



國家運輸安全調查委員會

重大運輸事故 事實資料報告

中華民國 109 年 5 月 27 日

高雄捷運股份有限公司

第 T05 編組

前鎮之星站列車火災事故

報告編號：TTSB-RFR-21-02-001

報告日期：民國 110 年 2 月

目錄

目錄	i
表目錄	v
圖目錄	vii
英文縮寫對照簡表	ix
第 1 章 事實資料	1
1.1 運轉經過	1
1.2 人員傷害	3
1.3 列車損害	3
1.4 其他損害情況	6
1.5 人員資料	6
1.5.1 司機員資歷及訓練	6
1.5.2 控制長資歷及訓練	6
1.6 列車資料	7
1.6.1 列車編組及性能資料	7
1.6.2 事故列車維修紀錄	8
1.6.3 列車控制與監視系統	12
1.6.4 車上儲能系統 (ACR)	15
1.6.5 車頂材料及結構	20
1.7 天氣資料	21
1.8 通信	22
1.8.1 通訊系統	22
1.8.2 通聯紀錄	23
1.9 紀錄器資訊	23
1.9.1 時間校正	23

1.9.2	影像紀錄	24
1.9.3	資訊紀錄	26
1.9.4	行控中心 SCADA 紀錄.....	28
1.10	測試與研究.....	28
1.10.1	電感電容濾波器工作環境溫溼度測試.....	28
1.10.2	火災委託鑑定	32
1.11	組織與管理.....	35
1.11.1	高雄捷運股份有限公司維修管理機制	35
1.11.2	高雄市政府捷運工程局營運管考機制	36
1.11.3	高雄市政府交通局營運監理機制	37
1.12	災防程序及設備.....	38
1.12.1	火災處理程序	38
1.12.2	列車硬體災防設備	42
1.13	訪談摘要.....	44
1.13.1	目擊者 A 訪談紀錄摘要	44
1.13.2	目擊者 B 訪談紀錄摘要.....	45
1.13.3	高捷公司司機員訪談紀錄摘要	45
1.13.4	高捷公司控制長訪談紀錄摘要	46
1.13.5	高捷公司車輛維修人員訪談紀錄摘要	47
1.13.6	CAF 公司職員 A 訪談紀錄摘要.....	50
1.13.7	CAF 公司職員 B 訪談紀錄摘要.....	51
1.13.8	捷運工程局職員 A 訪談紀錄摘要	53
1.13.9	捷運工程局職員 B 訪談紀錄摘要.....	54
1.13.10	交通局職員訪談紀錄摘要	55
1.14	其他.....	57
1.14.1	107 年電感電容濾波器燒損事故處置說明	57
1.14.2	事件序	59
附錄 1	本案通聯抄件.....	61

附錄 2 事故當日行控中心 SCADA 紀錄	66
附錄 3 火災委託鑑定報告（摘錄）	67
附錄 4 民國 107 年電感電容濾波器燒損 CM 工單	69
附錄 5 電感電容濾波器舊、新品廠測報告	70
附錄 6 民國 107 年 8 月份工作月報（摘錄）	72

本頁空白

表目錄

表 1.6-1 CAF Urbos 3 型列車基本諸元資料.....	7
表 1.6-2 ACR 設備各週期檢修工項	9
表 1.6-3 民國 109 年 5 月份 T05 列車故障檢修履歷.....	10
表 1.6-4 民國 109 年 T05 列車 ACR 設備故障檢修履歷.....	11
表 1.6-5 T05 列車事故當日 HMI 紀錄	13
表 1.6-6 T05 列車 HMI ACR DCCU Error 歷史紀錄.....	14
表 1.6-7 電感電容濾波器絕緣檢測值	19
表 1.9-1 紀錄器時間校正結果	24
表 1.10-1 環境溫溼度測試排程	30
表 1.10-2 金相分析確認銅組織類型	34
表 1.12-1 輕軌列車有燒焦味之處理原則	38
表 1.12-2 輕軌列車有冒煙或爆裂巨響之處理原則	39
表 1.12-3 輕軌列車有煙霧感測器作動之處理原則	40
表 1.14-1 事故時序表.....	59

本頁空白

圖目錄

圖 1.1-1 事故當日 T05 列車車廂內 CCTV 畫面	1
圖 1.1-2 本案 T05 列車行駛路線	2
圖 1.3-1 CAF Urbos 3 型列車 ACR 設備箱電感電容濾波器位置	3
圖 1.3-2 事故 055 車電感電容濾波器受損狀況	4
圖 1.3-3 事故 055 車 ACR 設備箱受損狀況	4
圖 1.3-4 事故 055 車車頂內外部受損狀況	5
圖 1.3-5 事故 055 車車廂地板受損狀況	5
圖 1.6-1 事故 T05 列車編組	7
圖 1.6-2 CAF Urbos 3 型列車 TCMS 架構圖	12
圖 1.6-3 CAF Urbos 3 型列車 HMI 位置及顯示畫面	13
圖 1.6-4 CAF Urbos 3 型列車高電壓電路	15
圖 1.6-5 ACR 設備箱配置圖	16
圖 1.6-6 ACR 電路方塊圖	17
圖 1.6-7 CAF Urbos 3 型列車 ACR 電感電容濾波器	18
圖 1.6-8 電感電容濾波器電路方塊圖	18
圖 1.6-9 CAF Urbos 3 型列車車頂橫切視圖	20
圖 1.6-10 CAF Urbos 3 型列車車頂排水設備橫切視圖 (1、5 車)	21
圖 1.7-1 氣象局高雄測站降水量資訊	22

圖 1.8-1 高雄輕軌通訊系統架構圖	23
圖 1.9-1 CAF Urbos 3 型列車事件紀錄器架構圖.....	27
圖 1.9-2 事故當日 T05 列車 ER 紀錄與 HMI 紀錄套繪.....	27
圖 1.10-1 DC-DC 模組側視圖及散熱通道示意.....	29
圖 1.10-2 溫溼度感測器安裝位置	30
圖 1.10-3 使用不同等級濾網結果目視比較	31
圖 1.10-4 環境溫溼度測試數據	32
圖 1.10-5 DC-DC 模組內部碳渣堆積情形及銅質碎片.....	33
圖 1.10-6 電感電容濾波器銅質線圈受損情形	33
圖 1.10-7 本次蒐集試片材料	33
圖 1.10-8 金相分析結果.....	34
圖 1.12-1 CAF Urbos 3 型列車車上煙霧偵測器示意.....	42
圖 1.12-2 CAF Urbos 3 型列車駕駛室控制面板火災偵測按鈕.....	42
圖 1.12-3 CAF Urbos 3 型列車車上滅火器示意.....	43
圖 1.12-4 事故當日 T05 列車滅火器檢視.....	43
圖 1.12-5 CAF Urbos 3 型列車車上逃生設備示意.....	44
圖 1.14-1 民國 107 年電感電容濾波器燒損相片-1.....	57
圖 1.14-2 民國 107 年電感電容濾波器燒損相片-2.....	57
圖 1.14-3 電感電容濾波器新舊品比較示意圖	58

英文縮寫對照簡表

ACR	acumulador de carga rápida	車上儲能系統
BAT	battery string	電池
CAF	Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, S.A	西班牙鐵路建設和協助 股份有限公司
CCU	central control unit	中央控制器
CM	corrective maintenance	故障檢修
CTS	clear to send	序列通訊傳輸訊號
ER	event recoder	事件紀錄器
GPS	global positioning system	全球衛星定位系統
HMI	human machine interface	人機介面
IGBT	insulated gate bipolar transistor	絕緣雙閘式二極電晶體
IO	input and output	輸入輸出
KPI	key performance indicators	關鍵績效指標
MMIS	maintenance management information system	維修資訊管理系統
MVB	multifunction vehicle bus	多功能車輛匯流排
PM	preventive maintenance	預防維修
SCADA	supervisory control and data acquisition	資料蒐集與監控系統
TCMS	train control and monitor system	列車控制與監視系統
UC	ultra-capacitor strings	超級電容
VEGA	vehicle electronics for generic applications	牽引控制電子元件平台

本頁空白

第 1 章事實資料

1.1 運轉經過

民國 109 年 5 月 27 日，上午 0741:06 時，一列高雄捷運股份有限公司（以下簡稱高捷公司）所屬 CAF Urbos 3 型輕軌編號 T05 列車，在執行收車程序向籬仔內（C01）站行駛時，行進方向第一節車廂（編號 055）內有煙霧自天花板散出，同時伴隨火花、金屬熔塊掉落至車廂地板（如圖 1.1-1）。當時車上計有 3 名乘員，包括 1 名司機員及 2 名高捷公司通勤員工，經司機員回報狀況後，行控中心下達停車之指示，T05 列車停於凱旋瑞田（C02）站內，停車後煙霧、火花及金屬熔塊掉落情形未再出現，本次事故未造成人員傷亡。



圖 1.1-1 事故當日 T05 列車車廂內 CCTV 畫面

事故當日 0710:02 時，T05 列車自哈瑪星（C14）站出發，預定前往籬仔內（C01）站（如圖 1.1-2），0735:16 時 T05 列車停靠前鎮之星（C03）站執行載客作業，司機員由列車控制與監視系統（train control and monitor system, TCMS）之人機介面（human machine interface, HMI）中察覺，車上儲能系統（acumulador de carga rápida, ACR）僅能充電至 49%，後續有旅客通報車廂內有異常燒焦味，0736:52 時司機員將上述情況通報行控中心。

0737:08 時行控中心授權 T05 列車司機員離開駕駛室至車廂內確認燒焦味來源，0737:53 時對向 T08 列車司機員發現停靠於前鎮之星

(C03) 站之 T05 列車車頂有冒煙情形，行控中心隨即指示 T05 列車司機員執行清車作業，當時列車上計有 4 名旅客及 2 名高捷公司通勤員工，0737:59 時 T05 列車司機員回報已執行清車完畢。



圖 1.1-2 本案 T05 列車行駛路線

0739:15 時 T05 列車執行收車，往籬仔內 (C01) 站下行方向行駛，當時車上計有 1 名司機員及 2 名高捷公司通勤員工隨乘，0741:06 時列車接近凱旋瑞田 (C02) 站，車廂內 CCTV 畫面顯示行進方向第一節 (編號 055) 車廂開始有煙霧自天花板散出，同時伴隨火花、金屬熔塊掉落至車廂地板。

經隨乘員工通報後，T05 列車司機員於 0741:17 時回報行控中心車內已著火，行控中心 0741:43 時指示 T05 列車停車，T05 列車於 0741:49 時停於凱旋瑞田 (C02) 站內，列車停車後煙霧與火花、金屬熔塊掉落情形未再出現，0742 時一名隨乘員工拿取駕駛室內滅火器朝地板、天花板處噴灑。

0750 時地方消防單位到場查看狀況，確認現場狀況後於 0805 時離開現場，0807 時救援工程車到達凱旋瑞田 (C02) 站現場準備執行拖救任務，0819 時 T05 列車由工程車拖救離開現場。

1.2 人員傷害

本次事故無人員傷亡。

1.3 列車損害

本次事故發生後，調查小組分別於民國 109 年 5 月 27 日、6 月 8 日及 6 月 17 日赴高捷公司前鎮機廠檢視事故列車狀況，經檢視後發現 T05 列車在編號第 055 車車頂之車上儲能系統設備箱，其內部的直流對直流 (DC-DC) 模組電感電容濾波器 (LCL filter) 有燒熔燒損之情形，該電感電容濾波器在 CAF Urbos 3 型列車上的詳細位置如圖 1.3-1 所示。

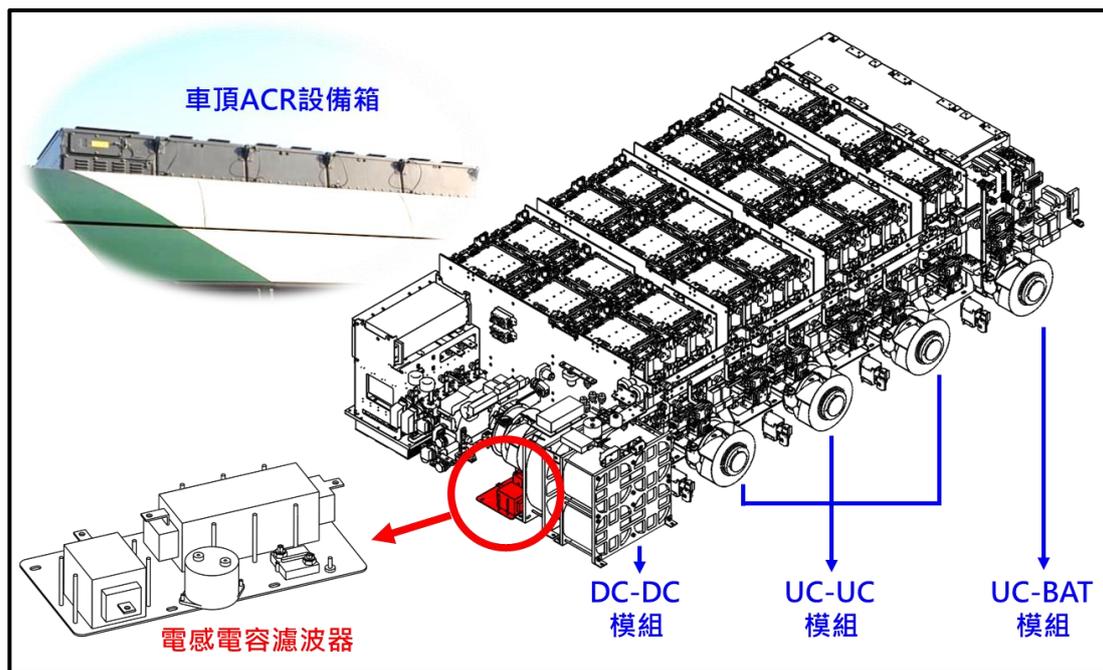


圖 1.3-1 CAF Urbos 3 型列車 ACR 設備箱電感電容濾波器位置

經檢視電感電容濾波器受損狀況，發現其電感線圈、放電電阻、石綿套管、設備接地線、電纜線、固定螺絲等設備，均有燻黑或燒損之跡象，且至於固定該電感電容濾波器之不鏽鋼板，有明顯的高溫熔穿現象（如圖 1.3-2）。

