃朝清	黃朝清
嘉義汽車客運股份有限公司	企劃專員	卜敏義	卜敏義
欣欣客運股份有限公司	資訊組專員	李正豪	李正豪
府城汽車客運股份有限公司	經理	林政宏	林政宏

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會 簽到表

- 一、 會議時間：民國112年12月5日上午9:30
 二、 會議地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳
 三、 出席單位及人員：

未出席技術參訪			
單位	職稱	姓名	簽名
台灣車聯網產業協會	理事長	吳盟分	
財團法人中華顧問工程司	研究員	蔡明志	蔡明志
財團法人中華顧問工程司	研究員	劉又升	劉又升
銓鼎科技股份有限公司	協理	張振家	張振家
華電聯網股份有限公司	經理	劉姿君	劉姿君
展睿資訊股份有限公司	-	簡睿濬	
銓鼎科技股份有限公司	副處長	林漢綸	林漢綸
億光電子工業股份有限公司	副處長	郭志豪	郭志豪
香港商太古商用汽車有限公司	法規認證	鄭榮宏	
台灣分公司	經理		
健和興端子股份有限公司	業務	柯建州	柯建州
健和興端子股份有限公司	業務專員	何世偉	何世偉
公信電子股份有限公司	董事長特助	黃建仁	黃建仁
車王電子股份有限公司	經理	劉珮辰	劉珮辰

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會 簽到表

- 一、 會議時間：民國112年12月5日上午9:30
 二、 會議地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳
 三、 出席單位及人員：

未出席技術參訪			
單位	職稱	姓名	簽名
興南汽車客運股份有限公司	總經理	辛耀宏	辛耀宏
大南汽車股份有限公司運管室	主任	游開智	游開智
大南汽車股份有限公司票資組	組長	張偉立	張偉立
三重汽車客運股份有限公司	協理	高燦煌	高燦煌
三重汽車客運股份有限公司	襄理	張先得	張先得
三重汽車客運股份有限公司	股長	張哲璋	張哲璋
指南汽車客運		甘志	
國光客運	經理	陳讚聲	
全龍汽車	顧問	龍豐雲	
指南客運	副總	馬祖軍	
公路局	工程師	謝述澄	謝述澄
公路局	系初	常毅	常毅
成運汽車	專員	張皓峰	張皓峰

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會 簽到表

- 一、 會議時間：民國112年12月5日上午9:30
 二、 會議地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳
 三、 出席單位及人員：

未出席技術參訪			
單位	職稱	姓名	簽名
中興電工機械股份有限公司	業務副理	劉瑋琳	
寶錄電子股份有限公司	副總經理	黃日耀	黃日耀
遠傳電信	經理	葉勇助	
神通資訊科技股份有限公司	資深經理	高曉慧	
環創電行股份有限公司	銷售經理	陳爾杰	
國陽電業有限公司	業務經理	鍾惠玲	鍾惠玲
充壩技術服務股份有限公司	專案經理	柯津瑩	柯津瑩
智捷科技股份有限公司	業務經理	何泰祥	何泰祥
裕電傳電股份有限公司	資深協理	王柏棠	王柏棠
華城電能科技股份有限公司	經理	林育傳	林育傳
友達光電股份有限公司	特助	陳沛澄	陳沛澄
菲尼克斯有限公司	產品經理	Evelyn Chen	
菲尼克斯有限公司	業務專員	Alice Lin	
馳諾瓦科技股份有限公司	副處長	陳銘芳	陳銘芳

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會 簽到表

- 一、 會議時間：民國112年12月5日上午9:30
 二、 會議地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳
 三、 出席單位及人員：

未出席技術參訪			
單位	職稱	姓名	簽名
交通部公路局 車輛動態資訊管理中心	副工程司	張俊賢	張俊賢
財團法人車輛研究測試中心	課員	許浩勇	許浩勇
工業技術研究院機械所	管理師	陳依伸	
工業技術研究院機械所 智慧車輛組	組長	黃立恭	黃立恭
交通部運輸研究所	研究員	陳翔捷	
臺中市公共運輸及捷運工程處		張諱珊	張諱珊
亞力電木樂		韓宗廷	韓宗廷
台經院	助理研究員	李慕豪	李慕豪
台經院	助理研究員	古文潔	古文潔
運研所	副研究員	楊家鈞	楊家鈞
二	助理	趙聖壹	趙聖壹
〃	副研究員	蕭為元	蕭為元
〃	副研究員	黃士騰	黃士騰
〃	研究助理	葉旭芳	葉旭芳

1
許馨云 許馨云
李璽 李璽

電動大客車營運數據分析與智慧充電系統成果發表會 簽到表

- 一、 會議時間：民國112年12月5日上午9:30
 二、 會議地點：交通部運輸研究所B1國際會議廳
 三、 出席單位及人員：

未出席技術參訪			
單位	職稱	姓名	簽名
國立臺灣大學	博士生	謝承翰	謝承翰
台灣科技大學電機系	研究生	陳慶翰	陳慶翰
國立中興大學 智慧運輸發展中心	主任	賴慶明	
國立成功大學	學生	謝賜福	謝賜福
國立成功大學電機所	碩士生	劉合儀	劉合儀
逢甲大學 智慧運輸與物流創新中心	資深專案 經理	陳怡君	陳怡君
國瑞汽車	課長	鄧振耀	
神通資訊科技(股)公司	資深經理	高曉慧	高曉慧
成大	博士生	江嘉欣	江嘉欣
運研所	副研室長	孔垂昌	孔垂昌

影片分段：

1. 淨零碳排時代來臨，電動公車將帶來高效、智慧、潔淨的公共運輸服務

政府為了因應環境氣候變遷
提出諸多淨零碳排的計畫
其中「市區公車電動化」就是其中一項
用電力驅動的公車
不僅具有低碳潔淨的特性
更具備高效能、智慧化等諸多優點

但是將原來的柴油公車
全面改用電動公車時
客運業者將面臨「電動公車營運管理」
以及「電能管理」等全新議題的挑戰
為能協助客運業者解決上述難題
交通部運輸研究所啟動
電動公車智慧化管理的相關研究

1. Efficient, Smart, Green(主標)

Electric Bus Smart Charging Best Solution(副標)

In response to the challenges posed by climate change,
the Taiwan government has put forth numerous policies
aimed at achieving net-zero carbon emissions.
"Electrification of city buses " is one of them.
Electrically powered buses are not just environmentally friendly and low-carbon;
they are characterized by high efficiency and intelligence as well.

Nevertheless, the complete transition of diesel buses to electric buses
will pose new challenges for bus companies,
such as operation and power management for the entire electric bus fleet.
Therefore, to assist in addressing the mentioned issues,
the Institute of Transportation (IOT), MOTC
has initiated research focused on
the intelligent management of electric bus fleet.

2. 電動公車數據平台

交通部運輸研究所

利用電動公車數據平台中寶貴的資料

分析每一輛電動公車

在不同狀況下的營運調度

電量使用、電池健康度等指標

協助客運業者進行排班調度

電能管理的優化

並確保電動公車的營運順暢

2. Electric bus data platform

The IOT accesses valuable information from the electric bus data platform

to analyze operational schedules, power consumption, battery health,

and various indicators for each electric bus operating under different conditions.

This assists bus companies in optimizing schedules, charging management, and ensuring the smooth operation of electric buses.

3. 電動公車智慧充電系統

此外，透過智慧充電系統
針對每一輛電動公車的行車狀況
用電需求等特性
並考量台電的電力供應、
行車班表等前提下
進行整體車隊的最佳充電規劃
協助客運業者提升用電效益

3. Electric bus smart charging system

Furthermore, taking into account the driving condition, power demand, and characteristic of each electric bus.

Meanwhile, considering the power supply, the operational schedule, and diverse factors.

The optimal charging planning is conducted for the entire bus fleet through the smart charging system.

This assists the bus companies in enhancing the energy efficiency.

4. 電動公車數據平台+智慧充電系統-營運調度↑、用電效率↑、經濟效益↑

這樣的創新充電營運模式

客運業者不僅可以省下大筆基礎建置成本

同時還可以提升電動公車班次運轉調度的效率

並確保電動公車營運順暢

真是好處多多

集合共同的力量

解決共同的問題

交通部運輸研究所與您共同創造美好的未來生活

4. The combination and operation of electric bus data platform + smart charging system

Bus operation improvement

Power consumption efficiency

Economic benefits

With such innovative charging and operation solution,

bus companies not only can significantly reduce huge infrastructure construction cost,

but also dramatically improve the efficiency of schedule management,

furthermore keep the smooth operation of electric bus fleet.

Gathering collective strength

to address common challenges,

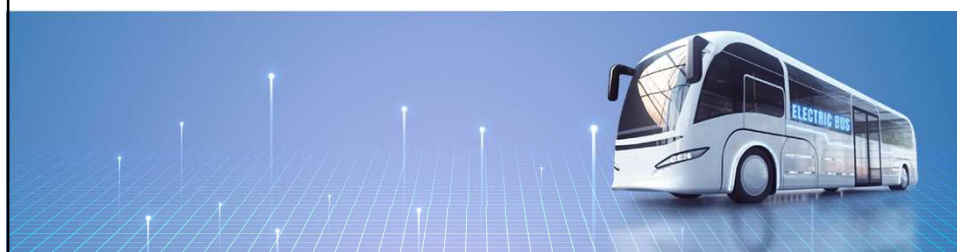
the IOT stands with you to co-create a better future life.



01

章節 PART

計畫辦理情形



計畫背景與目的

對應交通部2030年電動大客車推動策略

108~109年

建置電動大客車營運數據監控管理平臺並建立資料傳輸作業機制



110~111年

蒐集電動大客車營運數據、完成平臺第三方驗證、資安檢測與持續優化平臺功能



112/1/1起

平臺正式移交至公路局，持續辦理系統維運及管理

計畫目的

- ▶ 分析平臺累積之電動大客車營運的動、靜態數據
- ▶ 參考國外案例及國內利害關係人實務議題，就營運關鍵指標進行研析
- ▶ 結合跨域巨量資料與AI技術進行電動大客車營運數據研究
- ▶ 提供作為客運業者經營管理及後續政策精進之應用

計畫範圍與對象



研究範圍

- 109年以後申請補助上路電動大客車之分析資料
- 大數據分析與AI應用相關案例資料



研究對象

- 電動大客車製造與充電設施廠商
- 客運業者
- 政府單位

電動大客車製造與充電設施廠商

- 平臺資料蒐集對象

客運業者

- 平臺資料傳輸業者 (109年以後申請上路之業者)