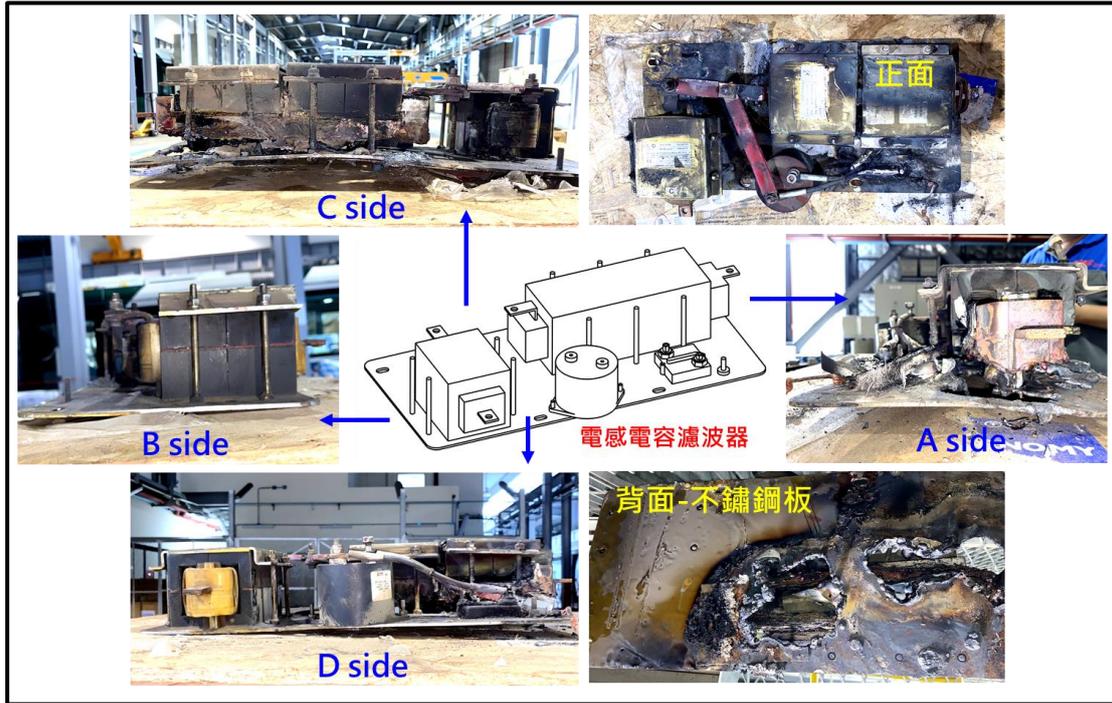


圖 1.3-2 事故 055 車電感電容濾波器受損狀況

而該熔穿現象由電感電容濾波器向下延續至 ACR 設備箱，造成 ACR 設備箱體底部有約 20cm² 大小之熔穿損害（如圖 1.3-3）。

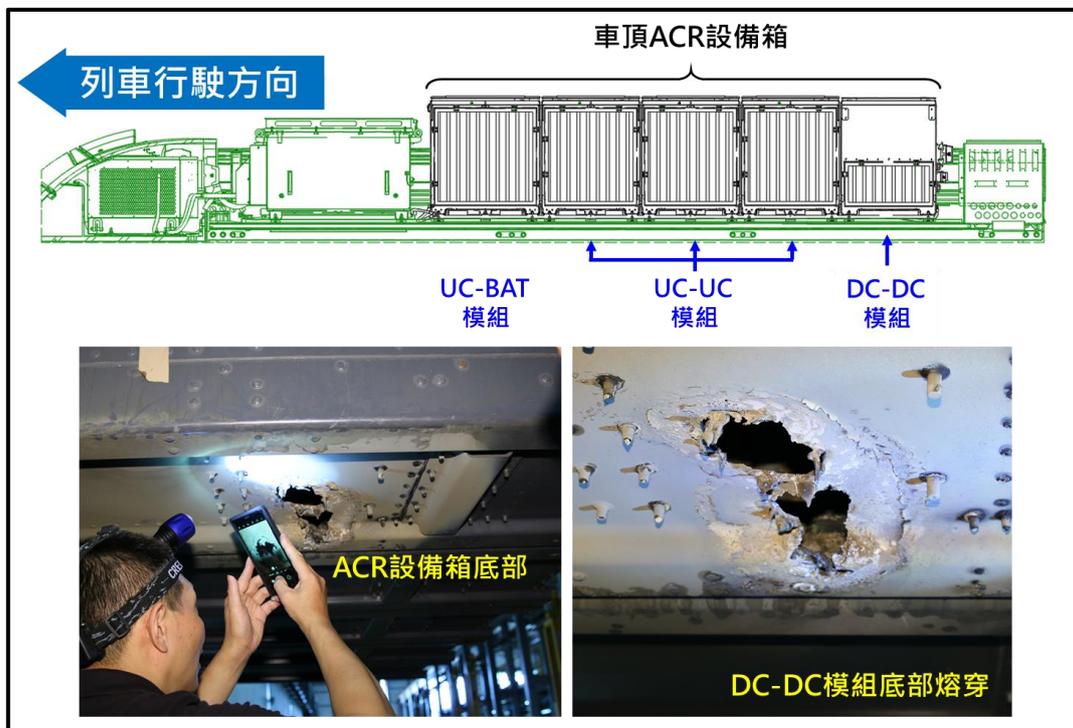


圖 1.3-3 事故 055 車 ACR 設備箱受損狀況

而 ACR 設備箱熔穿處相對應的 055 車車頂位置，亦有高溫熔穿損壞情形，且貫穿至車廂內部天花飾板，產生約 40cm² 大小破孔（如圖 1.3-4）。

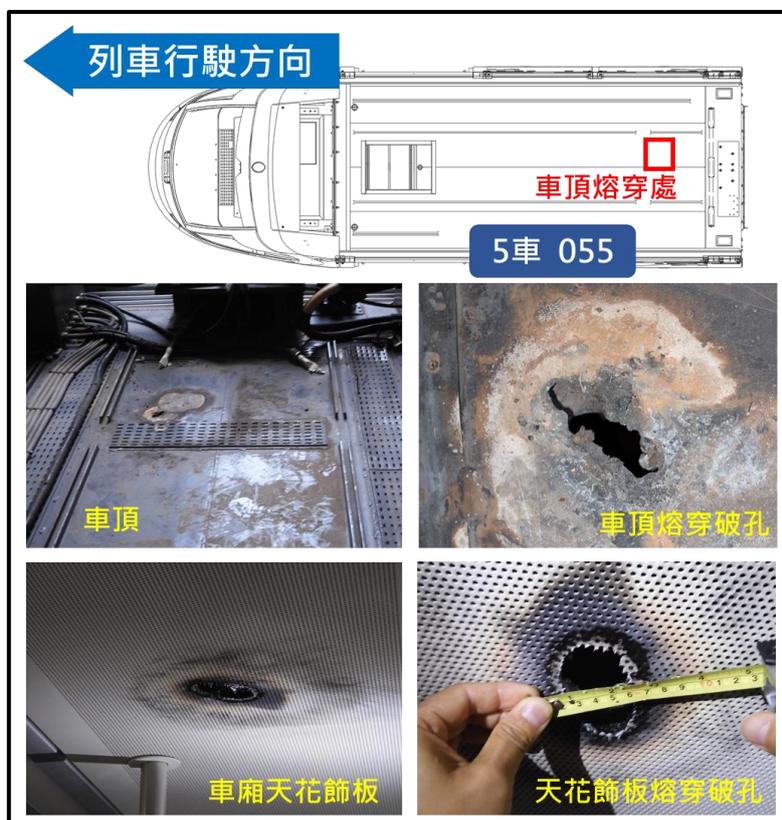


圖 1.3-4 事故 055 車車頂內外部受損狀況

天花飾板遭熔穿後，部分高溫熔蝕後的金屬焦結物及金屬熔塊掉落在車廂地板，造成車廂地板有燒蝕損害（如圖 1.3-5）。

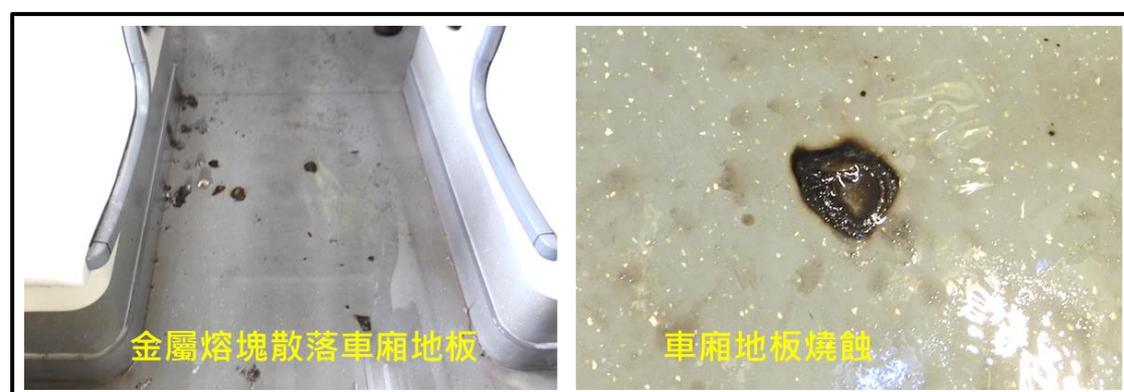


圖 1.3-5 事故 055 車車廂地板受損狀況

1.4 其他損害情況

本次事故無其他損害情況。

1.5 人員資料

1.5.1 司機員資歷及訓練

事故列車司機員於民國 106 年進入高捷公司，民國 107 年經司機員專業訓練合格，擔任輕軌列車司機員至今，歷年無相關行車違規紀錄。

該員於民國 108 年接受技能檢定，成績為 100 分，該年度體檢合格，安非他命及嗎啡抽測結果均為陰性。事故前最近一次的溫故訓練完成日期為民國 108 年 5 月 23 日，成績為 100 分。

該員事故當日勤務時間為 0500 時至 1230 時，於執勤前的酒精測驗結果為合格。

1.5.2 控制長資歷及訓練

事故當日輕軌行控中心控制長於民國 97 年進入高捷公司，擔任交通控制工程師職務，民國 104 年經輕軌控制長專業訓練合格，擔任控制長至今，歷年無相關作業違規紀錄。

該員民國 108 年度接受技能檢定，成績為 90 分，該年度體檢合格，該年度未列安非他命及嗎啡抽測。事故前最近一次的溫故訓練完成日為民國 109 年 5 月 11 日，成績為 100 分。

該員事故當日勤務時間為 0540 時至 1340 時，對於行控中心人員高捷公司無規定應執行酒精測驗。

1.6 列車資料

1.6.1 列車編組及性能資料

本次事故列車為電車組編組形式，為西班牙鐵路建設和協助股份有限公司（Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, S.A.，以下簡稱 CAF 公司）製造，該型列車依製造公司生產形式屬 CAF Urbos 3 型，列車每一編組由 5 節車廂組成，事故列車編號為 T05，車廂編號自運行方向駕駛端起，依序為 055+054+053+052+051(C2+S2+R+S1+C1¹)，編組如圖 1.6-1。

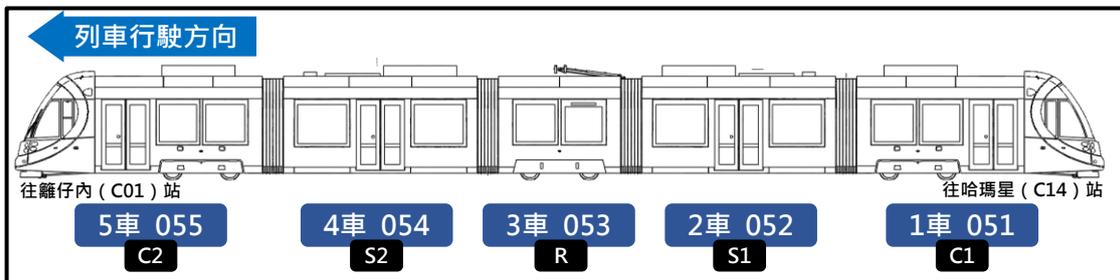


圖 1.6-1 事故 T05 列車編組

依據 CAF 原廠「Q.46.97.915 車輛系統最終設計技術文件 REV. 0」列車技術資料，本型列車行駛於軌距 1,435 公厘之軌道，設計最高車速 80 公里/時，旅客乘載數 250 人（含座位 64 人），列車基本諸元資料如表 1.6-1 所示。

表 1.6-1 CAF Urbos 3 型列車基本諸元資料

諸元	資料
重量	48,000 公斤
車體長度	34,166 公厘
車體最大寬度	2,650 公厘
車體高度（集電弓下降）	3,600 公厘

¹ C 為 Cabin 縮寫、S 為 Suspended 縮寫、R 為西班牙文 Remolque 縮寫（英譯 Trailer 拖車）。

地板面到軌道的高度	350 公厘
最大爬坡度	6/100
最小曲線半徑	25 公尺
無架空線路段最高速度	50 公里/時
架空線路段最高速度	70 公里/時
設計最高速度	80 公里/時
最大加速度	1.30 公尺/秒 ²
集電弓	單臂式設置於 3 車 (R 車)
供電方式	車站快速充電電源供應系統 或機廠架空線 750Vdc

1.6.2 事故列車維修紀錄

依據高捷公司「109 年度維護計畫」，針對輕軌列車維修型態可區分為預防維修 (preventive maintenance, PM) 及故障檢修 (corrective maintenance, CM) 等 2 類型，其中預防維修另依據「週期」及「行駛里程」可區分為 5 類型：

1. IS：每 15 日，允許誤差±20%。
2. P0：每 14,000 公里，允許誤差±20%。
3. P1：每 70,000 公里，允許誤差±10%。
4. P2：每 280,000 公里，允許誤差±10%。
5. P3：每 560,000 公里，允許誤差±5%。

檢視 T05 列車事故當日之「輕軌列車整備紀錄表」，里程數為 168,708 公里，檢修類型達 P1、未達 P2 等級，事故當日在紀錄表中有「051/055 HMI 故障碼 AL2035 監視系統故障」、「051/055 主要圖示列 ACR 藍 架：88% 無：92%²」等兩筆註記。

依高捷公司「SP-L11-L2001 輕軌電聯車 (CAF) 線上故障排除流程」文件，對於 AL2035 類型故障未限制收車標準；此外對於 ACR 圖

² 其表示在駕駛室人機介面 (HMI) 上 ACR 圖塊顯示藍色，電量在架空線狀態下為 88%，無架空線狀態下為 92%。

塊顯示藍色，但電量能充至 80%以上時，亦未達該文件限制的收車標準，因此事故當日 T05 列車經整備檢查結果為可出車狀態。

另調閱 T05 列車 PM 歷史紀錄，最近一次 IS 檢查為民國 109 年 5 月 8 日，距離前次 IS 檢查民國 109 年 4 月 21 日間隔 17 日，於紀錄表中無特殊異常註記；最近一次 P0 檢查為民國 109 年 2 月 19 日，列車行駛里程數為 156,337 公里，距離前次 P0 檢查里程數 140,915 公里間隔 15,422 公里，在紀錄表中有執行車削及車體外觀補強紀錄外，無特殊異常註記。

高捷公司對輕軌列車維修作業，訂有「輕軌車輛檢修實施作業規定」以規範檢修設備之項目，有關各設備各級檢修工項另訂有「輕軌列車預防檢修工作說明書」供維修單位參考，關於 ACR 設備在 IS、P0 及 P1 各週期的檢修內容，如表 1.6-2 所示。

表 1.6-2 ACR 設備各週期檢修工項

週期	工項	備註
IS	檢查濾棉是否髒汙	2 IS 執行
	更換進氣濾棉	4 IS 執行
P0	清潔進氣格柵	
P1	檢查箱體油漆表面無破裂、剝落或磨損	
	檢查箱體銘牌、外蓋、鉸鏈及鎖扣是否良好	
	檢查電纜及接頭是否脫落。	
	檢查接地是否良好	
	檢查箱內所有設備組件鎖固元件是否鬆動、損壞或腐蝕	
	檢查箱體底座鎖固螺絲是否鬆動	
	檢查箱體焊接處是否有裂開損壞	
	檢查外蓋密封膠條無損壞	
	檢查箱內是否有污垢或滲漏進水	
	檢查電纜及接線端子無磨損、損壞及鎖固螺絲無鬆動	
檢查所有高壓端子熱縮套管無脫落及破損		
檢查箱內所有接觸器的接點是否完好無過度損耗		

檢查箱內風扇是否鬆動	
檢查電感濾波器表面亮漆是否劣化及脫落	
檢查超級電容及電池銅排是否氧化或損壞	
檢查各模組蓋板鎖頭是否損壞或鬆動	
清潔 DC-DC 模組主接觸器和預充電接觸器接點	
清潔 UC-UC 和 UC-BAT 模組的分路和旁路接觸器接點	
清潔空氣出口格柵並檢查是否有異物阻塞	
更換 ACR 箱體密封膠條	6 P1 執行
更換 DC-DC、UC-UC 和 UC-BAT 風扇	6 P1 執行

經調閱民國 109 年 5 月份 T05 列車 CM 履歷，共計有 15 筆故障紀錄（如表 1.6-3），其中 ACR 系統故障計 2 次；至於同年度 T05 列車 ACR 設備 CM 紀錄共計有 14 筆（如表 1.6-4）。

表 1.6-3 民國 109 年 5 月份 T05 列車故障檢修履歷

日期	系統	子系統	故障事項
5/5	照明及外部號誌	黃色輪廓燈	055 A-side 側邊輪廓燈未亮
5/8	駕駛台與電氣箱	麥克風	051 缺麥克風罩
5/11	牽引系統	ACR	T05 列車主要圖示列 ACR 顯示為藍色，ACR 最高充至 98%
5/13	駕駛台與電氣箱	麥克風	055 缺麥克風罩
5/17	牽引系統	集電弓	053 集電弓中位感應器故障
5/13	車間通道及聯結設備	聯結器	051/055 車轉向時，車間通道有異音
5/18	通訊系統	CCTV	051/055 故障碼 AL2037 後監視器故障、AL2038 某內部攝影機故障
5/20	通訊系統	EDD	053 B-side 目的地顯示器黑屏(新)
5/20	駕駛台與電氣箱	雨刷	051 水廂低水位
5/22	車門	乘客門	054 A-side 車門開啟後無法自動關閉

5/24	牽引系統	牽引馬達	HMI 反覆出現故障碼「AL1055：某些煞車被隔離或故障」
5/25	煞車系統	蓄壓器	055 蓄壓器充氣壓力低於 70bar
5/26	轉向架	齒輪箱	051 B-side VE1 齒輪油乳化
5/26	轉向架	齒輪箱	055 A、B-side 齒輪油乳化
5/27	牽引系統	ACR	055 ACR 異常冒煙，限速 20

表 1.6-4 民國 109 年 T05 列車 ACR 設備故障檢修履歷

日期	系統	子系統	故障事項
1/10	牽引系統	ACR	051/055 HMI ACR 圖示藍色，架空線只能充至 50%
1/31			051/055 HMI ACR 圖示藍色，架空線 89%
2/13			051/055 HMI ACR 圖示藍色，架空線 92%
2/24			051/055 車 ACR 藍色，充至 90%-99%之間跳動
2/26			055 B-side ACR 設備箱缺一接地線
3/20			051/055 HMI ACR 圖示藍色，架空線 89%
4/1			T05 列車開機時 ACR 只能充至 58%，重開機 92%
4/1			T05 出現故障碼 1120 ACR 電壓 497V 突然無牽引
4/6			T05 ACR 兩端無法投入 ACR 電量為 0%
4/11			T05 車於 C14 後方折返軌牽引動力異常，至 C2 端時，推進皆無反應，無故障碼，懸垂線電壓僅 180V
4/20			4/17 C10 上行回報 ACR 電量原顯示 46%後瞬間跳至 90%
4/30			T05 車於 C8 上行車離站時 HMI 懸垂線電壓降至 500V、無法移動，手動升弓 1 次確認懸垂線電壓為 700V
5/11			T05 列車主要圖示列 ACR 顯示為藍色，ACR 最高充至 98%
5/27			055 ACR 異常冒煙，限速 20

將民國 109 年 T05 列車 ACR 設備故障依故障樣態進行分類，其中充電異常計發生 10 次（含本次）、電壓異常計發生 3 次、設備線異常計發生 1 次。進一步檢視 T05 車歷年故障檢修履歷，在 055 車 DC-DC 模組於民國 107 年 8 月 28 日有類似本次電感電容濾波器燒損情形，有關當年損壞的相關處置情形，將於 1.14.1 章節說明。

1.6.3 列車控制與監視系統

本次事故 CAF Urbos 3 型列車上裝設有 TCMS，該系統具備列車設備監控功能，並能即時將設備狀態傳遞給列車司機員。系統是由 HMI、中央控制器（central control unit, CCU）、輸入輸出（input and output, IO）模組等元件所組成，其架構如圖 1.6-2。

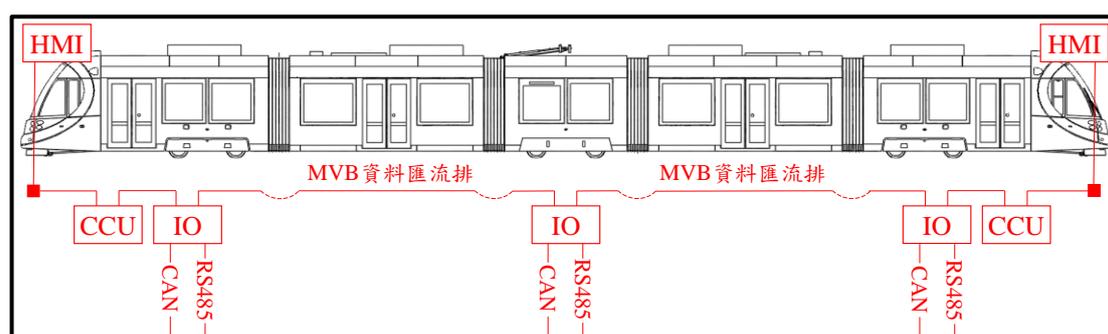


圖 1.6-2 CAF Urbos 3 型列車 TCMS 架構圖

其中 HMI 是司機員、維修人員與列車間的溝通介面，列車狀態及資訊經由多功能車輛匯流排（multifunction vehicle bus, MVB）傳送至 HMI，也可將司機員在 HMI 的操作指令發送至目標設備。

依據 CAF 原廠「Q.46.97.550 駕駛與操作手冊修訂版 4（2014 年 12 月版）」第 6 部分其他設備說明，人機介面備有永久記憶體，可儲存相關設備故障紀錄及設備作動紀錄。駕駛員亦可經由人機介面了解列車的設備狀況及告警資訊，其中告警資訊會顯示警示類型、警示代碼、警示說明及日期/時間等資訊（如圖 1.6-3）。



圖 1.6-3 CAF Urbos 3 型列車 HMI 位置及顯示畫面

人機介面告警依據 CAF 原廠「故障查找手冊修訂版 2（2015 年 4 月版）」第 13 部分通訊系統-附錄說明，告警區分為 5 種等級，依序為 A（需要立即採取行動的重大故障）、B（需要使列車退出服務的重大故障）、C（需要通知控制室的故障）、D（需要告知駕駛或維護人員的小故障或資訊）及 M（維護人員提示資訊）。

調查小組於事故當日取得 T05 列車 HMI 紀錄，在當日 0710:03 時列車自哈瑪星（C14）站出發，至 0742:45 時凱旋瑞田（C02）站關車期間，計有 4 筆 C 級告警、1 筆 B 級告警、2 筆 A 級告警（如表 1.6-5）。

表 1.6-5 T05 列車事故當日 HMI 紀錄

時間	列車位置	告警代碼	告警等級	本文	建議
0741:58	C02	AL1192	C	Detection failure or incorrect location of the unit 偵測到故障或列車位置不正確	檢查並確保列車在車站中處於正確位置。 如果列車位置不當，手動對 ACR 進行強制充電。
0741:22	C03-C02	AL2090	A	Fire detected in Saloon car 車廂中偵測到火災	疏散乘客。

0739:20	C03-C02	AL1024	B	Null speed detection in failure 零速偵測故障	安全故障。
0739:10	C03	AL1188	A	Catenary-free mode degraded 無架空線模式出現降級	請檢查 ACR 負載。 如果負載不足以到達下一車站，需要疏散乘客。
0730:07	C06-C05	AL1150	C	Weight sensor failure 重量感應器故障	請謹慎駕駛，常用煞車可能會在高負載條件下降級。
0728:24	C07-C06	AL1150	C		
0721:54	C09-C08	AL1150	C		

進一步檢視該 HMI 紀錄，自民國 109 年 5 月 25 日至 5 月 27 日間，共計有 10 筆歸類為 M 的 ACR DCCU Error (代碼 AL3200) 告警紀錄 (如表 1.6-6)。經高捷公司補充說明，當 AL3200 告警時，駕駛室 HMI 畫面 ACR 圖塊會顯示藍色，處置方式依前述高捷公司「SP-L11-L2001 輕軌電聯車 (CAF) 線上故障排除流程」文件，將視列車充電情況以決定是否達收車標準。

表 1.6-6 T05 列車 HMI ACR DCCU Error 歷史紀錄

日期	時間	告警代碼	告警類型	本文	建議
5 月 27 日	07:36:07	AL3200	M	ACR DCCU Error ACR DCCU 錯誤	檢查快照及裝置日誌。
	07:35:33				
	07:35:23				
	05:21:23				
5 月 26 日	05:17:35				
5 月 25 日	14:38:31				
	14:06:42				
	13:09:28				

	10:20:57				
	06:24:24				

1.6.4 車上儲能系統 (ACR)

高雄輕軌採用無架空線供電系統，正線上車站與車站間不架設電車線，因此在 CAF Urbos 3 型列車上，設計有 ACR 以符合無架空線的營運條件。

當列車在正線上車站停靠時，可經由 3 車(R 車)的集電弓設備，對設置在車站的快速充電電源供應系統進行電力擷取，該擷取之電力將被儲存在 ACR 設備箱的超級電容 (ultra-capacitor strings, UC) 及電池 (battery string, BAT) 內，當列車行駛在無架空線路段時，由 ACR 供應列車牽引所需能量，當列車進行減速時，ACR 也可回收煞車能量轉為電力儲存。

CAF Urbos 3 型列車主要是透過牽引控制電子元件平台 (vehicle electronics for generic applications, VEGA) 進行全列車電力管理，有關於該型列車的高電壓電路如圖 1.6-4 所示。

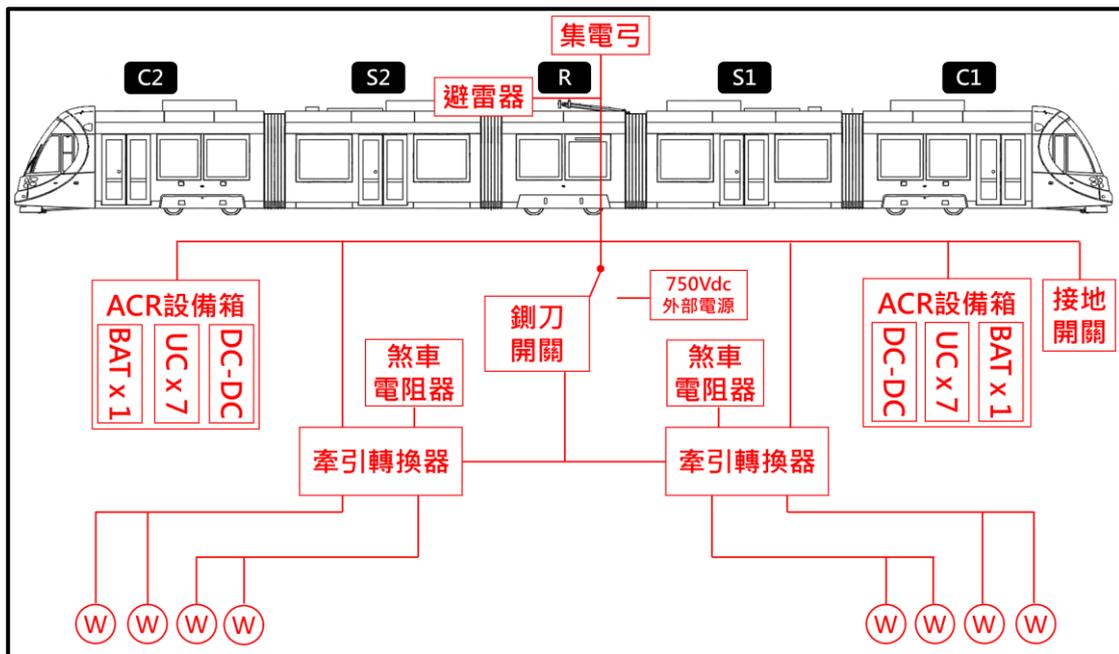


圖 1.6-4 CAF Urbos 3 型列車高電壓電路

每列 CAF Urbos 3 型列車在 1 車 (C1 車) 與 5 車 (C2 車) 車頂各配置有 1 組 ACR 設備箱，每個 ACR 設備箱由 DC-DC 模組、UC-UC 模組及 UC-BAT 模組所組成，為長度 321.1 公分、寬度 184.5 公分、高度 75 公分的鋁材製箱體 (如圖 1.6-5)，總重量為 3200 公斤。其中 ACR 變電器等組件異物防護等級為 IP65，冷卻 DC-DC 模組、超級電容及電瓶等之冷卻流路異物防護等級為 IP22。

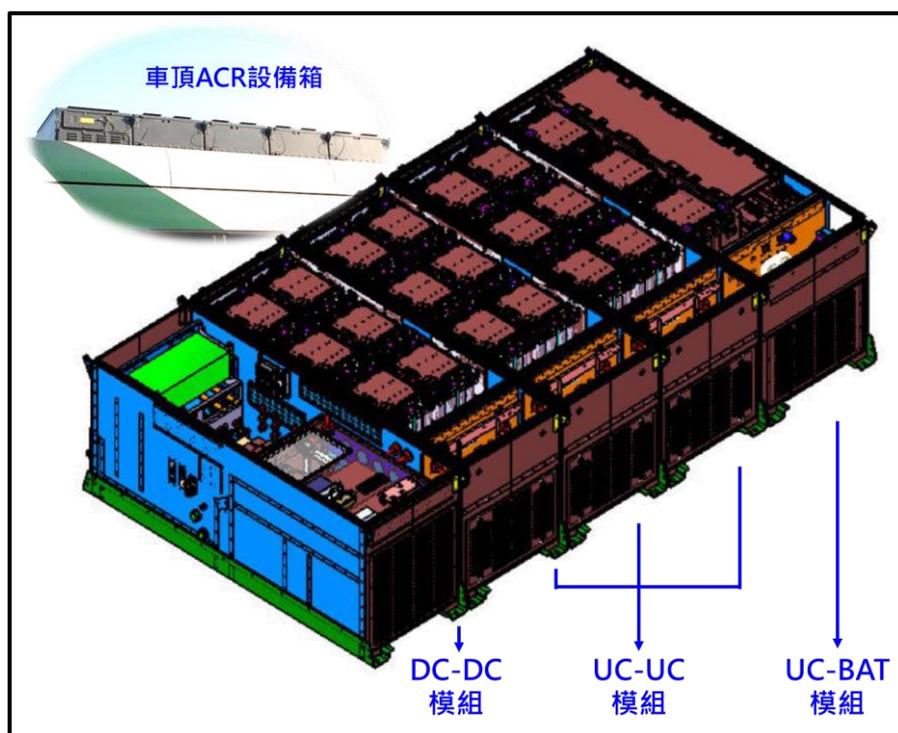


圖 1.6-5 ACR 設備箱配置圖

其中 DC-DC 模組與車體直流高壓總線連接，並透過絕緣雙閘式二極電晶體 (insulated gate bipolar transistor, IGBT) 技術，決定電流輸出或輸入方向，主要功能是在進行直流電變壓，以提供正確的需求電壓至相關設備。當列車升起集電弓實施充電時，集電弓引入的 750V 直流電，會經過 IGBT 整流並降壓過濾為與超級電容相配之電壓，以確保電壓為超級電容合適的 550V 充電電壓；當需要超級電容向列車供應電力時，IGBT 將會轉換電流供給方向，並增加電壓提供至牽引轉換器。