平臺/雲端運算案例

- 國外電動大客車數據分析與應用
- 跨域巨量數據資料應用
- 雲端化分析軟體

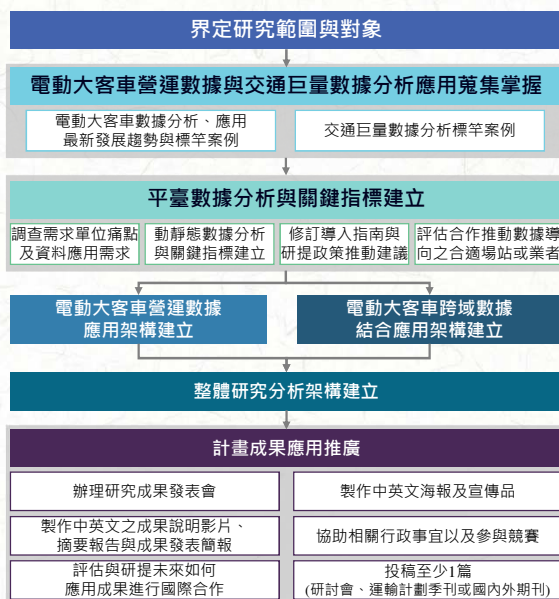
政府機關/法人機構

- 交通部
- 經濟部工業局
- 車安中心/車測中心
- 工研院
- 地方政府

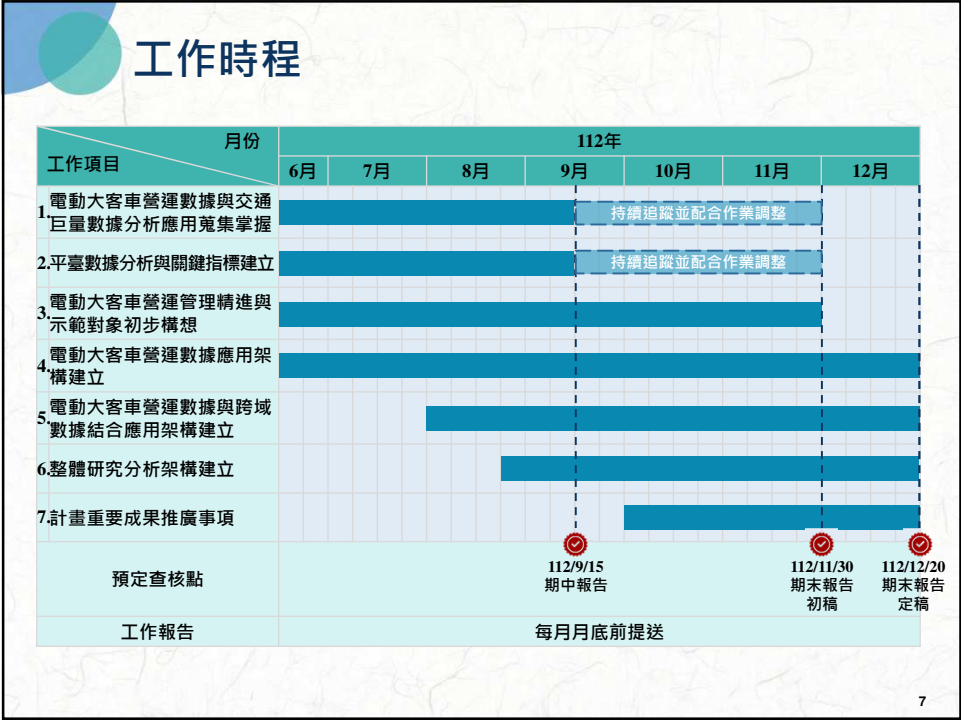


5

工作項目與流程



6



重點工作辦理進度(1/3)

● 各工項執行進度

重點事項	說明	對應報告章節
國內、外電動大客車營運數據分析與應用發展案例掌握	蒐集國內電動大客車推動情形，及國內、外電動大客車之營運數據分析應用、車輛營運管理及電池管理相關案例，掌握關鍵指標發展趨勢	報告2.1~2.2節
交通巨量數據分析與應用發展趨勢掌握	歸納AWS、Azure、GCP三大雲端服務之功能特點，探討合適的雲端化分析軟體	報告2.3.1節
	蒐集巨量數據探勘分析方法與標竿案例，探討合適的演算法與模型	報告2.3.2~2.3.3節
電動大客車營運數據監控管理平臺之數據分析與關鍵指標建立	依公車路線之車輛數、上線時間、車型、平臺數據傳輸完整度、車輛妥善率、參與意願等條件，評估合作推動數據導向之場站或業者	報告3.1節
	客運業者營運需求掌握及專家學者訪談交流	報告3.2節
	歸納客運業者及專家學者建議，建立營運數據關鍵指標	報告3.3節
	電動大客車導入指南修訂與政策推動建議	報告3.4節
電動大客車營運數據應用架構建立和分析方法初探	營運數據分析架構與應用方法建立	報告4.1~4.2節
	結合跨域資料並建立5個數據驅動模型，針對營運數據對於用電效率之影響進行初探與提出後續優化建議	報告4.3節
計畫成果推廣	- 製作成果海報、易拉展、簡報與影片，並辦理成果發表會及國內展示交流 - 成果摘要報告、投稿運研所「運輸計劃季刊」將於辦理驗收作業前完成	報告5.1~5.5節

8

重點工作辦理進度(2/3)

● 相關會議與交流

重點事項	時間	說明
相關單位交流	6/28 7/11 9/13 10/31 11/8	客運業者C1與C2： • 掌握營運情形及對於營運數據分析與應用指標之建議 • 討論分析示範路線R1與R2於車輛面及充電面之營運數據分析結果與實際營運調度情形 • 討論路線R1與R2對應駕駛、班次與車輛交叉分析用電效率 • 討論能耗資料分析應用(剩餘SOC監控、SOC健檢、傳輸資料監控)對營運實務上之建議，以及如何提升車輛回傳資料傳輸品質穩定性 • 討論對電動大客車資料分析儀表板的需求與看法
	9/15 10/27	客運業者C3： • 討論分析示範路線R3於車輛面及充電面之營運數據分析結果與實際營運調度情形，以及對於營運數據分析與應用指標之建議 • 討論能耗資料分析應用(剩餘SOC監控、SOC健檢、傳輸資料監控)對營運實務上之建議，以及如何提升車輛回傳資料傳輸品質穩定性
	8/22	工研院資通所：營運數據分析與應用之研究方向交流
	10/11	盧宗成教授：討論驅動模型建立、自變數選擇、分析方法選擇與精準度測量指標選擇之合適性與優化建議，以及能耗資料分析應用方向之建議
	10/26	鄭永祥與李威勳教授：討論驅動模型建立、自變數選擇與分析方法選擇之合適性與優化建議，以及能耗資料分析應用方向之建議
	11/2	工研院化材所儲能組陳金銘組長：討論車輛電池老化影響因子與影響程度、行駛中或充電中可蒐集哪些參數來判斷電池老化情形及電池穩定性或健康度

9

重點工作辦理進度(3/3)

● 相關會議與交流

重點事項	時間	說明
相關單位交流	11/15	工研院資通所梁世豪：討論車輛電池老化影響因子與影響程度、行駛中或充電中可蒐集哪些參數來判斷電池老化情形及電池穩定性或健康度
	11/16	內政部統計處賴威宇科長：針對驅動模型的應用方向(評估路線用電效率與SOC使用量、提供業者營運前規劃與營運中排班調度參考)、建立方法(機器學習、深度學習、迴歸等)、自變數選擇、現實資料轉換為模式變數做法之建議
論壇與研討會參與	9/19	2023臺灣車輛國際論壇(臺灣車輛移動研發聯盟)
運研所工作會議	6/21	6月份工作會議：討論計畫執行規劃與執行重點
	7/13	7月份工作會議：討論資料分析對象與執行重點事項
	8/23	8月份工作會議：示範計畫路線分析說明、數據驅動模型構想與交流訪談事宜規劃
	9/21	9月份工作會議：討論資料分析成果與應用方向
	10/20	10月份工作會議：討論盧宗成教授回饋意見、能耗資料分析應用方向、即時SOC預測實作測試、提升車輛回傳資料傳輸品質穩定性、後續專家交流議題(鄭永祥教授、李威勳教授、工研院電池專家陳金銘博士、梁世豪博士)
	11/23	11月份工作會議：討論成果發表會議程及成果說明中、英文影片
成果發表會	12/5	整合運研所「電動大客車智慧充電服務驗證計畫」共同辦理成果發表會，計有131位產官學研人士及12家媒體業者參與

10

02

章節 PART

文獻回顧與現況掌握



國內電動大客車推動相關計畫成果掌握

1. 電動大客車營運數據監控管理平臺

- 前期計畫自110年開始陸續蒐集電動大客車營運數據，至112年11月已累積21家業者、814輛電動大客車通過傳輸檢核(單一路線679輛、混合調度135輛)

前期計畫建立平臺動靜態資料
蒐集項目與傳輸機制

前期計畫建立營運指標
提供分期檢核與補助參據

蒐集資訊研提導入指南
提供業者導入參考資訊

- 本計畫運用平臺蒐集之電動大客車動、靜態數據，結合外部跨域資料與AI技術，研提**電動大客車數據應用與數位化營運管理**作為

2. 電動大客車智慧充電管理平臺

- 智慧充電系列計畫已建置電動大客車智慧充電管理系統，與中興集團北士科站進行示範合作

蒐集車上SOC即時數據
掌握進站前殘餘電量
(進站前1km範圍)

結合車輛動態班表
計算下次出車用電需求
(依車輛出廠能耗係數)

依站內車輛與充電樁狀態
智慧運算回饋控制充電
(建議停放區域與控制輸出功率)

- 本計畫自車端資料建立之數據驅動預測模型結果，可結合至智慧充電管理平臺，提供**不同條件下的能耗預估參數**，並輔助**追蹤電池老化狀態**

註：1. 運研所108~111年相關計畫，包括108~109年「電動公車示範計畫執行績效分析與推動策略支援應用」(2年期)、110年「電動大客車營運數據監控管理平臺維運與第三方驗證」、111年「111年電動大客車營運數據監控管理平臺維運與移轉」、公路局112年「112年電動大客車數據監控平臺維運案」
2. 運研所110年「電動大客車智慧充電示範計畫(1/2)-示範系統規劃」、112年「電動大客車智慧充電服務驗證(1/2)-智慧充電管理系統實證」

營運數據分析應用案例

- 國內開發業者有華德、總盈、創奕、成運、凱勝、唐榮；國外有Proterra、Volvo、Mercedes-Benz、Chariot Motors、Trapeze Group等
- 數據資料主要透過介接車載機與外部跨域資料平臺取得

系統分類	說明
車輛營運管理系統	● 主要功能： ✓ 遠端追蹤車輛動態、車輛零件使用情形，部分系統亦可根據歷史資料提早進行排程修復 ✓ 於管理平臺分析及呈現車輛營運相關數據 ● 美國史丹佛大學曾與加州當地客運業者AC Transit合作，建立多項檢測營運標準之KPI，主要針對AC Transit旗下不同燃料別的大客車，分析營運效率與追蹤碳排量
電池管理系統	● 主要功能： ✓ 遠端追蹤電池使用、充電情形 ✓ 於儀表板呈現電池運行狀態的相關資訊 ● Mercedes-Benz系統亦有提供智慧充電管理功能

13

交通巨量數據分析方法與標竿借鏡(1/3)