UC-UC 模組主要由 2 組超級電容、接觸器、保護裝置及傳感器等設備組成，超級電容可以在瞬間供給列車設備所需之電力，其電能密度與容量是一般化學電解電容的數千倍，在電能轉換過程中純屬物理充放電機制；至於 UC-BAT 模組則是由 1 組超級電容及 1 組具大電量之鎳氫電池組成，該電池主要是做為系統備援使用。有關 ACR 電路方塊圖如圖 1.6-6。

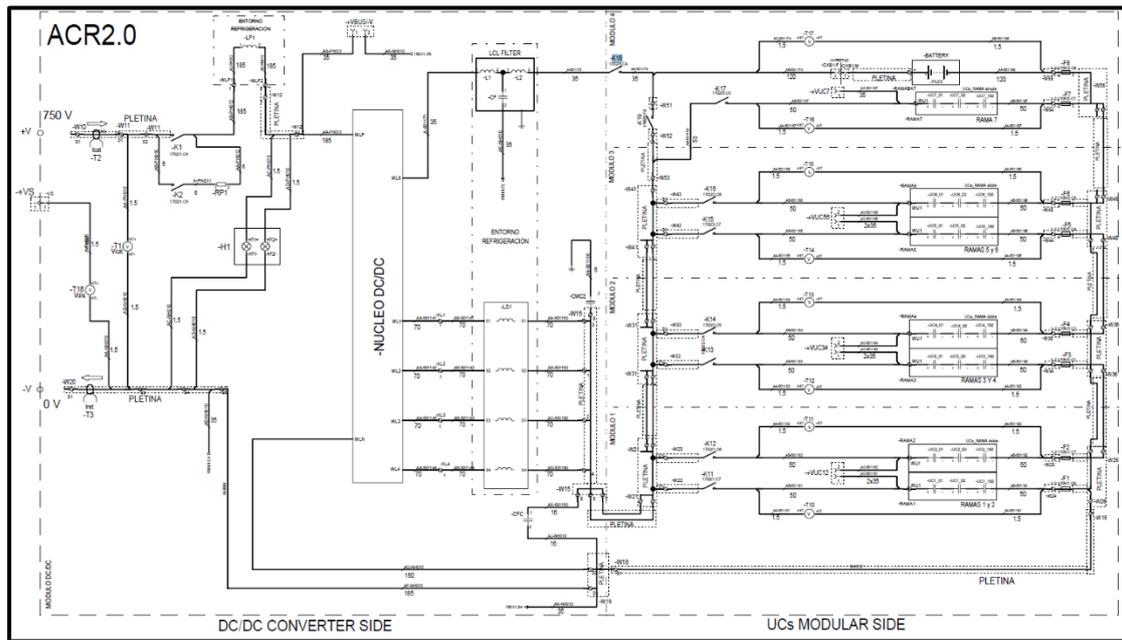


圖 1.6-6 ACR 電路方塊圖

超級電容與電池都位在 DC-DC 模組下游，兩者為並聯之獨立電路，電池透過具備降/升壓及濾波功能的電感電容濾波器，做為電壓輸出及輸入通道。該電感電容濾波器是由：電感 L1-150 μ H（微亨）/最大通過電流 220 Amp（安培）、電感 L2-62 μ H/最大通過電流 140Amp、電容-195 μ F（微法拉）600V（伏特）及放電電阻所組成，固定於一不鏽鋼板上（如圖 1.6-7）。

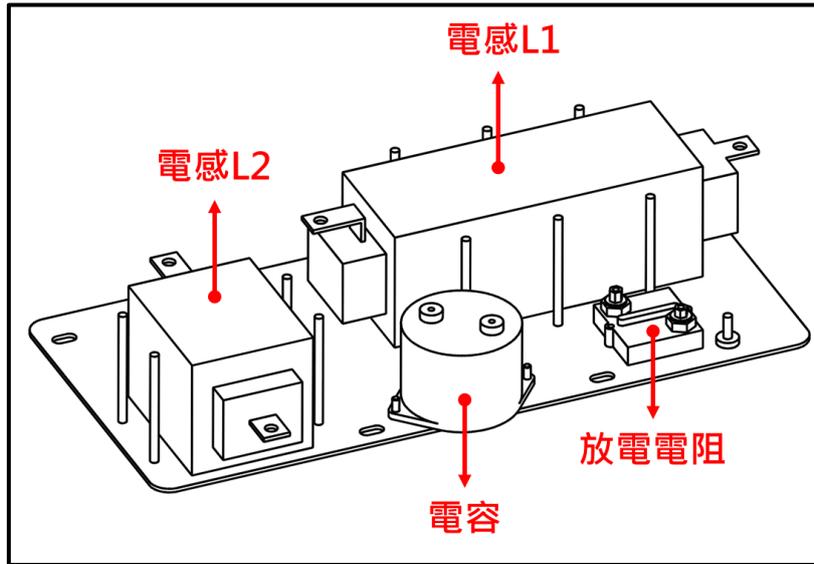


圖 1.6-7 CAF Urbos 3 型列車 ACR 電感電容濾波器

有關電感電容濾波器設置的放電電阻，依據 CAF 公司提供之「AX.02P3.0084 SPECIFICATIONS FOR EXTERNAL PROCUREMENT OF ESSENTIAL ITEMS FOR A LCL FILTER ISSUE 00_05 (2018/04/24)」文件說明，其設置目的及功能是當電感電容濾波器斷開負載後，可用於耗盡電容器剩餘之電力（如圖 1.6-8）。

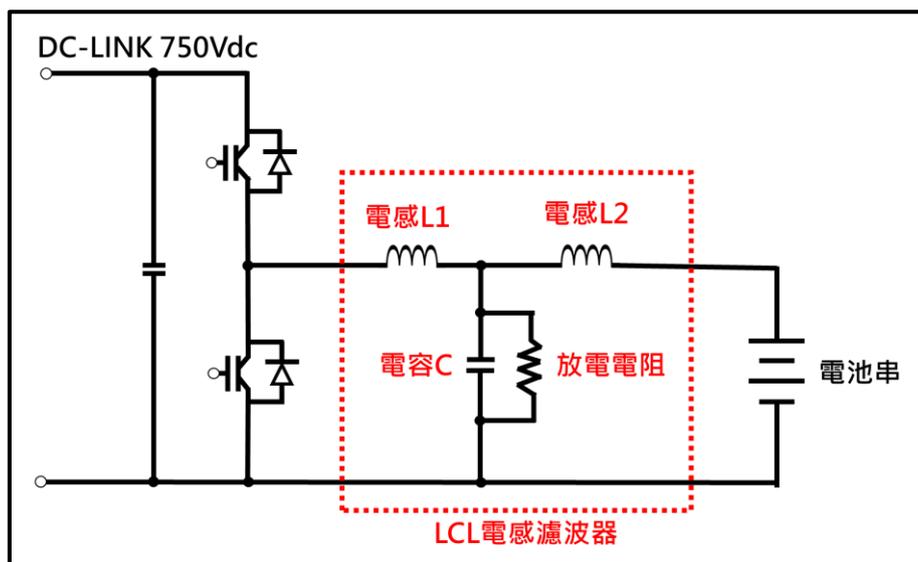


圖 1.6-8 電感電容濾波器電路方塊圖

本次事故發生後，調查小組請 CAF 公司協助針對高捷公司所屬 CAF Urbos 3 型列車電感電容濾波器進行絕緣檢測³，有關檢測結果彙整如表 1.6-7，而該絕緣最低容許標準值經 CAF 公司補充說明為 100MΩ（歐姆）。

表 1.6-7 電感電容濾波器絕緣檢測值

電阻值 單位：Ω	1 車 (C1)		5 車 (C2)	
	1000 伏特	2000 伏特	1000 伏特	2000 伏特
T01 列車	1060M	1050M	709M	714M
T02 列車	1.88G	1.46G	1.9G	1.63G
T03 列車	35.3G	31.3G	11.4G	10.8G
T04 列車	918M	858M	1M	5M
T05 列車	0.9M	1.6M	本次事故燒損	
T06 列車	95.4M	102M	69.9M	54.4M
T07 列車	488M	495M	110M	100M
T08 列車	6.9M	11.4M	222M	164M
T09 列車	417M	403M	4.4M	15.6M
檢測日期：民國 109 年 7 月 26 日至 8 月 5 日				

³ 將直流電壓施加至電感電容濾波器，以檢測絕緣性能。本次作業採用日商共立電氣計器株式會社生產的 KEW 3127 型電阻計進行檢測。

1.6.5 車頂材料及結構

CAF Urbos 3 型列車車體主要是由底架、車頂和側壁三種結構所組成，相互之間以高強度鉚釘連結，其中車頂結構是由屋頂層、風道層、天花內襯所組成（如圖 1.6-9）。屋頂層直接暴露在大氣條件中，所使用材料為輕質鋁合金（6005A T6 EN755-1），除有遮蓋車廂風雨功能外，還需承受車頂裝置的垂直負載，在屋頂層下緣有一層聚酯纖維板作為絕緣之用；屋頂層下方為風道層是空調出氣與回風的管道，由聚酯纖維板及黑色纖維板構成；至於天花內襯使用的材料為擠壓型鋁製材，在內襯內部另設有隔音板。

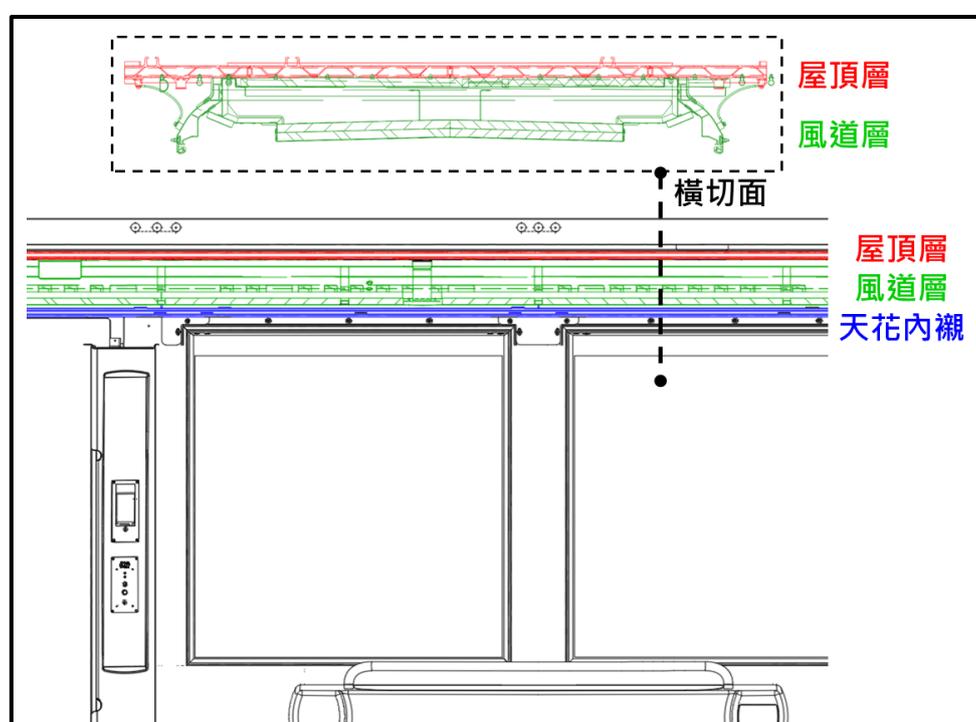


圖 1.6-9 CAF Urbos 3 型列車車頂橫切視圖

在列車的第 1 車（C1 車）及 5 車（C2 車）車頂上，均設有 5 處排水孔（如圖 1.6-10），其功能為避免雨水於車頂積存，雨水可經排水孔分別導入 4 條排水管，進而將雨水排放至車體外。其中排水管為直徑 28 公厘管材，其餘宣洩不及的雨水則經由車廂間的連通走道波紋管流至地面。

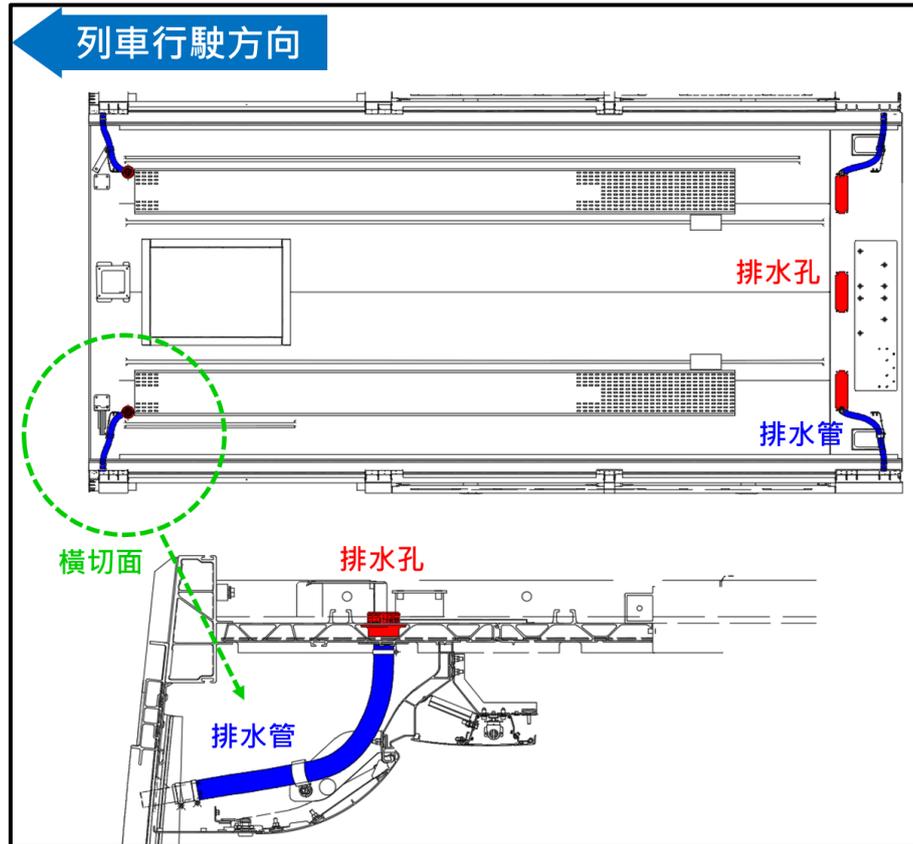


圖 1.6-10 CAF Urbos 3 型列車車頂排水設備橫切視圖（1、5 車）

1.7 天氣資料

事故當日上午為降雨型態，根據交通部中央氣象局（以下簡稱氣象局）歷史逐時氣象資料，當日高雄測站（前鎮區）上午 7 時氣溫為攝氏 24.6°C、降雨量為每小時 47 毫米，當日 8 時氣象局對高雄市地區發布豪雨特報。

調閱事故前一週高雄測站降水量資料，事故當日的累積降水量為 288 毫米，屬當週最高值，而事故當日降水集中時間在上午 1 時至 12 時，本案事故發生時間（上午 7 時至 8 時）為當日降雨量最高的時間帶（如圖 1.7-1）。

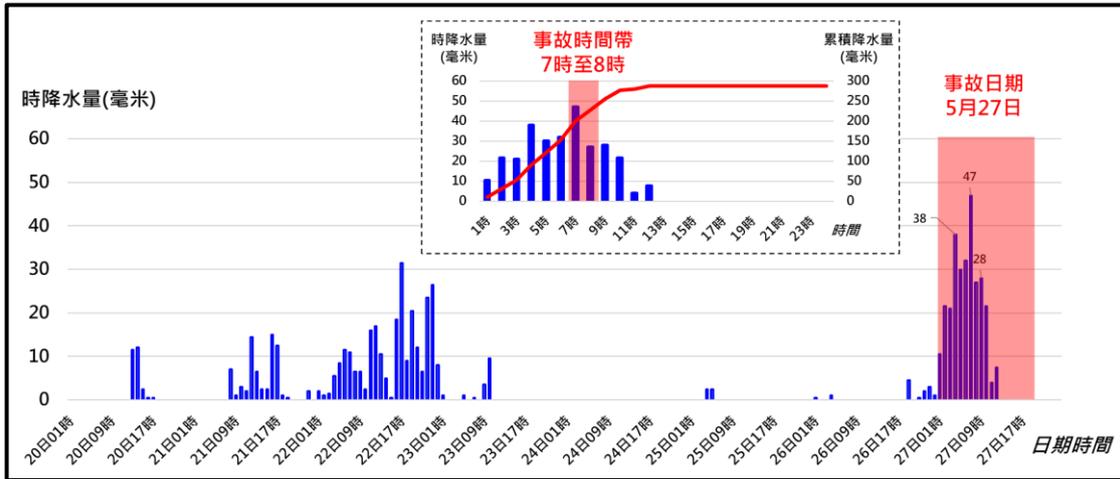


圖 1.7-1 氣象局高雄測站降水量資訊

1.8 通信

1.8.1 通訊系統

高雄輕軌通訊系統是由序列通訊傳輸訊號 (clear to send, CTS) 網路系統做為骨幹，以進行資料的發送與接收，主要通訊設備架構是由行控中心設備、基地台設備及終端設備所組成。

行控中心設備經由控制交換機與 CTS 網路骨幹進行連接，基地台設備透過空中介面，提供了涵蓋範圍內所有終端設備的網路存取與呼叫處理，整個系統中的終端設備除手持式無線電外，也包含 CAF Urbos 3 型列車、維修車內部的車載通訊系統 (如圖 1.8-1)。

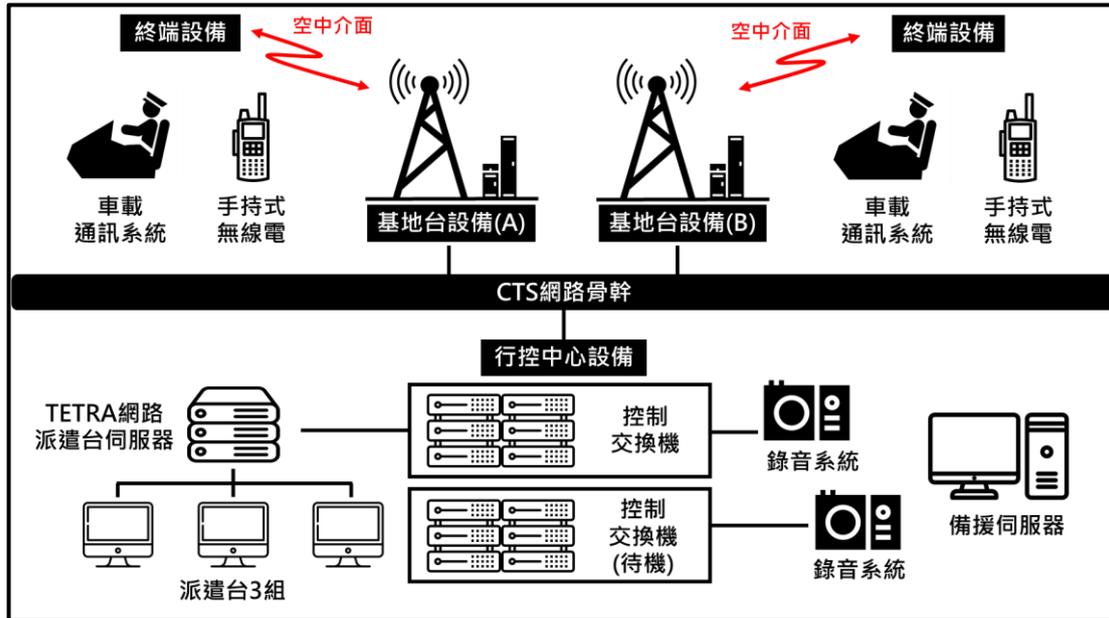


圖 1.8-1 高雄輕軌通訊系統架構圖

而在通訊系統範圍內的所有語音資料，均可透過行控中心內的 IP 錄音機進行紀錄。

1.8.2 通聯紀錄

經蒐集高雄輕軌行控中心錄音系統於事故期間之通聯紀錄，自 0735:48 時至 0746:02 時止，計有 7 組發話單位，總計 69 筆紀錄，經時間校正後的通聯抄件詳附錄 1。

1.9 紀錄器資訊

1.9.1 時間校正

檢視高雄輕軌系統中與本案有關之紀錄器資訊，可區分為通聯紀錄、影像紀錄及車載資訊紀錄等三種類型。其中影像紀錄包含車站影像、車上影像（含駕駛室、車廂）及司機員密錄器；車載資訊紀錄除前述 HMI 紀錄外，在 CAF Urbos 3 型列車上設有事件紀錄器（event recoder, ER），除可記錄車上設備作動狀況，也具有計算列車速度之重

要功能；另高雄輕軌行控中心有資料蒐集與監控系統（supervisory control and data acquisition, SCADA）紀錄可供查詢。

因紀錄器設備內部時間偶因人工校正或機械誤差，致使各紀錄器設備間存有時間差異，因此實施時間校正是有必要的，依據 CAF 公司提供之「Q.46.91.163 EVENT RECORDER TECHNICAL AND FUNCTIONAL DESCRIPTION Issue C (2014/03/03)」文件，事件紀錄器會與全球衛星定位系統（global positioning system, GPS）同步進行時間校正，因此調查小組將以事件紀錄器時間為校正基準，關於各紀錄器資訊時間的校正結果如表 1.9-1 所示。

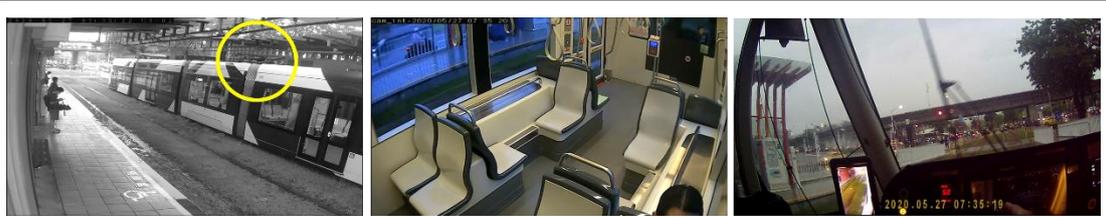
表 1.9-1 紀錄器時間校正結果

設備名稱	ER	HMI	車站影像	車上影像		密錄器	通聯
時間校正	基準	±0 sec	-3 sec	駕駛室	客室	±0 sec	-7 sec
				-948 sec	-1 sec		

1.9.2 影像紀錄

本案調查小組取得之影像紀錄分別有車站影像（含 C03 站、C02 站）、車上影像及司機員密錄器，依據時間校正後之影像紀錄與本次事故相關重要事件，製作影像抄件如下：





0735:19 時 / T05 列車集電弓升起



0735:27 時 / 055 車車頂 ACR 設備箱有明顯之煙霧



0737:49 時 / 司機員執行清車作業



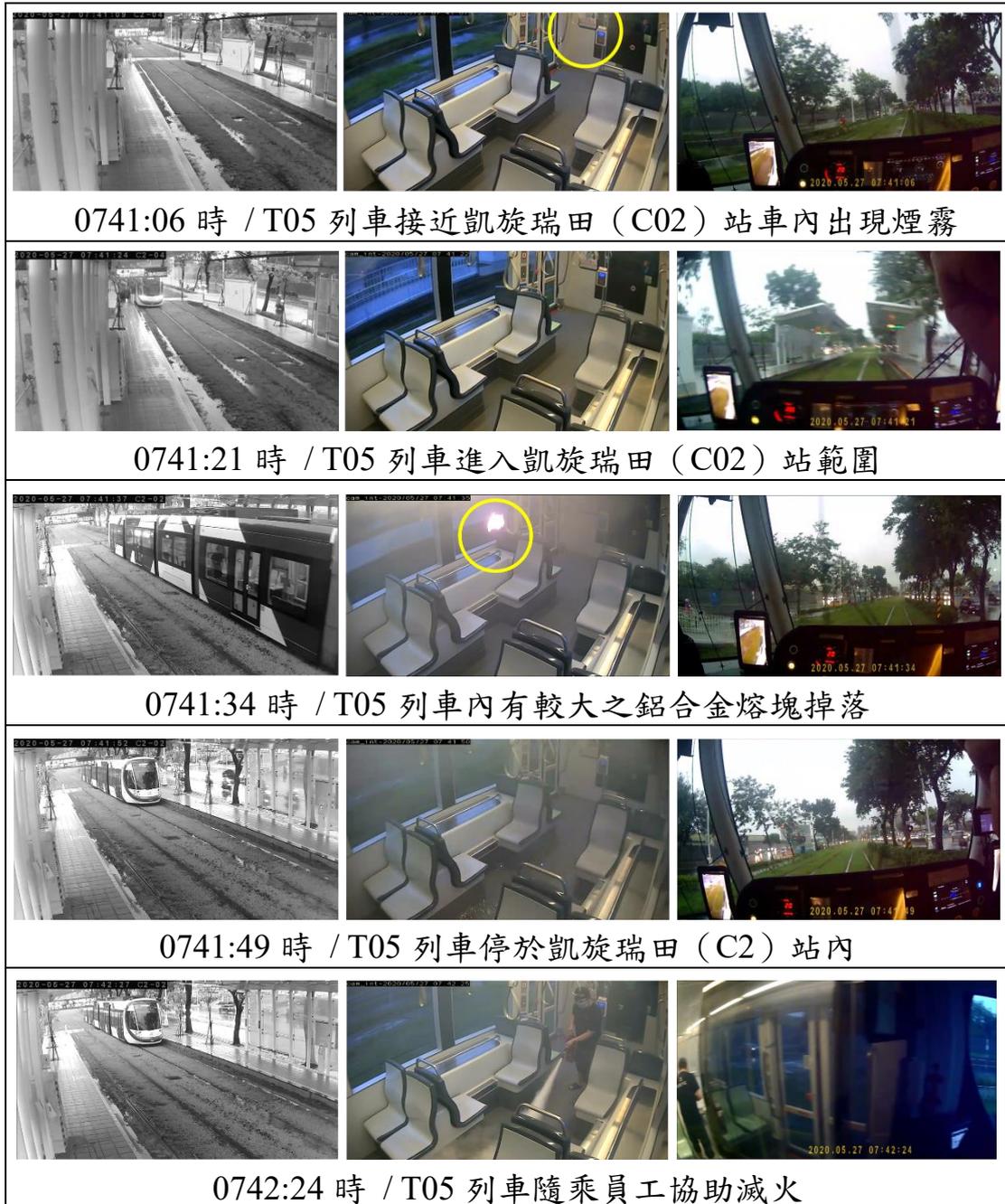
0738:21 時 / 上行 T08 列車進入前鎮之星 (C03) 站



0739:06 時 / T05 列車速度表顯示速度限制 20 公里/時



0739:15 時 / T05 列車開車駛向籬仔內 (C01) 站



1.9.3 資訊紀錄

CAF Urbos 3 型列車上設有事件紀錄器，其主要功能為監控並記錄車輛訊號，事件紀錄器主要是由 5 車 (C2 車) 車頂的控制裝置及安裝於兩端駕駛室的速度表所構成 (如圖 1.9-1)，列車速度來源是由裝設在 3 車 (R 車) 轉向架上兩個速度感應器收到的脈衝換算，這些資訊都會記錄在事件紀錄器控制裝置內。

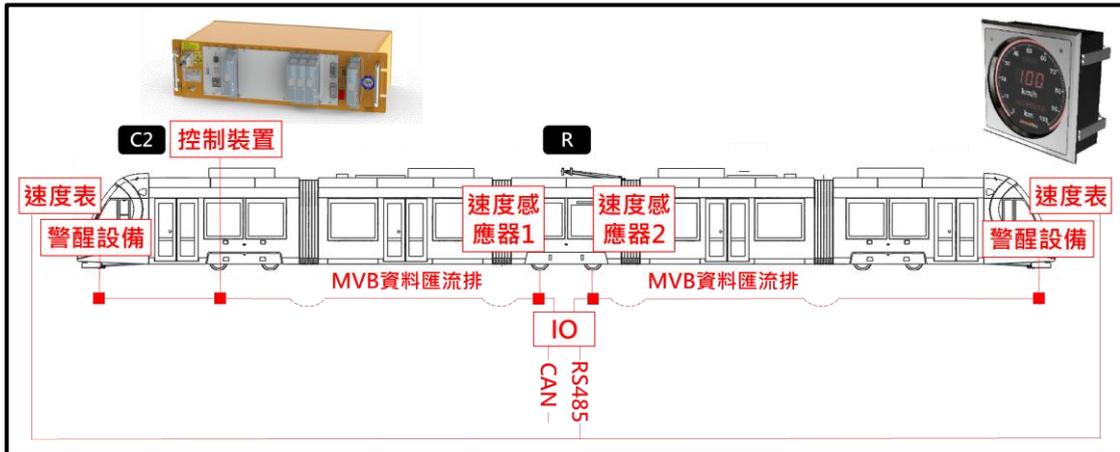


圖 1.9-1 CAF Urbos 3 型列車事件紀錄器架構圖

事件紀錄器主要用於記錄司機員列車操作狀況及列車設備作動情況，而 HMI 紀錄主要是在記錄設備故障或異常警訊，兩紀錄資料時間相符，因此可將事故列車於凱旋中華(C04)站至凱旋瑞田(C02)站間的設備狀況與駕駛行為進行比對，如圖 1.9-2 所示。