三大公有雲端平臺比較

項目	AWS (Amazon)	Azure (Microsoft)	GCP (Google)
優勢	● 具市場領先地位 ● 多種類型的計算、儲存服務 ● 產品成熟度高 ● 全球影響力高	● 全球第二大提供商 ● 與Microsoft工具和軟體結合 ● 服務模組較多元完整 ● 混合雲	● 專為雲端原生業務設計 ● 致力於開源和可移植性 ● 大幅折扣和靈活的合約 ● DevOps開發維運專業知識
劣勢	● 服務多元，使用困難 ● 定價結構複雜 ● 成立時間較早，系統架構較舊	● 部分服務僅限微軟產品使用 ● 定價結構複雜	● 較晚發展IaaS服務 ● 功能和服務較少 ● 可用性和可靠性較低

● 雲端化分析軟體建議：Azure

- 整合性：交通部TDX已開始採用Azure，可保留不同系統的整合彈性
- 費用價格：AWS費用較高，Azure與GCP費用較低
- 使用易用性：Azure介面操作門檻較低
- 視覺化：可整合Power BI等視覺化儀表版服務
- PaaS平臺即服務：AWS、Azure發展較早，PaaS服務較GCP多樣

14

交通巨量數據分析方法與標竿借鏡(2/3)

巨量數據分析標竿案例借鏡-數據驅動模型與關鍵變數研究方面

電池壽命

- 分析方法：結合積神經網路(CNN)與全連接神經網路(FCNN)(類神經網路)(Wang et al.)、輕量級梯度提升機(LGBM)(機器學習)(Zhang et al.)
- 蒐集資料：(1)車輛行駛里程、SOC；(2)電池電流、電壓、溫度；(3)環境溫度
- 模式驗證指標：RMSE、MAPE、 e 、 e_r

用電效率

- 分析方法：隨機森林(機器學習)(Li et al.)、多變數非線性迴歸模式(迴規模式)(Ji et al.)
- 蒐集資料：(1)車輛行駛里程、時間、速度、SOC；(2)車體與電池重量；(3)電池電流、電壓、溫度；(4)環境溫度；(5)空調溫度；(6)路線特徵；(7)載客量；(8)駕駛行為參數
- 模式驗證指標：RMSE、MAPE、 R^2

15

交通巨量數據分析方法與標竿借鏡(3/3)

巨量數據分析標竿案例借鏡-商業應用系統方面

預測電池壽命

- Silver Power System應用機器學習與數位孿生方法分析，並於自家管理平臺EV-OPS呈現即時車輛資訊、電池使用生命週期，並可隨時監控電池狀態
- TWACE應用機器學習、人工智慧方法建立模式，深入分析電池當前狀態與預測電池壽命，供用戶掌握。

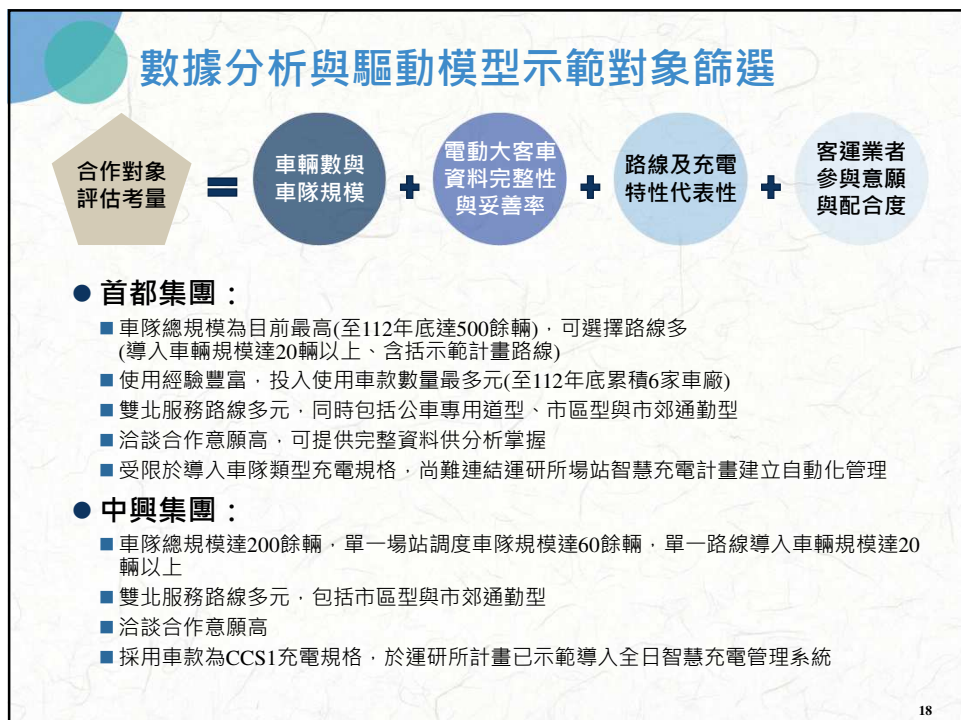
充電管理系統

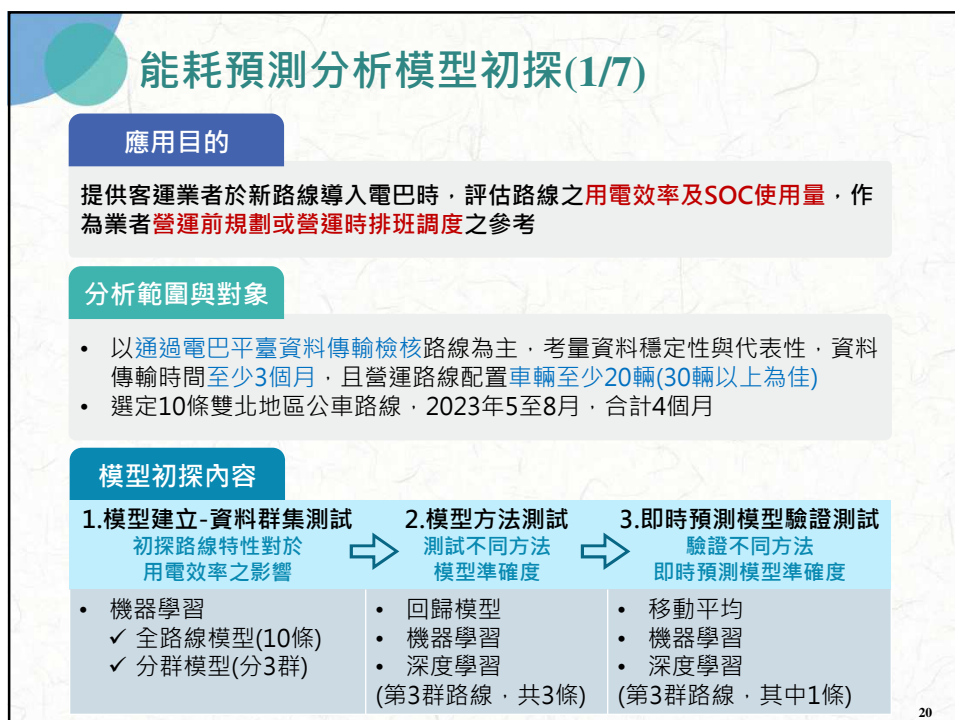
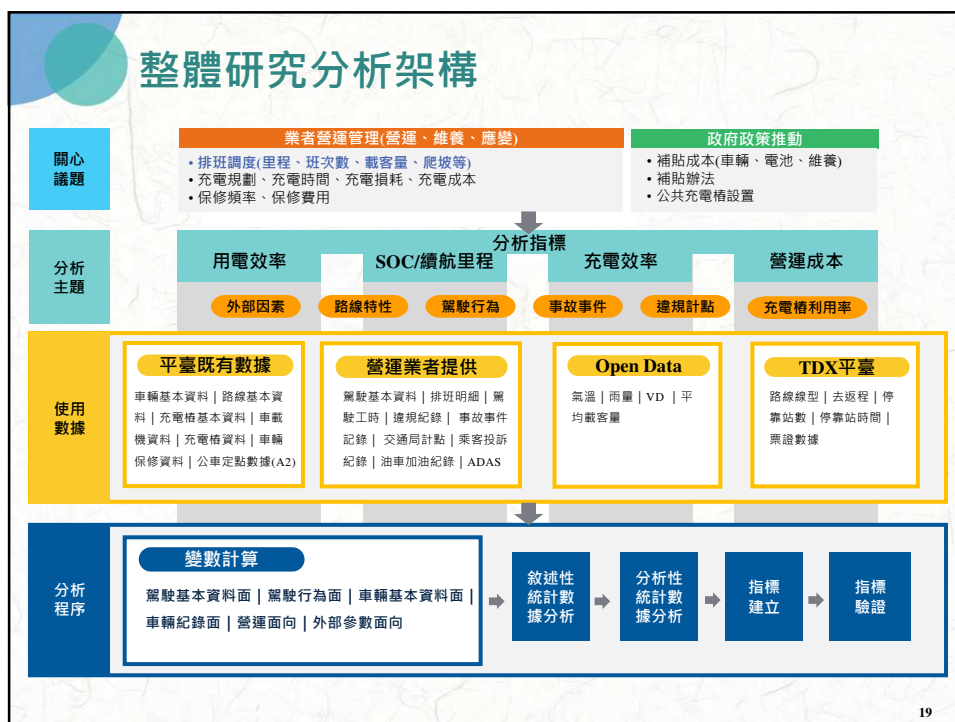
- BP公司使用Amplify Power公司所開發的充電管理系統蒐集車隊資訊、充電站資訊、時間電價、即時資訊等，應用機器學習建立CaaS模式並結合Amazon AWS雲端服務，分析車輛用電與充電情形。其自開發的OMEGA軟體設有管理平臺，供用戶隨時掌握車輛與場站營運狀態。

營運管理平臺

- 宇通客車開發睿控e平臺，結合Amazon AWS雲端服務，透過自家車輛內之車載機蒐集電池溫度、車內外溫度、駕駛行為等影響車輛營運的相關因子，應用人工智慧分析各因子對於車輛營運面之影響。

16





能耗預測分析模型初探(2/7)

● 資料蒐集面向與模型輸入變數

■除車機與路線本身資料外，環境變數以較易取得變數為主



- 車機：電池最大溫度、電池最小溫度、電池溫度標準差、電池平均溫度、起始SOC、SOC變化量、車外溫度、車輛平均速率
- 路側設施：慢車數量、小型車數量、大型車數量、道路交通量、道路平均速率、道路佔有率
- 營運路線：路線ID、車牌號碼、班次里程、每段次平均人次
- 道路環境：號誌化路口數、停靠站數、是否有公車專用道、是否跨河
- 日期：班次編號、平假日、時段
- 氣象：雨量、氣溫

21

能耗預測分析模型初探(3/7)

變數相關性分析

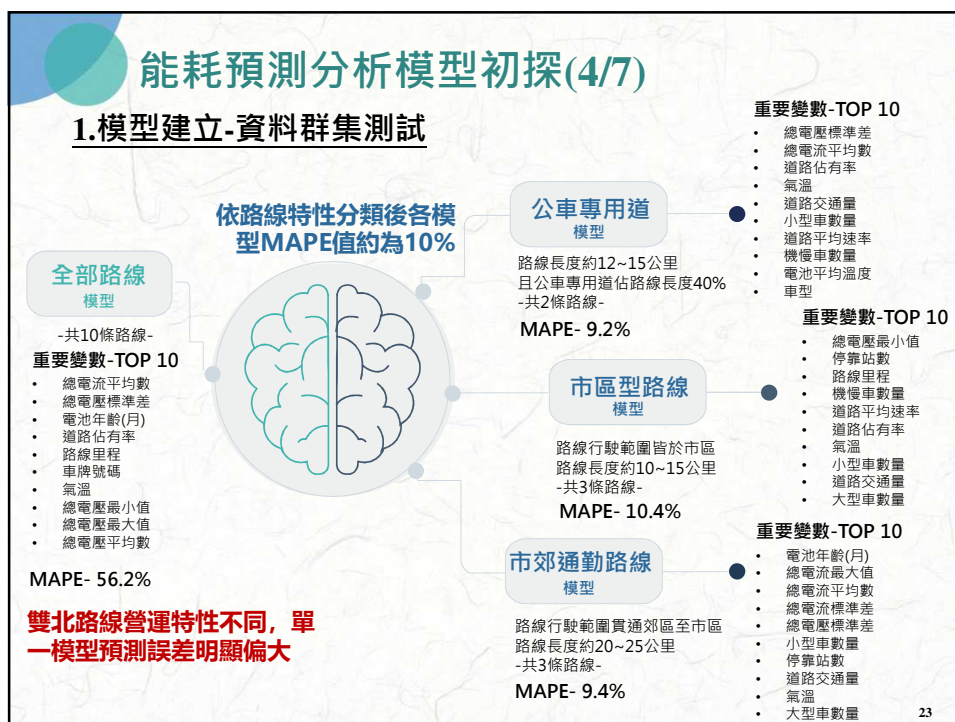
- 起始SOC、電池溫度、道路交通量、平假日、時段等欄位與用電效率皆呈現中低度相關，研判因為變數與用電效率皆可能不為線性關係，或可能為多變量關係，故於單一相關係數實際數值無法呈現高度相關
- 部分變數之間呈現高度相關，如電池容量與電池溫度、小型車輛數與道路交通量皆呈現高度相關，最終模型如使用有母數方法，須留意共線性問題，考慮是否剔除其中影響度較低的變項

[illegible]

22

能耗預測分析模型初探(4/7)

1.模型建立-資料群集測試



能耗預測分析模型初探(5/7)

2.模型方法測試(市郊通勤路線模型)

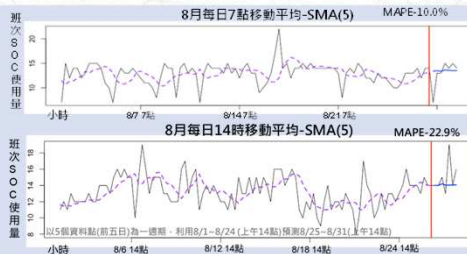


能耗預測分析模型初探(6/7)

3. 驗證以2.建立之歷史模型，預測即時資料之準確性(單一路線)

移動平均

- 使用連續1個月前25天資料、每5日計算平均值訓練
- 以每5日計算平均值預測



MAPE值高，因SOC變化量亦受到時段尖離峰、交通量、氣溫等影響，且此法屬時間序列，適用於具有時間前後關聯性之數據，不適合用於即時SOC預測

機器學習 (隨機森林)

訓練 MAPE=8.9%
[4.29秒]
預測 MAPE=10.3%
[不到1秒]

機器學習 (XGBoost)

訓練 MAPE=8.7%
[0.15秒]
預測 MAPE=9.7%
[不到1秒]

深度學習 (h2o)

訓練 MAPE=9.2%
[41.8秒]
預測 MAPE=10.5%
[18秒]

MAPE值差異不大，建議選擇機器學習(XGBoost)，除Python套件本身提供較多可調整參數，運算速度亦較快，MAPE值也較低

使用4個月資料訓練、1個月資料預測

25

能耗預測分析模型初探(7/7)

後續優化建議

投入模型變數建議

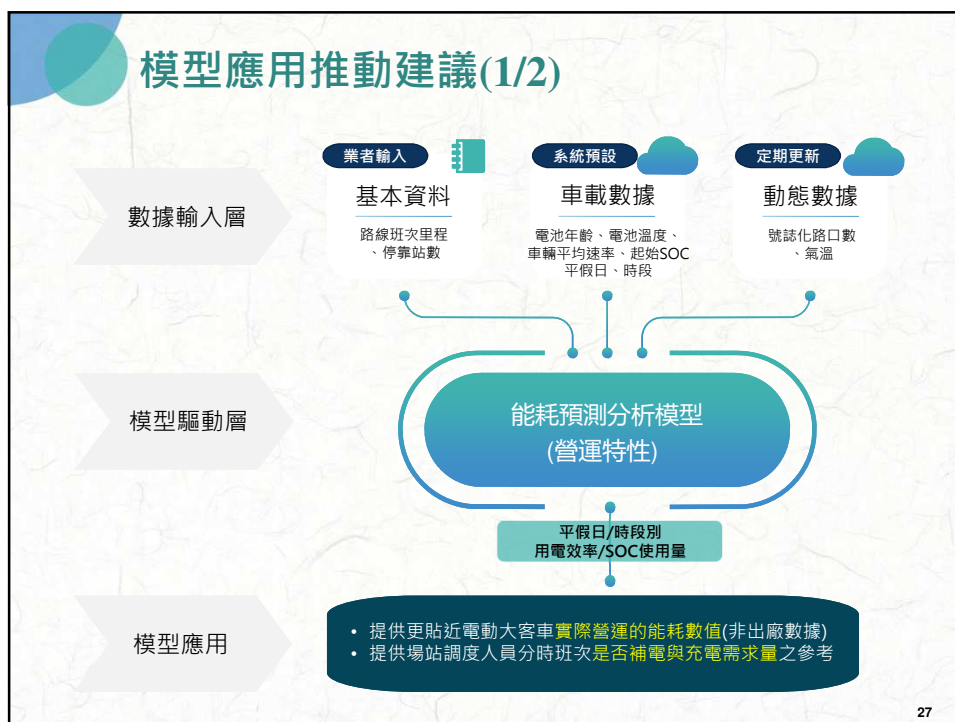
- 模型投入變數需考慮後續應用之便利性與取得性，本年度主要影響模型之變數為公車路線停靠號誌化路口數、氣溫、時段、車輛平均速率、起始SOC及平假日等，皆為後續易取得或設定之變數
- 既有已投入且與用電效率呈現相關趨勢之變數，進一步將極端值與異常值條件限縮，提升資料品質
- 模型使用資料以電巴平臺、既有開放平臺或較易取得轉換資料為主，後續針對可能影響用電效率但現階段無法掌握資料，進一步向業者索取及進行資料轉換分析

模型建立與優化建議

- 後續模型延伸至雙北以外地區，亦須考量地區特性是否有所影響
- 考量各廠牌車輛三電系統設計本身有所不同，用電效率可能已受車輛廠牌出廠潛在自身條件影響，後續建議依資料累積情形，針對各車型分別進行獨立模型建立
- 經與客運業者訪談回饋，駕駛行為確實對於用電效率有影響，可依據電巴車機資料，依速度及加速度等資料將駕駛行為進行分類(如激進型、一般型及積極型駕駛)作為模型投入變數進行測試
- 目前以連續4個月資料進行模型初探，後續建議依電巴資料累積時間，擴大分析時間長度，以掌握與時間維度相關(如季節及電池年齡)變數之影響

26

模型應用推動建議(1/2)



27

模型應用推動建議(2/2)

智慧充電系統參數

- 提供更貼近電動大客車實際營運的能耗數值
- 做為充電管理系統估算應用參數



排班調度充電參考

- 整合電動大客車回站剩餘SOC資訊、發車班表及能耗值預估資訊
- 提供場站調度人員分時班次是否補電、充電量之建議值



電動巴士 關鍵指標儀表板

現在時間

2023-10-20 14:40:02

點選調度表

充電站

查詢資訊

SOC監控

SOC健康

傳輸資料監控

|

A 客運 A 站

人

即時進站車輛	車號	回站時間	下一班發車資訊	路線	班次時間	班次SOC需求量	回站時SOC與預測SOC需求	預估充電需求值	預估充電時間需求
EAL-0008	2023-10-20-14:40	信義線	2023-10-20-15:09	信義線	2023-10-20-15:09	15%		15%	1.1小時
EAL-0029	2023-10-20-13:43	信義線	2023-10-20-15:43	信義線	2023-10-20-15:43	13%		18%	1.3小時
EAL-0001	2023-10-20-13:23	信義線	2023-10-20-15:23	信義線	2023-10-20-15:23	14%		10%	0.8小時
EAL-0014	2023-10-20-13:23	信義線	2023-10-20-15:40	信義線	2023-10-20-15:40	15%		7%	0.6小時
EAL-0003	2023-10-20-13:18	信義線	2023-10-20-15:18	信義線	2023-10-20-15:18	12%		-	-
EAL-0011	2023-10-20-13:31	信義線	2023-10-20-15:31	信義線	2023-10-20-15:31	13%		-	-
EAL-0009	2023-10-20-13:30	信義線	2023-10-20-15:30	信義線	2023-10-20-15:30	12%		-	-
EAL-0030	2023-10-20-13:22	信義線	2023-10-20-16:22	信義線	2023-10-20-16:22	13%		-	-
EAL-0007	2023-10-20-13:21	信義線	2023-10-20-15:21	信義線	2023-10-20-15:21	11%		-	-

28



112年12月5日辦理成果發表會

訂於中華民國112年12月5日(星期二)上午09:30~12:40
假交通部運輸研究所B1國際會議廳(台北市松山區敦化北路249號)舉行
電動大客車營運數據分析與智慧充電系統 成果發表會
誠摯邀請 蒞臨指導

交通部運輸研究所 所長 林繼國 敬邀

活動時間	主題	講者
09:00-09:30	報到	
09:30-09:45	開幕典禮&致謝合影	(1)林繼國所長 致歡迎詞 (2)王國材部長 致謝
09:45-09:55	電動大客車 營運數據分析與智慧充電系統	交通部運輸研究所 政策室副長
09:55-10:10	電動大客車 營運數據分析與應用	國產國際工程顧問公司 林參政副董事長
10:10-10:25	電動大客車 智慧充電管理系統	工業技術研究院機械所 潘啟銘副所長
10:30-10:45	茶歇	
10:45-11:15	成果發表與交流	
11:15-11:30	媒體攝影採訪	
11:30-12:40	持續參訪：台北市電動大客車智慧充電管理系統 (名額有限，將於會前電郵通知蒞賓進行網路報名資訊)	

聯絡人：交通部運輸研究所 陳阿輝 電話：02-23498888 電郵：t05021500@dot.gov.tw

- ▶ 運研所林繼國所長主持、交通部陳政務次長蒞臨指導
- ▶ 產官學報名參與人數達131人

112年12月7~8日辦理國內成果展示及交流

- 製作成果海報、易拉展與影片，並於2023中華民國運輸學會辦理國內展示交流



31

05

章節 PART

結論與建議



結論

電動大客車營運管理精進示範對象規劃

- 第2年期計畫建議優先以首都客運集團與中興大業巴士集團之路線或場域做為合作示範對象，計畫執行期間亦已取得二家業者認同

電動大客車營運數據分析與關鍵指標建立

- 建議關鍵指標包含班次用電效率及SOC使用量，充電時間、充電效率及充電度數
- 計算每班次在不同季節/時段/起始SOC等情況下的SOC需求量，提供充電與否與充電量參考值，增加客運業者日常營運調度與充電規劃作業之助益
- 季節、時段、班次起始SOC、路線類型、停靠站數、行駛里程、駕駛特性、車輛冷氣溫度...等均為能耗影響因子，依資料可取得情形轉換納入數據驅動模型變數