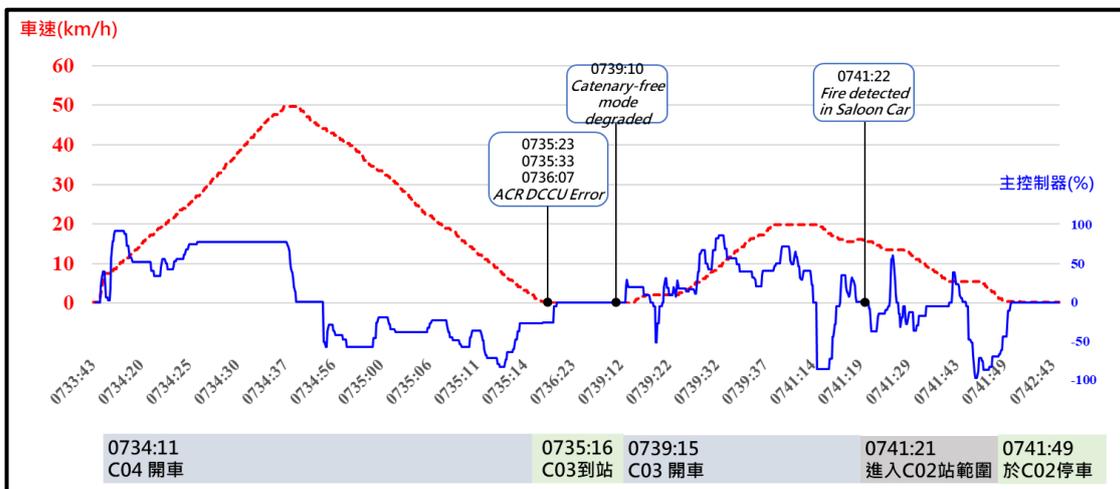


圖 1.9-2 事故當日 T05 列車 ER 紀錄與 HMI 紀錄套繪

從圖中可以發現，列車於停靠前鎮之星(C03)站時，ACR 開始有異常現象，該「ACR DCCU Error」之告警記錄於 HMI 紀錄中，警示類型為 M，屬於維護人員提示資訊。

列車 0741:22 時行駛於前鎮之星(C03)站至凱旋瑞田(C02)站間時，出現「Fire detected in Saloon car」A 等級告警，告警出現後司

機員有兩次加速動作之操作，並於 0741:49 時將列車停下。

經高捷公司說明，該司機員操作加速是為避免列車停於可觸發集電弓升弓之位置。查 CAF 原廠「Q.46.97.550 駕駛與操作手冊修訂版 4 (2014 年 12 月版)」第 4 部分車輛操作說明，在每個車站充電點有安裝兩個迴路信標，當列車停於可偵測信標（至少一個）位置時，將自動啟動集電弓升弓進行充電作業。

1.9.4 行控中心 SCADA 紀錄

高雄輕軌行控中心除監控列車、號誌運作狀況外，另有 Power SCADA 設備，主要用於監控輕軌系統的供電設備情形，調查小組於事故當日即檢視前鎮之星 (C03) 站與凱旋瑞田 (C02) 站之告警清單（參照附錄 2），其顯示並無異常告警狀況。

1.10 測試與研究

1.10.1 電感電容濾波器工作環境溫溼度測試

電感電容濾波器設置於 ACR 設備箱 DC-DC 模組內部，因電力在輸入和輸出過程中會產生熱能，因此在箱體內設有風扇，透過強制通風的方式，吸收外部空氣來達到散熱效果。於調查過程中另外發現高捷公司與 CAF 公司間，對於 DC-DC 模組「進氣濾網」在使用等級上，有認知差異的情況。

因此調查小組想了解電感電容濾波器在列車運行過程中工作環境溫溼度變化情形（如圖 1.10-1），並判別進氣口使用不同等級濾網狀況下，對電感電容濾波器工作環境之影響，另 CAF 公司補充說明，該電感電容濾波器最高運作溫度為 42°C⁴。

⁴ CAF 公司說明，該溫度是電感濾波器在室溫 24°C 且無強制冷卻的狀況下，給予電感 70 Arms 電流通過條件下測得之值。

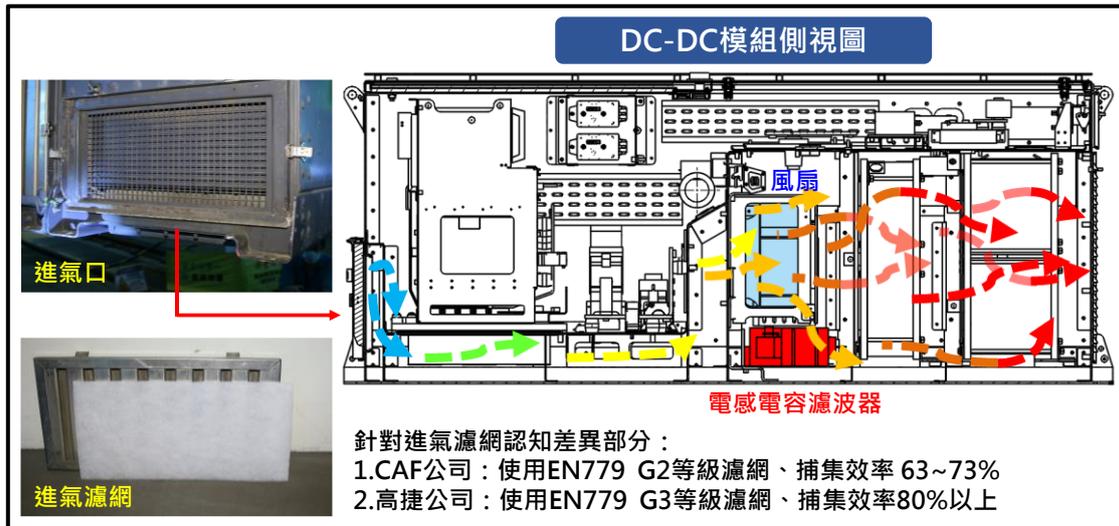


圖 1.10-1 DC-DC 模組側視圖及散熱通道示意

調查小組自民國 109 年 10 月 8 日起至 13 日止，共計 6 個工作日，邀集各參與調查單位使用高捷公司 CAF Urbos 3 型列車進行實車測試，相關測試流程及結果說明如下：

測試方式

配合高捷公司可用車排程，本次測試使用編號 T08 列車，調查小組首先於 5 車 DC-DC 模組內安裝 1 組溫溼度感測器⁵，以記錄列車行駛過程中電感電容濾波器工作環境的溫濕度變化，同時在 DC-DC 模組進氣口處安裝另 1 組溫溼度感測器做為對照，有關感測器安裝位置如圖 1.10-2 所示。

⁵ 本次作業採用世駿電子股份有限公司生產的 TM-317 型溫濕度紀錄器，該設備之溫度可測範圍為-40°C至 85°C，溫度誤差約為±0.6°C，並以每 20 秒/次的頻率進行記錄。

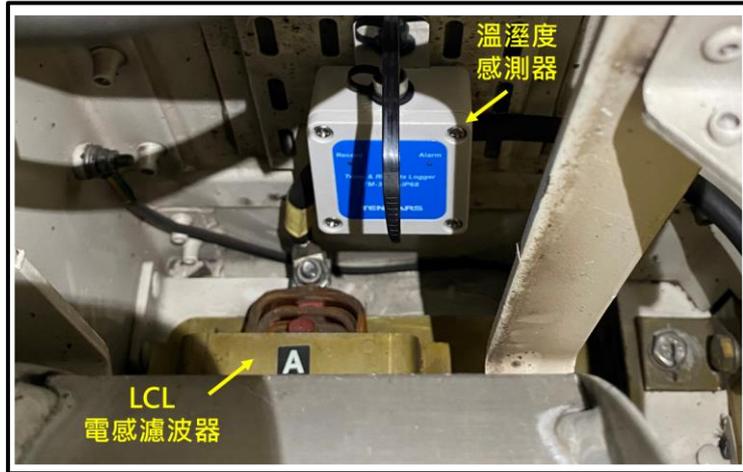


圖 1.10-2 溫溼度感測器安裝位置

測試階段

本次測試共分為四階段（如表 1.10-1），第一階段進氣口安裝高捷公司提供的 G3 等級且使用 2 個月之舊濾網，第二階段進氣口安裝高捷公司提供的 G3 等級新濾網，第三階段進氣口安裝 CAF 公司提供的 G2 等級新濾網，每階段各紀錄 2 個工作天。第四階段則接續第三階段將 G2 等級新濾網使用 2 個月後，再與第一階段使用 2 個月之舊濾網進行目視比較。

表 1.10-1 環境溫溼度測試排程

測試階段	測試時程	測試濾網	測試目的
第一階段	連續 2 日	G3 等級 使用 2 個月舊濾網	取得溫溼度資訊
第二階段	連續 2 日	G3 等級 新濾網	取得溫溼度資訊
第三階段	連續 2 日	G2 等級 新濾網	取得溫溼度資訊
第四階段	連續 2 個月	G2 等級 新濾網	進行目測比較

測試結論

1. 使用 G3 等級新、舊濾網對於電感電容濾波器環境溫度、溼度變化趨勢無顯著差異。
2. 使用 G2 及 G3 等級新濾網對於電感電容濾波器環境溫度、溼度變化趨勢無顯著差異。
3. G2、G3 等級濾網使用約 2 個月後，在目視比較上無顯著差異（如圖 1.10-3）。
4. 事故發生後同年 10 月份執行本次環境溫溼度測試，於測試時段上午 11 時起至下午 3 時止，溫度約略介於 40°C 上下，且有部分時段高於 42°C。
5. 比較電感電容濾波器工作環境溫度與 DC-DC 模組進氣口溫度，兩處平均⁶之溫度差約為 9.3°C，濕度差約為 33.95%。
6. 本次溫溼度感測器測得之結果，與氣象局公開的溫溼度資訊⁷變化趨勢相符（如圖 1.10-4）。

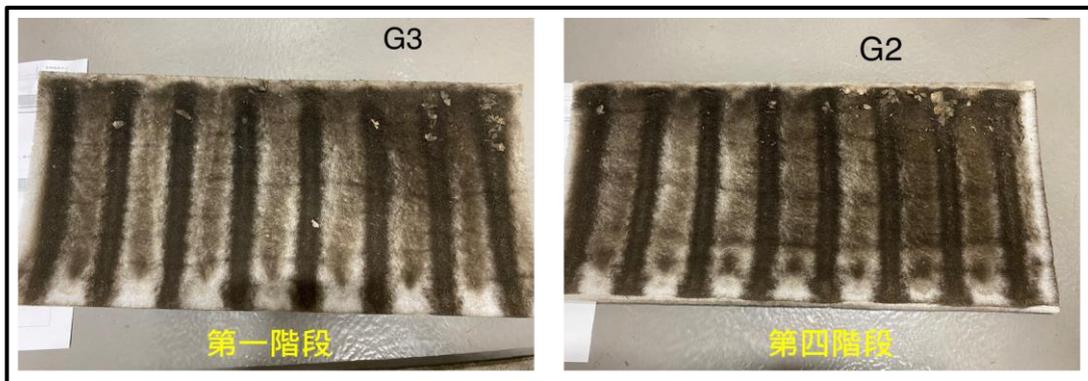


圖 1.10-3 使用不同等級濾網結果目視比較

⁶ 取測試期間最高溫、最低溫及溼度各 20 筆資料進行平均差計算。

⁷ 氣象局苓雅測站觀測資料。

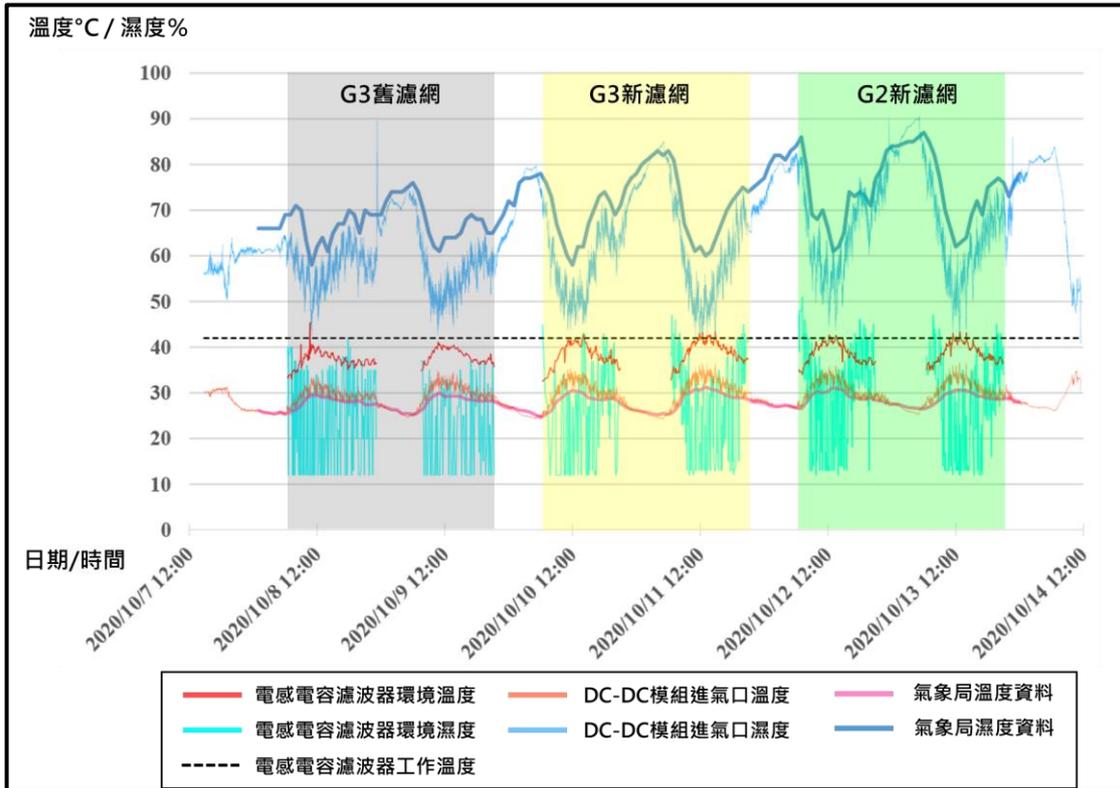


圖 1.10-4 環境溫溼度測試數據

1.10.2 火災委託鑑定

針對本次事故調查小組於民國 109 年 6 月 17 日赴現場檢視 ACR 設備箱 DC-DC 模組內部燒損情形，同時攜回受損之電感電容濾波器，並委託明志科技大學進行火災鑑定，有關作業及測試階段摘錄委託鑑定報告內容說明如下：