電動大客車營運數據應用架構建立

- 本年期針對能耗預測模型進行探討，包含氣溫、車輛速率平均值、起始SOC、時段、班次實際里程、電池溫度最大值、電池年齡(月)、停靠號誌化路口數、停靠站數及平假日等10項營運特性重要變數
- 模型應用運作方式分為三個階段：數據輸入層(包含基本資料、車載數據及動態數據資料)、模型驅動層(模型自動化執行運算)與模型應用層(可透過視覺化儀表板查詢與資料庫表單輸出結果)
- 可依據客運業者營運需求開發相關儀表板，應用面向包含剩餘SOC監控儀表板、SOC健檢儀表板等

33

建議

能號預測模型 後續優化建議

- 延長模式分析時間長度，掌握與時間維度相關變數(如季節與電池年齡)之影響程度
- 針對各車型建立獨立模型，排除各廠牌三電系統設計不同可能影響用電效率
- 模型應用延伸至雙北以外地區路線

數據驅動模型 後續研究方向

可依電巴運行速度及加速度將駕駛行為分類進行研析，探討駕駛行為對於用電效率之影響

整合「電動大客車智慧 充電服務驗證計畫」共 同推動國際合作機會

可利用國際研討會向國外電動大客車車商、相關產業、使用者等推廣計畫成果

數據分析可評估結合ADAS跨域資料

建議運研所或相關單位未來可擬訂相關系列計畫，並協助取得計畫所需資料

34



電動大客車數據分析與應用計畫(1/2)-數據研析與關鍵指標建立

期中報告審查意見回覆辦理情形

一、開會時間：112 年 9 月 26 日下午 02 時 00 分

二、開會地點：運研所 6 樓會議室

三、主席：王穆衡副所長

記錄：陳翔捷

四、出席單位及人員：略

五、主席致詞：(略)。

六、簡報：(略)。

七、出席單位意見：

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
鄭榮和教授 (含書面意見)	1. 本計畫所統計之每班次用電效率，由於煞車回充對於車輛用電效率具有相對之影響，建議再了解所有車輛是否具有煞車回充的運作模式，使後續統計數據更精準且符合實際營運狀況。	依據過去協助業者進行電巴資料傳輸檢核作業經驗，目前多數廠牌車輛皆具有剎車回充機制，本計畫期中階段所分析之車型亦具有剎車回充機制，惟本計畫主要為透過車機回傳資料進行用電效率相關分析，較難以針對所有車輛回充機制進行細部探究。	同意辦理
	2. 本計畫根據不同車型及路線進行營運數據分析，建議深入探討所有車型 SOC 的估算是否正確。	本計畫營運數據資料來源為客運業者依電巴傳輸規範拋傳至電巴平台之車機資料，其中剩餘電量 SOC 為透過車載設備直接傳出之資訊，非本計畫另行估算，故較難以驗證其正確性。	同意辦理
	3. 建議後續說明數據取得之方式及資料蒐集是否達到巨量程度。	本計畫以定期離線批次方式取得電巴平台車機數據資料，進行數據驅動模型初探與用電效率相關分析，期中階段模型使用之班次資料已達 10 萬筆以上(去除缺失與異常資料後)，已達巨量資料程度。	同意辦理
	4. 建議補充說明模式建構中機器學習是運用哪些資料做訓練。	數據驅動模型訓練變數主要為參考國外文獻研究案例及業者實務訪談回饋，針對主要	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
		影響能耗相關因子進行訓練測試，包含電巴車載機(如電池、SOC 等)、開放平台(如氣象、雨量等)、營運路線(如營運里程及停靠站數等)及道路環境(如號誌化路口數及交通量等)資料，並依據測試結果篩選重要變數，其內容整理於 4-2 頁。	
	5. 報告書第 3-44 至 3-45 頁，提及分析結果回饋及後續執行方向，建議於報告書緒論中詳細描述分析對象、情境及假設，以方便閱讀。	感謝委員建議，於報告書第 3-11 頁說明分析對象與目的性。	同意辦理
	6. 報告書第 3-44 至 3-45 頁，提及平台接收資料完整性議題，請說明若車輛回傳數據「空白」，平台對此之處理 SOP 為何。	若車輛回傳數據「空白」，將被平台判斷為無效資料，予以剔除，不納入後續相關分析數據中，但平台皆收數據資料庫中仍將保留相關原始資料，處理方式補充整理於 3-67 頁。	同意辦理
	7. 報告書第 3-44 至 3-45 頁，針對營運狀況分析情形，建議描述 SOC 使用量之差異時宜分析何以致此營運情形，不宜僅列舉數據。	SOC 使用量差異之原因受車輛、路線、駕駛、外部環境等影響，較難直接從統計分析結果判斷影響主因，故相關分析主要做為影響因子蒐集之參考，另期末階段有再增加起始 SOC 與用電量之相關分析，已補充於報告書 3.3.2 節中。	同意辦理
李克聰教授	1. 有關簡報第 6 頁，針對工作項目與時程，建議嚴謹對照研究主題與重點(Request For Proposal)描述方式，執行順序也需詳細說明清楚，並於工作項目「平台數據分析與關鍵指標建立」前加入業者訪談及專家訪談等工作項目，架構方才合理及完	工作流程中列示「調查需求單位痛點及資料應用需求」，另於報告內容中已增加業者訪談及專家訪談等整理結果，請參照報告書 3.2 節中。	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	整。		
	2. 有關簡報第 15 頁，針對初探對象之篩選，建議說明此三條路線的代表性及限制性為何，若有限制需補充說明清楚。	初探對象主要係依據初步篩選合作對象之業者，並就其營運路線進行初探；補充說明篩選對象之代表性及限制性，請參照報告書 3-3 頁中。	同意辦理
	3. 有關簡報第 16 頁，提及關鍵指標檢討，建議思考是否有遺漏的關鍵指標尚未補充，對於未來營運上具有預測及規劃之用途。	感謝委員提醒，目前所列之關鍵指標優先以計畫可蒐集取得之相關資料(亦無須額外進行相關檢測)進行指標計算，後續配合計畫推展進程持續檢視。	同意辦理
	4. 有關簡報第 17 頁，提及關鍵指標初探結果，建議說明清楚營運業者特性、路線特性、廠牌。	因關鍵指標初探結果涉及資料開放與業者營運商業數據議題，故報告中無法直接呈現業者或廠牌相關資訊，針對路線特性部分已補充於 3.1 節。	同意辦理
	5. 有關簡報第 35 頁，針對研究分析架構的部分，建議詳細說明「監理」面能給予業者及政府什麼建議，若無法達成，需補充說明，若為可達成，可給予條件式或情境式之建議。	有關監理部分構想為藉由平臺數據掌握車機數據品質狀況，提供給客運業者改善。	同意辦理
	6. 有關簡報第 44 頁，針對現況痛點之訪談內容，建議應該於數據分析前詳細描述與業者訪談之結果。	新增 3.2 節說明與客運業者掌握課題與就數據分析之想法意見，詳見期末報告第 3-4 至 3-7 頁。	同意辦理
	7. 有關簡報第 44 頁，針對數位化營運調度，建議詳細說明應用對象，是否針對某種情境之業者做數位化營運調度，再根據其情境做詳細說明及後續規劃。	於期末報告第 3-3 頁說明預計合作之示範對象規劃建議，並依第一年期研究成果，於 4.4 節彙整說明針對數位化管理應用情境。	同意辦理
	8. 針對本計畫建議從問題導向去思考，因此業者訪談之內容結果及相關限制相當	感謝委員建議，已於 3.2 節增加業者訪談及專家訪談等整理結果。	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	重要，問題清楚後方可聚焦工作項目及內容，分析出之預期成果才有應用性。		
王教授晉元 (含書面意見)	1. 報告書 2.2 節，針對標竿案例的內容分析及探討，建議依照數據來源、AI 或資料探勘案例、分析主題進行綜整，並說明選擇這些標竿案例之理由，未來工作項目中也建議增加亞太與歐洲地區標竿案例之文獻回顧。	感謝委員建議，後續針對標竿案例將依照營運系統之共同性做分類綜整，並針對案例分析說明其內容及實務運用，以深化計畫成果內容；後續亦納入中國及英國等數據分析標竿案例，再深化內容，增加參考價值，其內容歸納整理於 2.3.3 節。	同意辦理
	2. 報告書第 2-19 頁，標竿案例內容提及之上德益科技並非從事電動車車隊管理，建議將此標竿案例刪除。	敬悉，遵照辦理。	同意辦理
	3. 報告書附錄頁，建議將客運業者之訪談結論、痛點及需求明確指出並於報告書內詳細說明，對於後續關鍵指標之訂定才具相關連結。	本計畫已和國內客運業者訪談，綜整業者提出的痛點與實務經驗於 3.2 節中。	同意辦理
	4. 針對業者與路線之篩選，考量資料之完整性與妥善率，建議於期末報告審查時補充說明。	於期末報告第 3-3 頁補充說明預計合作之示範對象規劃建議。	同意辦理
	5. 報告書中提及關鍵指標為用電效率，建議於期末報告說明此指標是否為業者及相關單位真正之營運痛點，補強其正確性及連結性；另外也需說明與既有平台描述用電效率之差異為何。	經與業者實際需求訪談掌握，業者於實務營運上最主要關心的議題為導入電巴車輛後之能耗與排班調度問題，故本年度計畫數據驅動模型優先針對營運特性對於用電效率影響進行初探，讓業者於營運前有相較於車輛出廠時說明之能耗參考值，進行營運前班表安排及充電規劃，以及於營運時協助即時因應動態班表預測下一班次之 SOC 使用量，	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
		提供站務人員機動調度及安排充電事宜；本計畫用電效率與運研所相關計畫計算定義相同，惟本計畫因應分析與預測需求，計算單位細至每班次用電效率。	
	6. 報告書中提及利用隨機森林做巨量資料之分析方法，建議詳細說明訓練報告資料種類及預測目的為何。	期中階段數據驅動模型優先針對營運特性對於用電效率影響進行初探，目的為讓業者於營運前有相較於車輛出廠時說明之能耗參考值，進行營運前班表安排及充電規劃，並參考國外文獻研究以隨機森林為主要建模方法，期末階段亦持續加入迴歸方法、其他 AI 深度學習與機器學習方法，以掌握較適用本計畫之模型方法，相關內容已補充於期末報告第四章中。	同意辦理
公路局 郭重佑委員	1. 報告書 2-8 頁，提及以中興巴士集團北士科站作為合作示範場域，建議於期末報告中簡述場域相關現況。	該場站為智慧充電示範場域，本計畫主軸為針對客運業者於營運實務資料之關鍵指標進行分析，由於該場站為智慧充電示範場域，目前於實驗及規劃階段，後續將針對相關成果於成果發表會提供。	同意辦理
	2. 報告書 2-65 至 2-68 頁，提及國內外應用案例之彙整，建議針對案例之間之共同性做詳細內容彙整。	感謝委員建議，針對國內外營運數據分析應用案例與標竿案例，已各別就共同性彙整，並於表 2.4-1 至表 2.4-3 呈現。國內外營運數據案例的部分，以車輛營運管理系統與電池管理系統做區分；標竿案例的部分，則就各自的應用範疇做強化說明。	同意辦理
	3. 報告書 3-6 頁，提及 SOC 之定義，建議於 3-3 頁先予說	SOC 即電池電量狀態，用來表示電池的剩餘電容量，請參照	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	明。	表 3.3-1。	
	4. 報告書 4-33 頁，表 4.3-9 提及數據驅動模型之變數重要性順序，建議提供具體數據，佐證各個變數之重要性。	遵照辦理，數據驅動模型之各變數重要性順序數據已補充於期末報告第 4.3.2 節中。	同意辦理
公路局 動態中心 曾幸敏 執行秘書	1. 報告書裡提及資料為根據電巴數據平台歸統整，請團隊於資料索取上再注意相關申請作業。	敬悉，遵照辦理。	同意辦理
	2. 當初建置電巴數據平台時有訂定相關的關鍵指標，但公路局接手平台後發現有些關鍵指標的資料取得不易，跟實務有落差，但目前報告書沒有針對平台原先訂定的關鍵指標做檢討與初探，只針對後續業者意見所提到的 SOC 部分做探討。因報告書主要重點是在關鍵指標的建立，所以建議團隊能夠針對平台原先訂定的關鍵指標及其資料蒐集可行性做分析，並與客運業者了解關鍵指標如何輔助業者做決策。	感謝委員建議，計畫主軸為針對具有營運實務分析價值之關鍵指標進行分析，經與業者訪談了解，最重視的關鍵指標仍以對應用電需求之用電效率與 SOC 使用量有關，可利用電巴車機資料回傳之里程數、SOC 使用量及電池容量進行計算分析，提供本計畫合作之示範業者作為營運時排班調度之參考。	同意辦理
	3. 報告書內提及雲端數據分析應用是利用現有平台，還是新建平台，並補充說明雲端數據分析之必要性，及其與即時 SOC 之關聯性。	期中報告書內提及之雲端數據分析應用平台，係指新建平台，為後續協助業者導入數據驅動模型及相關分析功能後另行開發之應用平台，期末階段亦納入地端與雲端數據分析之應用構想，提供未來業者導入相關功能之評估參考，其內容寶充整理於 4.4 節	同意辦理
	4. 針對駕駛行為的分析，建議可以將尖、離峰行駛狀態納	感謝委員建議，有關駕駛於尖、離峰行駛對於用電效率之	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	入考量因素(例如：若駕駛於尖峰時間行駛，電力之使用相對較大，以致用電效率差異)。	影響，已補充於期末報告 3.3.2 節中。	
	5. 簡報第 33 頁，提及平台資料接收完整性，目前部分欄位資料可接受業者於事後以人工傳輸方式進行補正，建議確認分析緣由及執行可行性。	期中報告簡報中提及之平台資料接收完整性，係指針對電巴車輛車機回傳資料之完整性，原始車機欄位數據資料現階段尚無法進行補正，為由客運業者依據車機月報輔以相關出車佐證資料進行行駛班次數補正。而為減少業者於事後補正作業時間，建議可針對傳輸之原始數據資料及遺漏班次數進行彙整，提供客運業者作為與車機商查核修正之參考資料。	同意辦理
	6. 簡報第 33 頁，提及即時 SOC，平台目前針對電動巴士車機以每 5~20 秒回傳 SOC 剩餘量應符合即時資訊之定義，建議補充說明即時 SOC 資訊之使用目的。	有關期中簡報中所述之即時 SOC，主要考量為目前部分客運業者未追蹤應用 SOC 資訊，而是透過駕駛進行手抄作業或其他方式回報，以掌握車輛回站時之剩餘 SOC，因此期未來能朝透過結合車機即時 SOC 傳輸方式提供場站站務人員及司機，作為判斷是否於休息時段補電或可行駛之剩餘班次數或里程數等。	同意辦理
臺北市 公共運輸處 (含書面意見)	1. 報告書第三章，蒐集電動大客車數據主要係將車輛及充電資料回傳至交通部公路局平台，惟據了解，部分充電樁產品似僅得提供特定廠商生產之車輛使用，致共享充電站(樁)難以推動、業者成本增加及資料蒐集不易，故建議交通部可先就	目前智慧充電已納入電動大客車補助辦法。	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	充電樁及通訊協定之通用性先予訂定規定，通案要求開放適用所有電動大客車，藉此亦可廣納各種電動大客車基礎資料，提升研究數據之參考價值。		
	2. 本市公車業者反映，部分車輛電池消耗程度高於預期，可否透過本研究長期資料分析電池續航力，進而得知電池衰退程度？並提供可行的建議改善策略。	本計畫與電池特性專家學者請益，實務應用上需以細部的電池 pack、subpack、模組及電芯，觀察其最高及最低電壓與溫度，方可判斷電池健康度，建議未來宜由業者或主管機關進行管理，相關內容補充於 3.2 節中。	同意辦理
	3. 報告書 3.2.1 節，因車輛智慧充電排程係就有限電力供給量下，分散車輛充電時間以達總體車隊最佳化之充電效率，惟車輛連接充電槍時電池未必全程處於充電狀態，故應先定義本研究所稱「充電時間」之計算係電池實際接受充電時間抑或自插入充電槍之時間起算。	「充電時間」計算需依電池實際接受充電時間，始具有代表性，現況係從訪談過程中了解部分業者系統上傳的情況未必均以此為標準，後續建議於規範修訂時補充說明。	同意辦理
	4. 本市刻正檢討電動公車之 18 項成本，請說明本研究成果得否與車輛營運成本進行回饋或連結。	18 項成本項目涵蓋範疇廣，平臺蒐集資料僅彙整車輛購置成本、車輛充電度數與保修費用等資訊，較難回饋相關需求。	同意辦理
	5. 本研究案似先行以雙北地區之市區公車作為研究基礎，惟因全國各地之公車營運型態多元，各有差異，建議後續納入不同縣市的電動公車數據，為各營運樣態提供資料分析。	因本年期為數據驅動模型初探，僅先就雙北地區路線進行測試，後續會以洽談後有合作意願之客運業者為主。	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	6. 未來電動公車均應配備盲點警示系統、車道偏移系統、防瞌睡系統或酒精鎖等智慧化設備之建議 (1). 市區公車有別於公路客運或國道客運，大多以低時速行駛，且進出停靠公車招呼站頻繁，行經市區道路混合車流之路況下常與其他用路人行向交織衝突，惟現行車輛安全檢測基準對於 ADAS 功能作動條件適用之作動車速較高，如「車道偏離輔助警示系統」規定應至少於時速 60 公里以上時作動，是否能有效使用於市區公車？建議可就市區公車等不同業別之電動大客車，分別進行大數據分析，發展出合宜之標準。 (2). 建議蒐集 ADAS 各系統之警示資料，結合駕駛人身份識別，對個別駕駛人駕駛行為進行分析及資料探勘，並結合路線特性進行強化分析，篩選出各路線警示次數較多或事故風險較高之潛在高風險駕駛，以利各業者進行後續對高風險駕駛進行駕駛行為輔導及矯正，消彌可能之行車事	感謝建議，因電動公車 ADAS 相關資料非平臺蒐集資料，故不在本計畫研究範圍。	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	故。 (3). ADAS 各系統之警示資料結合當下 GPS 點位，標註警示觸發位置，可產出熱力圖、高風險區域，提供駕駛員及站管人員留意參考；另亦可與客運公司之內部管理系統結合，延伸及功能性，推動公車產業數位轉型，提升行安及管理效能。		
本所運輸科技 與資訊組 (含書面意見)	1. 請團隊針對本組陳翔捷研究員提供的兩篇中國吉林、深圳 1000 多輛電動公車車隊的能耗研究期刊論文、美國史丹佛大學能源研究中心的電動公車等技術報告，詳加閱讀並綜整與本案研究相關之內容於期末報告中，並請持續蒐集歐美與亞太地區的電動公車數據分析標竿案例。請綜整各案例之重點內容並論述本計畫可借鏡之處，並持續蒐整分析美國、中國與澳洲等積極推動電動公車國家之最新技術報告與文獻。	遵照辦理，本計畫有詳讀中國吉林、中國深圳、美國史丹佛大學等研究車輛能耗的報告，亦有詳讀另 2 篇中國佛山、長春等研究車輛電池壽命預測的報告。另亦蒐集英國、德國、中國等共 4 個實務標竿案例。參考各自的研究方法、應用範疇，並已綜整可借鏡之處，撰寫於期末報告 2.3.3 節中。	同意辦理
	2. 請持續運用 R1、R2 與 R3 等示範路線，重新釐清模式相關變數並持續評估是否建立 regression-based 或 AI-based 的能耗預測模型(如預估每班次或各型態路線)，並探討其可能應用面向與未來推廣對象。請依據客運業者 9 月份訪談所提	遵照辦理，期末階段已持續建立 regression-based 及 AI-based 的能耗預測模型，相關內容請參閱期末報告書 4.3.2 節，針對應用面向及未來推廣對象、平台建立即時 SOC 與使用量推估資訊等內容補充於期末報告 4.4 節中。	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	出之即時動態 SOC 值需求，透過平台建立即時 SOC 與使用量推估資訊，以解決部分路線人工經驗判斷充電量議題。		
	3. 請評估採用深度學習/隨機森林等 AI 方法是否合適用於每班次之能耗預測，以及是否適合作為營運規劃或管理之用，或者需採用傳統迴歸模型；若發展 AI 預測模型，請評估是否依駕駛/車型/時段/天氣/SOC 狀態建立更細緻化預測模型。	遵照辦理，期末階段已持續針對深度學習/機器學習等 AI 方法及傳統迴歸模型進行能耗預測模型建立並進行比較說明，經評估結果選用機器學習(XGBoost)作為預測模型，並以路線特特性分別建模，時段、天氣、起始 SOC 等作為模型測試變數，相關內容請參閱期末報告 4.3.2 節。	同意辦理
	4. 請團隊評估與確認能耗數據如何結合電巴平台的即時 SOC 資訊，即時提供每班次預估量，使合作業者場站人員能運用 SOC 資訊進行排班與調度。	初步於 4.4 節彙整說明 SOC 預估資訊之應用情境。	同意辦理
	5. 在電池健康度面向，請評估平台上是否有合適的分析路線標的，並探討除了續航力(剩餘里程)等指標外，是否尚有其他相關電池衰退的關鍵指標(如電壓或電流等相關資訊)?	有關電池健康或電池衰退等關鍵指標，經與電池相關專家交流請益，交流內容已整理於 3.2 節，因目前電巴平台蒐集資料為整體性之電壓、電流及電池溫度資料，較無法作為電池健康或電池衰退等分析判斷依據，建議應結合車輛充電相關電壓、電流之細部變化曲線進行觀測，此部分建議後續以智慧充電計畫數據進行分析。	同意辦理
	6. 請再研議能耗預測適合的模型(如隨機森林、類神經)與合適的輸入變數，例如是否依據不同變數群(環境變	遵照辦理，期末階段已持續針對深度學習/機器學習等 AI 方法及傳統迴歸模型進行能耗預測模型建立並進行比較說	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	數、路線特性變數、車輛特性變數)建立不同模型，評估各模型預測績效的好壞也請不受限於 MAPE 值高低，請增列其他指標。	明，經評估結果選用機器學習(XGBoost)作為預測模型，並以路線特特性分別建模，時段、天氣、起始 SOC 等作為模型測試變數，相關內容請參閱期末報告書 4.3.2 節。	
	7. 請以實際情境思考上開能耗推估與未來業者應用議題，如電動公車進站時剩餘 40%SOC，站務人員或駕駛如何判斷是否適合再跑下 1、2 個班次，以維持安全電量？是否透過 AI 或迴歸模型預測後續每班次的電量？或是建立駕駛/車型/時段/天氣/SOC 分類下的每班次電量指標與資料庫？或是單純計算的各時段班次平均值？請針對各路線的分時段每班次 SOC 使用量，進行敘述性統計分析，以評估上開三種方式之推估正確性，並於期末報告敘明以上三種方式，何者較具實務應用性，以及未來雲端化數據應用的流程與效益。	期末報告中補充分時段班次 SOC 使用量與起始 SOC 之關聯性分析，相關結果整理於報告書第 3-47 至 3-61 頁。	同意辦理
主席結論	1. 數據分析前，目標性要明確訂定，並針對目標思考需要蒐集的資料及資料的來源，確立本計畫驅動模型所需參數，並於期末報告中以邏輯化及系統化之方式詳細說明。	感謝主席建議，期末報告第四章陳述內容以整體構想出發，再針對執行限制性說明本年度主要分析基礎。	敬悉
	2. 本計畫建立之模型，對於客運業者、政府單位所需應用之角度及結果解讀皆不同，若未來資料上傳於雲端，請	除雲端平台外，期末階段亦納入地端與雲端數據分析之應用構想，建議業者可視內部是否已有相關管理平台及數位	