程序 1-試片採集

調查小組將 DC-DC 模組內部散熱風扇及電感電容濾波器拆除，發現箱體內部有明顯的燃燒痕跡，也有多處的碳渣堆積情形，經清除碳渣後發現有部分銅質碎片（如圖 1.10-5），本次鑑定採集該銅質碎片為試片 P2 做為實驗材料。



圖 1.10-5 DC-DC 模組內部碳渣堆積情形及銅質碎片

觀察電感電容濾波器銅質線圈，有部分線圈下方已呈現熔珠狀態，部分線圈則有燒黑之跡象（如圖 1.10-6），經破壞式採集事故之電感電容濾波器上兩處銅質線圈做為試片 A 及試片 B，並進行後續之比對材料（如圖 1.10-7）。

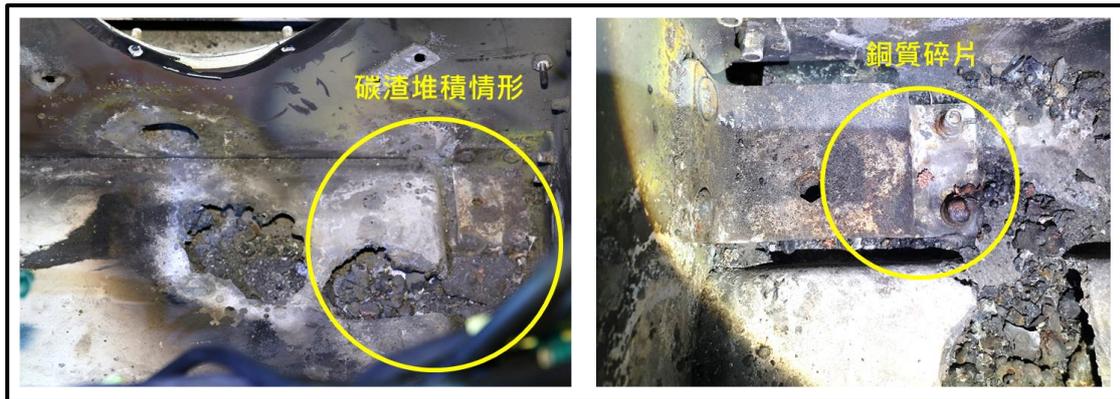


圖 1.10-6 電感電容濾波器銅質線圈受損情形



圖 1.10-7 本次蒐集試片材料

程序 2-金相分析

將採集之試片進行 X-Ray Diffraction，經材料比對確認為銅質材料。進一步對各試片實施金相分析⁸，以確認銅質材料是否有組織異常，各試片的金相分析結果如圖 1.10-8。

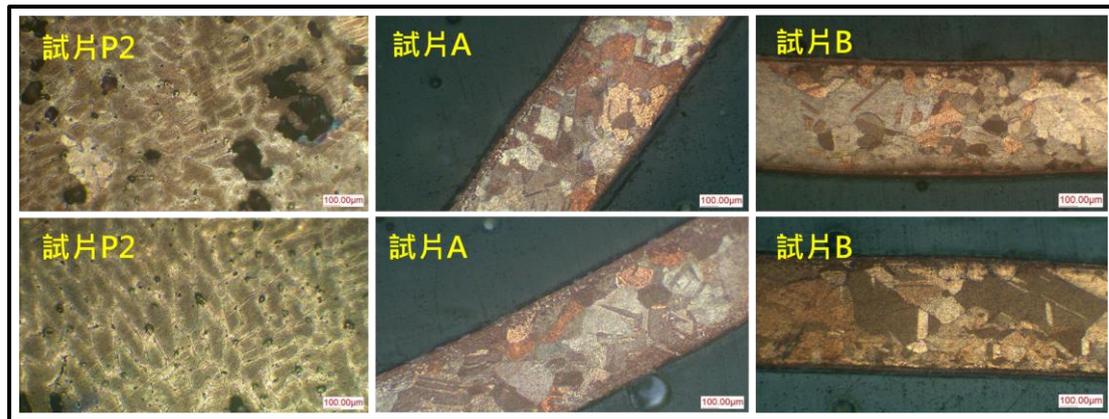
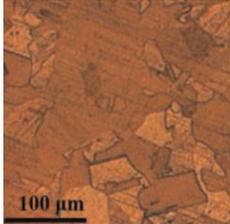


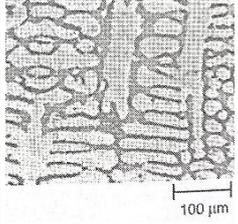
圖 1.10-8 金相分析結果

藉由金相分析將各試片的微觀組織顯示情形進行分類，如下表 1.10-2。

表 1.10-2 金相分析確認銅組織類型

銅組織類型	銅組織金相	試片	試片金相	所需溫度
無氧電子銅 退火組織		A		650°C
		B		

⁸ 即以顯微設備進行材料微觀分析，觀察組織的堆疊、排列、數量、分佈等樣態。

銅鑄造 組織		P2		1084.5°C
-----------	---	----	--	----------

從表 1.10-2 整理的金相分析結果顯示，試片 A 及 B 組織均屬無氧電子銅之退火組織，除原始材料因製程時退火形成外，另可能是在事故異常時受到 650°C 退火形成。而試片 P2 組織屬銅鑄造組織，表示於碳渣內發現的 P2 組織已達到銅之熔點 1084.5°C，該高溫為短路造成之可能性相當大（有關鑑定報告另詳附錄 3 之節錄內容）。

1.11 組織與管理

1.11.1 高雄捷運股份有限公司維修管理機制

高雄輕軌是根據高捷公司與捷運工程局雙方面簽訂的合約規範進行營運，在輕軌列車維修分工上，是依照捷運工程局與 CAF 公司所簽定的機電規範合約，視該故障設備是否在保固期間而區分維修責任歸屬（輕軌車輛計 13 大項設備，區分為 5 年特別保固、3 年保固、2 年一般保固）。如屬保固期內的設備故障，高捷公司會開立工單提送予 CAF 公司；如屬保固外的設備，則由高捷公司自行維修。高捷公司執行輕軌車輛維修作業單位為輕軌處車輛課，車輛課針對維修派工區分為預防維修（PM）及故障檢修（CM）。

有關 PM 的作業方式，是在每週四先將下週的排程預先計畫，經過主管簽核後，車輛課維修人員即依據該排程進行 PM 作業，輕軌車輛的 PM 週期區分為 IS（15 天）、T0（1.4 萬公里）、P1（7 萬公里）、P2（28 萬公里）及 P3（56 萬公里），至事故發生前，所有輕軌編組行駛里程數約在 10 萬餘公里，其中行駛里程數最高的編組達 17 萬餘公里，所有輕軌列車的 PM 週期均已執行到 P1。

至於 CM 的作業方式，當車輛課維修人員收到故障工單後，會先

視設備是否在保固期，如果屬保固期內的設備，會將工單以紙本方式轉由 CAF 公司處理；如非屬保固設備，則由排定負責 CM 的維修人員依據工單登載故障情形進行維修。

高捷公司對於輕軌列車故障登錄、維修控管、工單派發等作業，是透過維修資訊管理系統（maintenance management information system, MMIS）進行管理，該系統含括所有高捷公司之設備，輕軌處車輛課也會製作控管表，以雙重掌握車輛維修進度。

針對輕軌列車故障情形，高捷公司每月將其彙整成月報表送交捷運工程局審核，如捷運工程局對月報表內容有疑義，會請高捷公司進一步說明。

1.11.2 高雄市政府捷運工程局營運管考機制

高雄輕軌的營運是由高雄市政府捷運工程局辦理招標，以勞務委託之方式由民營的高捷公司進行經營管理，輕軌營運產生的盈虧由捷運工程局所承接，捷運工程局每年給付予高捷公司勞務委託及維修所需之費用。換言之，捷運工程局在本質上為高雄輕軌的營運機關，高捷公司是代為管理的營運機構。

捷運工程局可經由合約規範，對高捷公司實施營運管考，透過高捷公司每月提送的工作月報，來檢視高雄輕軌當月份的維修工項、營運狀況、參加會議情形及辦理相關活動等，該工作月報經過捷運工程局內各科室審查，若認為月報中有不合理之處，會請高捷公司進一步說明，若無問題則同意核備。

另捷運工程局自 104 年 12 月起自 106 年 7 月止，由專案管理顧問（台灣世曦工程顧問股份有限公司）召開「營運狀況管制會議」，會同系統廠商、監造單位、高捷公司共同討論高雄輕軌在營運上的設備缺失。並於民國 108 年 11 月起，定期召開「近期輕軌一階統包工程機電系統故障設備之問題釐清與改善措施會議」，由該局副總工程司主持，與高捷公司及系統廠商檢討設備問題及設備精進方式，該會

議具備列管追蹤機制，任何決議事項都須由高捷公司或系統廠商正式提出具體作法後辦理結案。另有特殊事件時，捷運工程局會透過發函方式，要求營運單位或系統廠商查明原因並解決，或召開檢討會議來討論改善方式。

捷運工程局設有一督導任務編組，每半年對高捷公司實施現地督導，以確認是否依照合約履行營運業務。自民國 109 年起，捷運工程局開始導入關鍵績效指標（key performance indicators, KPI）的方式，透過運量、準點率、查票率、附屬事業收入及事故率等指標，來評定高捷公司的營運績效。

1.11.3 高雄市政府交通局營運監理機制

高雄市政府交通局為高雄輕軌的監理單位，交通局依「大眾捷運系統經營維護與安全監督實施辦法」之權限，對高捷公司實施季報審查、年度定期檢查、臨時檢查等監理方式。

在年度定期檢查上區分為營運財務、設備維護及行車安全三組，由交通局外聘專家學者、工務局、捷運工程局及消防局等單位共同擔任檢查委員，檢查方式採文件審查及現場勘查方式，針對檢查缺失分為限期改善事項、一般改善事項及後續建議改善事項。如被列為限期改善之缺失項目，須經過檢查委員的同意方能解除列管，其餘項目則由交通局進行控管，檢查結果將函送交通部備查。

當高雄輕軌發生事故、媒體關切議題或實施清車作業時，高捷公司會以簡訊通報交通局、捷運工程局等相關單位，同時也會在高捷公司與高雄市政府相關成員組成之高捷訊息交換群組中發布相關訊息。交通局若要對事故進行後續追蹤，會請高捷公司於 7 日內提報事故原因、應變處理及改善作為。

若有需定期追蹤的議題，會請高捷公司在季報審查時提出說明，或是於年度定期檢查中加強檢查。對於重大特殊事件，交通局亦可透過臨時檢查等作為，來達到監理目的。

1.12 災防程序及設備

本次事故因涉及列車內有煙霧產生及高溫產生熔塊掉落情事，以下將說明高捷公司對於類似事件發生時的既有處置規範，並探討 CAF Urbos 3 型列車上所提供的災防設備。

1.12.1 火災處理程序

高捷公司訂有文件做為人員於執行運轉作業時遵循之準則，其架構概略區分為最上位階文件「高雄輕軌系統行車規章」，用於規範行車人員及運轉遵守規定，並對各權責、範圍進行解釋與定義。而實際作業方式則於二階文件「輕軌列車運轉作業程序」中，對各有關單位進行各種程序說明。各專責單位依據二階文件規範準則，向下編撰各單位的三階文件，如「工作說明書」等文件，來提供專責人員遵循。以下針對事故當日 T05 列車行駛過程中，在不同的條件與狀況下，須對應之處置作業進行說明。

前鎮之星 (C03) 站

根據相關紀錄器資料，事故當日 T05 列車行駛至前鎮之星(C03) 站時，車頂開始有煙霧出現，司機員接獲旅客反映有燒焦味，於 0736:52 時向行控中心回報該情形。根據「SP-L11-L2001 輕軌電聯車 (CAF) 線上故障排除流程」文件，當列車有燒焦味之徵狀時，處理原則如表 1.12-1。

表 1.12-1 輕軌列車有燒焦味之處理原則

項次	類別	故障項目 (含故障徵狀)	處理原則
----	----	-----------------	------

8	列車	有燒焦味	(1) 確認並觀察異常位置。 (2) 通知維修人員上車。 (3) 經維修人員確認狀況持續存在者，【WD2】 ⁹ 。 (4) 經維修人員確認情況嚴重或影響服務品質，【WD1】。
---	----	------	---

於 0737:35 時，對向 T08 列車通報行控中心，停靠前鎮之星站列車車頂有冒煙情形，此時依前述「SP-L11-L2001 輕軌電聯車 (CAF) 線上故障排除流程」文件的處理原則如表 1.12-2。

表 1.12-2 輕軌列車有冒煙或爆裂巨響之處理原則

項次	類別	故障項目 (含故障徵狀)	處理原則
2	列車	車底或車頂持續冒煙或爆裂巨響	【WD1】，待維修人員隨車，方可移回機廠。

前鎮之星 (C03) 站至凱旋瑞田 (C02) 站間

根據通聯紀錄及訪談資料，當 T05 列車內部開始有煙霧及鋁合金熔塊掉落時，是由車上隨乘員工通知司機員，司機員並於 0741:17 時通報行控中心車內著火訊息。HMI 紀錄 0741:22 時顯示 AL2090「Fire detected in Saloon car」之火災告警資訊。

根據前述「SP-L11-L2001 輕軌電聯車(CAF)線上故障排除流程」文件，當 AL2090 故障訊息顯示時，處理原則如表 1.12-3。

⁹ 此為高捷公司收車劃分標準：WD1 為立即清車至待避空間 (或機廠)；WD2 為無論是否有備用車供更換，行控中心可依車況及後續營運需求於端點站收車回機廠；WD3 為至端點站更換備用車，若無備用車則繼續營運，直至有備用車更換。

表 1.12-3 輕軌列車有煙霧感測器作動之處理原則

項次	類別	故障項目 (含故障徵狀)	處理原則
13	空調	HMI 顯示下列訊息： ● AL2090：車廂煙霧感測器作動。 ● AL2091：駕駛室煙霧感測器作動。	(1) 司機人員確認是否有火災狀況。 (2) 若有火災狀況，則依「行車運轉作業程序列車火災處理作業」處理。 (3) 若無火災狀況，則通知司機員重置火警燈鈕，【WD3】。

根據通聯紀錄內容，0741:17 時 T05 列車司機員通報行控中心車內已著火之訊息，依據表 1.12-3 相關處理原則，人員將應依循二階「SP-L11-L1001 輕軌列車運轉作業程序 4.8 列車火災處理作業」文件及三階「WI-L11-L2001 輕軌行控工作說明書 4.7 列車火災處理作業」、「WI-L11-L3001 輕軌車務工作說明書 4.8 列車火災處理作業」等文件執行相關處置作業。

有關高捷公司在輕軌列車運轉作業程序文件中，針對列車火災作業處理之權責劃分及作業原則摘錄如下：

權責

行控中心

1. 了解及掌握現場狀況，通知相關單位（含警察、消防及救護單位）。
2. 變更運轉模式、區域防護措施及維持非事故區段之列車營運。
3. 設定 PIDS 相關訊息告知候車站旅客。