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	評估各業者資料應用上是否可以互通與資安議題，建議於期末報告前補充說明目標使用者為何，計畫目標之大方向亦須先確立，使模型未來能夠實務應用。	化資訊程度綜合考量，評估未來導入本計畫相關功能方式。另有關本計畫成果之應用面向及使用對象等內容補充於期末報告 4.4 節中。	
	3. 本計畫於未來成果將會有資料庫及模式庫，根據使用者需求及目的從資料庫中篩選蒐集所需資料，並根據取得之資料套用於模型執行診斷、分析、預測之目的；未來若有新議題，可藉由資料庫及模式庫之擴充，持續更新長期營運之架構。	敬悉。	
	4. 請補充說明模型其代表之價值，將作為解釋現況之工具亦或是提供業者未來規劃或營運上運用，以確認模型對使用者的實用性及擴充性。	遵照辦理，有關模型代表之價值與應用性等內容，已補充於期末報告 4.1 節中。	
	5. 本次期中審查會議，經審閱本案期中報告內容及進度，目前尚符合合約規定，因此本次期中審查通過。後續請依本所報告出版品格式撰寫期末報告。	敬悉。	

電動大客車數據分析與應用計畫(1/2)-數據研析與關鍵指標建立 期末報告審查意見回覆辦理情形

一、開會時間：112 年 12 月 13 日下午 02 時 00 分

二、開會地點：運研所 6 樓會議室

三、主席：王穆衡副所長

記錄：陳翔捷

四、出席單位及人員：略

五、主席致詞：(略)。

六、簡報：(略)。

七、出席單位意見：

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
李克聰委員 (含書面意見)	1. 請檢視期中審查意見回復處理情形，補充修正內容的對應章節或頁碼。	已重新檢視審查意見的修正內容及所對應的章節或頁碼。	同意辦理
	2. 報告書第 3.2 節，有關各客運業者與專家學者對於本計畫的回饋意見，建議補充研究團隊之後續作為，如納入計畫考量與未考量的回應。	已補充說明客運業者與專家學者回饋意見的後續建議作法，詳請參閱表 3.2-1 與表 3.2-2。	同意辦理
	3. 建議結論與建議補充說明本年期計畫執行時所遭遇的困難點與解決方法，並從中提出後續執行第二年期計畫時方向的建議。	結論與建議已說明本年期計畫執行時所遭遇的課題與建議作法，並將再與主辦機關討論第 2 年計畫的目標與工作項目。	同意辦理
	4. 簡報第 20 頁，請補充說明研究成果如何與客運業者所關心議題連結。	本計畫運用實際營運數據建構用電效率(續航力、SOC 使用量)之預測模型，並將研究成果與客運業者合作進行營運管理分析。	同意辦理
	5. 簡報第 22 頁，關鍵指標探勘分析所使用的 3 條路線資料，就資料完整性是否足夠？請	簡報中提及 3 家客運業者、R1~R3 路線資料探勘分析，主要做為與業者訪談交流時之討論基礎資料，並以業者建議	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	補充說明。	路線為分析標的，細部分析至每日、每小時及每車之關鍵指標，並以圖表方式與業者進行討論，以掌握各業者於不同路線之關鍵議題與可能原因，並作為後續數據驅動模型建模之參考。	
	6. 簡報第 26 頁，請強化說明未來計畫完成後，對於電動大客車效率、安全、監理層面的影響程度、建議方向與參考價值。	依據本計畫與客運業者實際需求訪談與討論，及對國內電動大客車政策推動之掌握，對應業者營運管理與政府推動，綜整各界關心議題包含如何提升業者在導入電動大客車後之營運效率，提升對業者在日常管理及在車輛充電限制條件(台電電量及時間電價等)下之排班調度等營運效率、提升電池效能與減少用電量等能源使用效率面向效益；而其他議題因屬電動大客車製造商或路線主管機關管理議題，不納入本計畫中進行著墨。詳細說明可參閱報告書 P4-1。	同意辦理
	7. 簡報第 27 頁，請補充說明模型初探所採用的方法、資料量、分析成果可靠性是否足夠，以及執行上的限制與做法。	模型採用方法主要參考國外相關研究案例，包含以回歸分析、機器學習、深度學習及移動平均等方法進行測試，對應各類模型亦採用不同分析路線及資料量(詳參期末報告修正定稿 4.3.2 節)。考量本計畫訪談業者以北部為主，初探對象以雙北地區公車路線為主，同時必須通過電動平台傳輸檢核作業，並考量分析資料之穩定性與代表性，資料傳輸時間至少 3 個月、路線配置車輛至少 20 輛。	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	8. 簡報第 30 頁，有關公車專用道、市區型路線、市郊通勤路線模型的分類建置構想，本期後續主要針對市郊通勤路線做比較細緻的分析，請補充說明後續在執行上是否會針對另外兩種類型也進行初探。	本年期因屬於初探階段，考量與客運業者討論及應用需求，選定以市郊通勤路線進行各類模型方法測試，明年度計畫則將視計畫建模主題方向與合作業者等通盤需求，再行評估模型初探主題與類型。	同意辦理
王晉元委員	1. 請補充說明標竿案例的選擇標準，另中國大陸的文獻蒐集比重較高，請補充說明原因。	中國大陸的電動大客車使用率相對較高，相關研究亦較多，故本計畫的中國大陸文獻蒐集比重較高。	同意辦理
	2. 請整理本計畫訂定的關鍵指標與計算方式，以及各指標採平台既有指標或本計畫增修。	本計畫訂定的關鍵指標與計算方式是參考運研所相關計畫及客運業者訪談交流結果。詳細說明可參閱報告書 3.3.1 節。	同意辦理
	3. 請補充說明本計畫所建構的模式能否解決客運業者的痛點與符合業者的需求。	模式建構主要依據與客運業者交流後之建議，詳請參閱表 3.2-1 與表 3.2-2。	同意辦理
	4. 請說明如何界定本計畫所建構的 5 個數據驅動模式。	本計畫界定數據驅動模型方式涵蓋不同方法之測試，包含回歸分析、機器學習、深度學習及移動平均等，已滿足本計畫 5 個驅動模型之合約要求。	同意辦理
	5. 有關本計畫說明建議後續主要採用 XGBoost 方法分析，建議勿過早定案，保留未來測試與開發彈性。	感謝委員提醒，已於期末報告修正定稿調整相關文字用詞。	同意辦理
	6. 針對模式分析結果中提到預測路線，是否	本年期計畫模型以建構能耗(用電效率)模型為主，並透過	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	代表除預測班次用電效率外，亦會預測路線？請釐清。	測試建議應依據路線營運特性(公車專用道、市區型路線、市郊通勤路線)區分不同模型，業者於實際應用時，需先掌握路線所屬特性後選擇合適之應用模型。	
	7. 請補充說明本年期客運業者就能耗預測議題所提出的期待與需求達成情形，以說明下一年期預計執行的方向，使結論與建議有承先啟後的作用。	客運業者在能耗方面關心議題包含能耗影響因素、用電效率與充電排班調度，數據驅動模型可結合業者管理介面或智慧充電系統，達到優化排班調度管理。	同意辦理
車輛安全 審驗中心 周維果委員	1. 請補充說明本計畫使用的用電效率與充電效率定義。	用電效率(km/kWh)表示每度電的行駛里程，即 $\frac{\text{行駛里程(km)}}{\text{電池容量(kWh)} \times \Delta \text{SOC}(\%)}$ 充電效率(kWh/min)表示每分鐘的充電量，即 $\frac{\text{充電量(kWh)}}{\text{開始充電時間}-\text{結束充電時間}(\text{min})}$ 詳請參閱表 3.3-1。	同意辦理
	2. 請研究團隊說明不同車廠、不同車型對於車輛 SOC 的定義？各車廠在車輛 SOC 的定義可能有差異，且 SOC 會受到使用年期的影響，同樣 SOC 數值反映出的實際用電度數可能不一致。請研究團隊確認 SOC 相關議題是否會影響分析結果。	本計畫是依客運業者選購之車型、路線行駛道路特性、路線營運特性等，評估路線之用電效率及 SOC 使用量，且數據驅動模型考量變數包含電池年齡(月)，且同一車型的 SOC 定義與計算方式相同，故不影響分析結果。	同意辦理
	3. 本計畫目前與雙北地區的首都客運集團與中興大業巴士集團合	本計畫是藉由個案方式進行訪談交流、探勘分析與示範測試，後續將視計畫推廣需求再	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	作，請說明後續是否會考量不同地區與不同車型的案例分析？	與機關討論擴及其他不同地區與車型。	
	4. 請團隊說明是否可掌握營運過程中業者對於車輛軟體更新或電池更換的資訊？或是同一車型在不同階段採用的零組件是否一致？上開議題可能會影響資料分析的結果。	感謝委員提醒，車輛零組件相關更新確實會影響能耗使用量，惟本計畫現階段較難以直接透過電巴平台取得相關細部資料，此部分需與業者進行合作協調，由業者端取得相關資訊作為對照基礎。	同意辦理
	5. 請說明本計畫是否有蒐集充電樁用電量的資料或是僅針對車輛資料做蒐集？	因目前電巴平臺未蒐集充電樁用電量資料，故本期計畫能耗模型是使用車輛車載機回傳之耗電量進行計算。	同意辦理
交通部公路局 郭重佑委員	1. 有關本人之期中審查意見回覆處理情形，經檢視大致已進行回應，建議期末階段持續檢視與確認。	遵照辦理。	同意辦理
	2. 因應 112 年 9 月交通部組織改造，有關報告書內提及各政府單位名稱，再請確認與更新。	已重新檢視並修正誤植文字。	同意辦理
	3. 報告書 3.3.2 節，請針對數據分析中平均值補充說明，以進一步了解各路線用電情形。	感謝委員建議，已於 3.3.2 節中補充平均值相關數據。	同意辦理
	4. 報告書 4.2 節，有關係統設備與環境的地端與雲端方案，請說明是否有優先採用建議。	有關地端或雲端服務方案，需視本計畫成果應用方向、業者是否已有發展數位化平台而定，建議於明年度進一步確認整體研究成果及應用後，再行評估地端或雲端方案。	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	5. 報告書 6.2 節，有關第 4 點提及本計畫尚未取得電動公車 ADAS 相關資料，建議後續若計畫有資料取得需求，可與公路局與地方政府協調。	感謝委員協助，後續計畫如有需求再洽詢貴局與地方政府協調取得。	同意辦理
	6. 有關研究成果，請補充說明後續如何結合電巴平台資料進行精進。	研究成果主要為與客運業者進行合作應用。	同意辦理
臺北市公共運輸處 劉國著委員 (含書面意見)	1. 本計畫數據驅動模型著重「SOC 使用量與充電效率」以及「營運成本節省」等兩面向之探討。根據分析結果，電動公車用電效率似與發車起始電量有明顯關係，研究結果建議回饋公車業者，論述電池應充電至何種電量狀態再發車為較佳選擇；由於好的用電效率意謂減少充電量及電費成本，建議未來其他計畫在研究最適充電方案時，亦可納入本計畫用電效率研究結果作為參考，以降低整體用電量或用電成本，以上觀點建議可於最末章再分析闡述。	敬悉，本計畫於結論與建議中建議客運業者應注意車輛出車時的起始 SOC 維持在高電量或安全區間。	同意辦理
	2. 本計畫數據驅動模型亦著重於「探究駕駛行為對於用電效率之	感謝委員建議，因目前電巴平臺未蒐集電動公車 ADAS 資料，故不在本計畫研究範圍。	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	影響」，惟研究團隊於簡報時說明，囿於現行公車回傳資料頻率為 5 秒 1 筆，難以反映駕駛即時行為；然基於駕駛員行為與車輛營運效率、車輛能耗本即具關連性，本部分建議可洽公車業者介接 ADAS 資料，ADAS 可反映駕駛不良駕駛行為作動並保留作動紀錄予公車業者，建議長期而言應思考系統擴充於蒐集 ADAS 警示資料，以結合駕駛人行為態樣或身分識別，就駕駛行為進行分析及資料探勘，了解對於用電效率之影響，亦可結合營運行駛路線、車輛特性進行強化分析。		
	3. 報告書第 4-26 頁所載分析原始班次數、清理後班次數，與表 4.3-4、4.3-5 分析總數不合，因報告書內未說明極值資料之篩選條件，請予釐清並檢視資料是否有缺漏，另併建議於報告書內可補充去極值之篩選方式。	感謝委員提醒，此為資料誤植，已修正報告書第 4-26 頁所載分析原始班次數、清理後班次數，及與表 4.3-4、4.3-5 分析總數。另已於期末報告修正定稿中補充去極值之篩選方式內容。	同意辦理
	4. 部分變數被認定為極值的樣本較高(如氣	有關氣溫異常比例達 17%，主要為氣象觀測站無法取得資	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	溫達 17%以上)，去除後是否影響分析結果？請補充說明。	料所致，無法納入相關分析，故需先進行去極值之篩選，以提升模型之準確度。	
	5. 路線特性建模階段針對各路線公車專用道長度占比達 40%以上或以下作不同分類，請問該部分係透過測試以 40%作分界可以獲得較顯著的結果，抑或有先分析多數有行駛公車專用道路線，其公車專用道路段長度多占總路段之 40%以上。	此部分為透過蒐集雙北 10 條公車路線，進一步歸納路線特性而得，初步以公車專用道長度占比達 40%以上作為分界，如未來擴充分析路線數，則可再檢討 40%門檻值之適用性。	同意辦理
	6. 本計畫所回顧之國外電動大車營運數據文獻，部分案例用為支援維護保養或實施預防性作為，在本報告書 P4-5 亦有將保修資料納入於基礎資料庫，惟似未見推動或應用之方式或建議，請補充原因。	有關保修資料應用因受限於業者回傳至平台資料之細緻與詳實程度，現階段難以直接進行應用分析，且該資料為製造商機敏資料，須取得業者或車輛製造商合作意願後方能進行分析。	同意辦理
	7. 依文獻回顧結果，雲端演算具有高彈性優勢，故本計畫亦建議未來可考慮於 Azure 服務平台建置；建議補充說明未來所開發系統普及化後的建置者、維護者的角色對象(如中央政府、地方政府或民間業者)與成本？倘為公車業者自行建置維護，請說	有關本計畫平台雲端服務，需視本計畫成果應用方向、業者是否已有發展數位化平台而定，建議於明年度進一步確認整體研究成果及應用後，再進一步釐清未來普及化後之系統建置者與維護者、及成本相關內容。	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	明是否會發生建置所 付出之成本與成效難 以平衡之情形。		
	8. 現行多數電動公車以 自有調度場站進行充 電，蒐集電動大客車 數據主要係依充電樁 將車輛及充電資料回 傳至交通部公路局平 台，惟共享充電理念 應為後續推動趨勢， 且經了解交通部公路 局平台現已有「租(借) 用場站」欄位，未來若 將車輛共享充電場域 之充電樣態納入數據 分析技術似屬可行， 建議考量納入未來分 析之可行性。	感謝委員建議，智慧充電目前 已納入補助辦法，運研所智慧 充電計畫亦會開始探討共享 充電場域。	同意辦理
	9. 公車業者提及電動大 客車營運數據監控平 台資料缺漏問題，建 議可洽地方政府共同 釐清資料缺漏原因， 另長期而言可思考整 合地方既有公車動態 管理資訊系統及車 機，避免重複蒐集資 料造成資源浪費。另 針對本計畫第 2 期， 建議可納入同一路線 複合場站(如以單一 路線雙邊調度之營運 情境)，或混合調度情 境作為延伸，請參考。	感謝委員建議，依據本計畫掌 握，交通部公路局後續將思考 整合地方既有公車動態管理 資訊系統及車機，以提升整體 應用效率。另有關建議延伸納 入同一路線複合場站或混合 調度情境，後續將會於運研所 智慧充電計畫評估辦理。	同意辦理
臺北市 公共運輸處	1. 報告書第三章，現行 電動大客車數據主要	目前智慧充電已納入補助辦 法。	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
(含書面意見)	係由充電樁回傳車輛及充電資料至交通部公路局平台，應設定技術規範避免車輛製造商以技術限制公車業者使用特定充電樁廠牌，避免影響後續共享之推動。		
	2. 報告書 3.2.1 節，本研究定義「充電時間」之計算係指充電槍插入車輛之時間，惟車輛連接充電槍時電池未必全程處於受電狀態，此將影響車輛充電效率之計算，建議將「充電時間」輸入資料調整就車輛實際受電狀態下進行計算，或以扣除未充電時間後，車輛最常見的充電效率作為計算基準。	此議題須由客運業者與充電管理系統商溝通釐清回傳資訊。	同意辦理
	3. 前次回復提及本研究難與電動公車 18 項成本相互回饋，惟仍建議參考過去研究，表達對於未來歸納電動公車 18 項成本能有何助益，透過比對或對應，進而與車輛營運成本進行回饋或連結。	感謝建議，因 18 項成本非目前電巴平臺蒐集資料，故不在本計畫研究範圍。	同意辦理
本所運輸科技 與資訊組 (含書面意見)	1. 簡報內容呈現太過繁雜，定稿報告時，請研究團隊針對計畫執行主軸與成果進行重點	本計畫已於報告書中補充說明計畫執行主軸與成果重點精簡敘述。	同意辦理

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	精簡敘述。		
	2. 本計畫的價值在於建立關鍵指標後，藉由平臺蒐集車輛數據與績效表現進行長期追蹤，並觀察變化趨勢。	敬悉，明年度計畫將持續檢討合適之關鍵指標。	同意辦理
	3. 請補充與列舉美國客運業者使用 BP Pulse 軟體的現況與詳細資料來源。	目前國外已知有使用 BP Pulse 軟體的客運業者有 Anaheim Transportation Network 與 Tri Delta Transit 二家，藉以幫助管理成本與維持車隊正常營運，亦有其他計程車車隊、大貨車車隊、物流車隊使用此系統。相關內容以補充於報告書第 2-66 頁。	同意辦理
	4. 在標竿案例的綜整上，請補充交通部運輸科技與資訊司於 TDX 推動雲端化應用的案例，並說明本案可參採與借鏡的發展方向。	已補充於報告第二章 2.3 節中。	同意辦理
	5. 請將 12/5 成果發表會的會議紀錄，納為報告定稿之附件。	成果發表會議重點紀要請參閱附錄五。	同意辦理
主席結論	1. 請研究團隊於第二年期報告中，進一步分析與補充說明平臺蒐集數據現況，以釐清現況數據於實務應用時的可運用程度、問題說明與改善與擴充建議。	感謝主席建議，後續將再與主辦機關討論第 2 年計畫的目標與工作項目。	敬悉
	2. 請於第二年期計畫中再強化本計畫執行之主要動機與目標之論述，並針對計畫訂定	感謝主席建議，後續將再與主辦機關討論第 2 年計畫的目標與工作項目。	

與會代表 (依發言順序)	審查意見	回覆辦理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	之整體研究分析架構目標，進一步說明歸納本計畫執行的成果面向，並思考平臺蒐集資料(資料庫)與數據模型(模式庫)可達成的程度，以及說明計畫執行的限制性與建議。		
	3. 為確保第二年期計畫成果落地應用，請思考確立計畫成果優先應用對象為客運業者、地方政府或其他主管機關，以利探討應用設計架構與型式(採地端或雲端)，建立包括模式、工具...等標準化做法以及執行機制，以及完整呈現計畫執行成果。	感謝主席建議，後續將再與主辦機關討論第2年計畫的目標與工作項目。	
	4. 本次期末審查會議，經審閱本案期末報告內容及進度，符合合約規定，爰本次期末審查通過。	敬悉。	
	5. 請研究團隊依據與會委員所提意見進行檢討修正，並製表整理回復辦理情形，納入定稿報告附錄。另請於本(112)年 12 月 20 日(星期三)前提交修正定稿報告，並請依契約規定辦理相關作業及請款事宜。	敬悉。	

ISBN 978-986-531-595-5
00380



9 789865 315955
GPN : 1011300568

定價 380 元