司機員

1. 現場狀況之通報。
2. 廣播告知車上旅客相關訊息。
3. 協助旅客疏散及列車滅火。

作業原則

1. 列車火災，應請司機員或旅客嘗試滅火，無法滅火時，以就地疏散列車旅客為原則。
2. 若失火列車位於路口時，得往前行駛至非路口處疏散旅客，但人員生命遭受立即危險或列車無法移動狀況下除外。
3. 行控中心應避免其他列車靠近事故區域，並對事故區域執行區域防護措施。

另參照 CAF 原廠「Q.46.97.550 駕駛與操作手冊修訂版 4（2014 年 12 月版）」第五部分緊急操作說明，關於列車發生火災時相對應的安全措施摘錄如下：

發生火災時的安全措施

如果列車起火，請啟用車門讓乘客能夠下車，查看車內是否還有乘客非常重要：

1. 降下集電弓。
2. 通知交通控制中心。
3. 如果可以，請嘗試用滅火器滅火。

若發生火災：

1. 當車輛速度降到 3km/h 以下時，可以透過緊急出口裝置(EED) 打開車門。
2. 只有車廂輪椅區的车窗才是緊急出口，因此每扇窗旁邊都有一個緊急逃生鎚，可用來打破玻璃逃生。
3. 駕駛可以透過與乘客區直接相連的車門離開駕駛室，並從其中一扇乘客出入門下車。另外，還有一個由強化玻璃構成的分隔區，駕駛可以使用提供的緊急逃生鎚從此處逃出。

當列車處於無架空線區域時，也可以透過緊急關閉列車電源來關閉許多設備的電源。

1.12.2 列車硬體災防設備

煙霧偵測器

CAF Urbos 3 型列車在每節車廂及兩端駕駛室內均設有煙霧偵測器，全列車共計有 7 組煙霧偵測器，煙霧偵測器主要運作方式是當內部二極體感應到非正對角的紅外線 LED 光束時，將會產生警報訊號（如圖 1.12-1）。

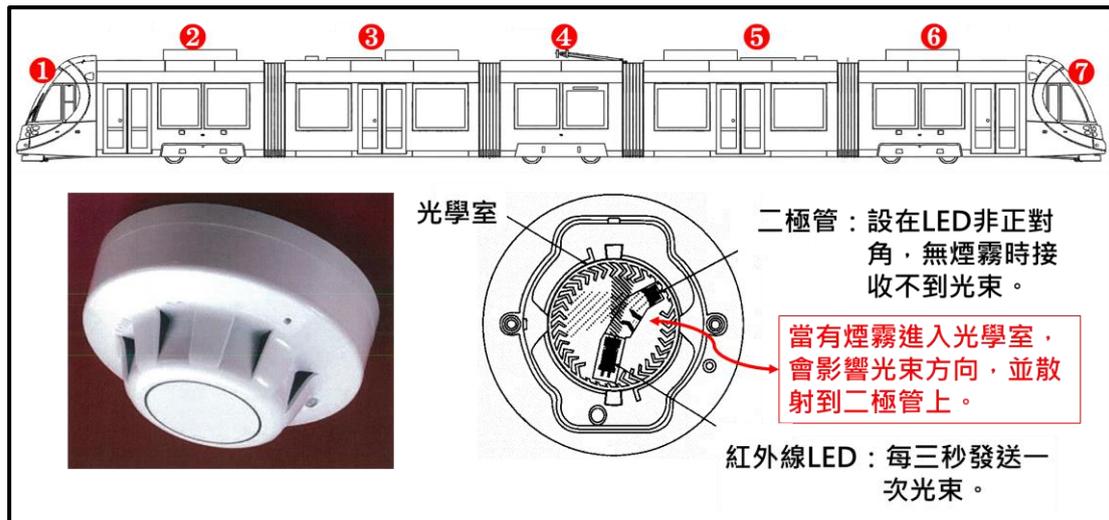


圖 1.12-1 CAF Urbos 3 型列車車上煙霧偵測器示意

當 TCMS 接收到煙霧偵測器警報訊號後，依據 CAF 原廠「Q.46.97.550 駕駛與操作手冊修訂版 4 (2014 年 12 月版)」第三部分及第五部分說明，列車駕駛室控制面板火災偵測按鈕 LED 燈將會亮起（如圖 1.12-2），同時 TCMS 會中斷空調，避免煙霧擴散。

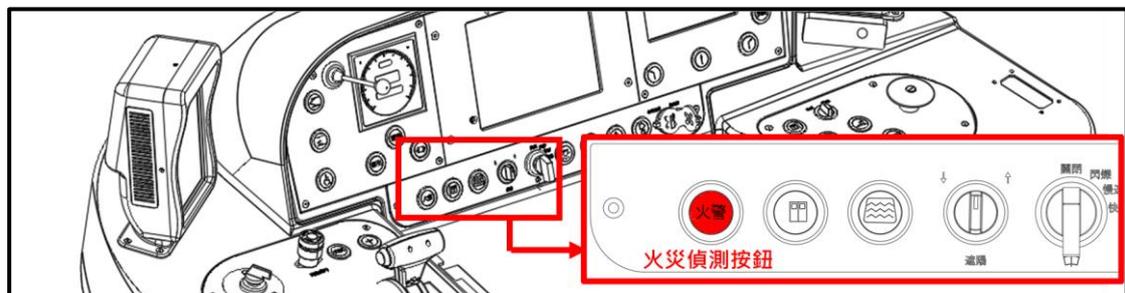


圖 1.12-2 CAF Urbos 3 型列車駕駛室控制面板火災偵測按鈕

滅火設備

CAF Urbos 3 型列車在每節車廂及駕駛室內均配置 ABC 10 型乾粉式滅火器，每列車合計有 7 支滅火器，依各車廂形式不同而有不同的擺放位置（如圖 1.12-3），檢查週期為 3 年。

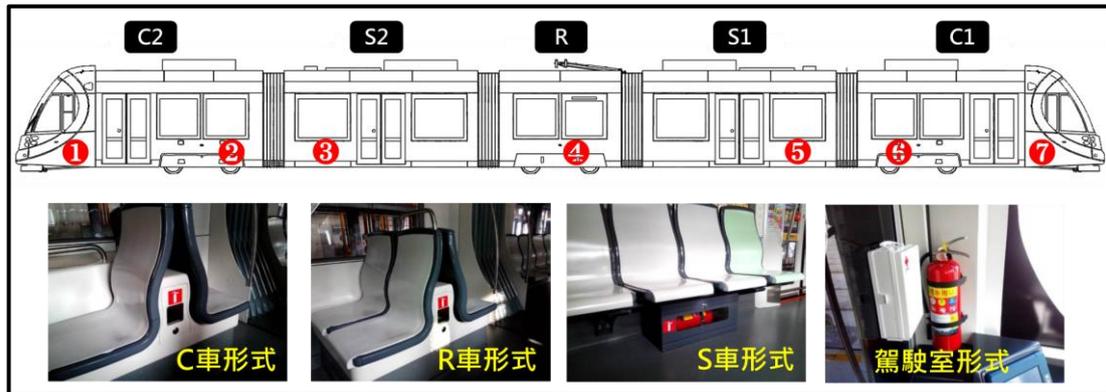


圖 1.12-3 CAF Urbos 3 型列車車上滅火器示意

調查小組於事故當日實際檢視事故 T05 列車車上滅火器，該滅火器經性能檢查日期為民國 107 年 9 月 12 日，下次性能檢查日期為民國 110 年 9 月 12 日（如圖 1.12-4）。



圖 1.12-4 事故當日 T05 列車滅火器檢視

緊急逃生槌、緊急出口裝置

當列車發生火災時，緊急逃生槌與緊急出口裝置，為提供車上人員緊急逃生的設備，實際檢視 CAF Urbos 3 型車上設備，在兩端駕駛

室內及 2 車 (S1 車)、4 車 (S2 車) 無障礙區域車窗旁，各配有 1 支緊急逃生槌；此外列車 8 個車門邊配置有緊急出口裝置 (如圖 1.12-5)，可供列車上人員於緊急狀況發生時使用。

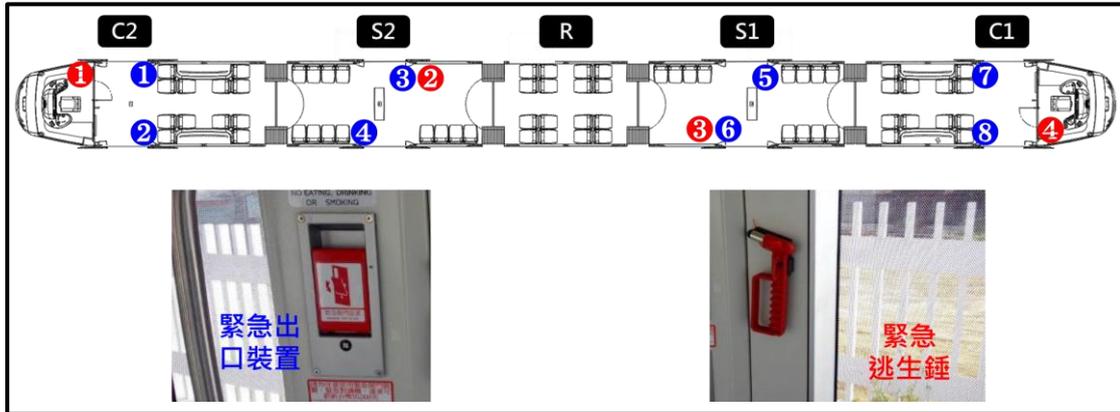


圖 1.12-5 CAF Urbos 3 型列車車上逃生設備示意

1.13 訪談摘要

1.13.1 目擊者 A 訪談紀錄摘要

受訪者為高捷公司員工，事故當日於捷運凱旋站出站後，準備前往輕軌前鎮機廠上班，前往方式可選擇公車或輕軌，而受訪者當天決定搭乘輕軌前往。受訪者記得列車編組為 T05 列車，從第 2 車進入車廂後，看到另一名同事也在車上，那名同事坐在 5 車。

受訪者納悶列車為何比平常停靠時間久，而且為何這麼久還沒發車？後來聽到進入車廂的 2 名高中生亦在討論此事，也看到有人在比車廂外面說有煙霧，於是從車廂內 2 車走到 4 車處，接著走出列車查看，在月台發現到 5 車車頂有冒煙情形，但是煙不是很清楚。

後續行控中心通知司機員清車，車上旅客均已離開，受訪者因當下認為列車有機會可以返回機廠，因此繼續搭此列車前往機廠，但當列車過中山/凱旋路口往凱旋瑞田 (C02) 站時，受訪者發現煙霧越來越大，進 C02 前發現有小火花，有些火星還掉落至地板上，當初並未

預料到煙會變成火，當下立刻找車上的滅火器，受訪者清楚了解每個輕軌車廂都有滅火器。

受訪者到駕駛室拿出滅火器，此時司機員亦將車停下，往車廂地板那些火星噴了 2 次，往車頂處噴了 1 次，受訪者表示滅火器都只有輕壓而已，噴 3 次即將火熄滅。受訪者表示火是在列車由 C03 行駛至 C02 站時才發生，當時動力、燈光均正常，滅火後發現到車頂被燒了一個洞。

1.13.2 目擊者 B 訪談紀錄摘要

受訪者為高捷公司員工，當日上午由駁二蓬萊（C13）站搭乘輕軌前往公司上班，受訪者坐在 5 車，當列車抵達前鎮之星（C03）站時有兩名學生上車，並反映外面正在冒煙，受訪者因搭車時戴著口罩也隱約聞到味道，故走出車門外看，5 車確實有冒煙情況，受訪者想要直接從駕駛室車門跟司機員說明，但當時司機員正在跟行控中心通話，司機員有回頭示意知道，此時發現煙味越來越濃了。

受訪者往後方車廂走時遇到公司同事，並在後方車廂按下旅客通話鈕，但司機員並無回應，推測應是仍在與行控中心對話，故協助車上旅客下車。之後經與司機員共同討論後，決定繼續搭乘列車返回機廠，這時車廂內沒有冒煙只有味道而已。列車繼續往調車場前進大約接近凱旋瑞田（C02）站時，車內開始出現濃煙，之後大約經過 C02 站時看到有火花出現，公司同事立刻去拿取滅火器，當時車上燈光均正常，但有灰燼持續掉落，同事返回後以滅火器滅火。

滅火後發現車頂有一個洞，雖然當時外面下大雨但並未漏水，當時有考慮到列車卡在正線可能會影響後續營運，同事也有詢問司機員剩餘多少電力，後續行控中心給司機的命令是將列車關機。

1.13.3 高捷公司司機員訪談紀錄摘要

受訪者於民國 106 年 12 月進入高捷公司服務，當天擔任首班巡

軌車勤務，由前鎮機廠開往哈瑪星（C14）站，巡軌完畢後折返擔任下行第二班車，受訪者表示早上已進行列車整備，輕軌列車出機廠前都會填寫整備表。

受訪者表示當列車行駛到前鎮之星（C03）站時，發現 ACR 有異狀，電量從 42%跳到 49%，又跳到 76%，又跳到 50%，所以回報行控中心。此時有旅客敲門說有燒焦味，車上也有兩位同事告知有燒焦味，因此馬上回報行控中心，行控中心請受訪者查看狀況，但受訪者發現煙味有點刺鼻，故先請旅客儘速下車，此時有一列上行列車經過亦通報行控中心發現冒煙情形，行控中心指示立刻清車，受訪者則回報已經清車完畢。

隨後行控中心指示移動列車，此時列車速限為 20 公里/時，因此受訪者以 20 之速度行駛，行駛至凱旋瑞田（C02）站時，同事通報說列車正在冒火，受訪者立刻回報行控中心，行控中心則指示立即停車，後來受訪者拿取駕駛室內滅火器交由同事滅火，火勢撲滅後行控中心指示將列車關機。

受訪者表示早上整備時 ACR 充電可達 90%以上沒問題，當列車冒煙時儀表板未顯示異常，因列車在移動中專注軌道及路面狀況，未特別留意到火警燈是否有亮起。

受訪者說明列車將速度限制在 20 公里/時可能的原因為 ACR 異常，ACR 在人機介面上均有圖示，白色表示正常、藍色表示降級、紅色則為異常，若顯示紅色必須回報行控中心，而此時可能伴隨動力不足，因此系統則會限制要求降速行駛。

1.13.4 高捷公司控制長訪談紀錄摘要

受訪者於民國 97 年進入高捷公司，事故當日同仁收到 T05 司機員回報有燒焦味，約 0737 時請司機員前往確認燒焦味產生來源，司機員亦回報 ACR 電量有異狀，依據 SOP 若電量不足 50%則應結束營運，同時亦考量車上有燒焦味，故請司機員執行清車作業。約 0738 司

機員回報人機介面無任何故障訊息，牽引設備仍可移動列車，故指示 T05 車採過站不停模式且不執行充電動作，返回機廠做相關檢修。

約 0740 時列車進入凱旋瑞田 (C02) 站，司機員回報車上有火，故立即請司機員停車嘗試滅火，行控中心同時通報 119，並按照公司內部通報程序進行後續作業。

約 0748 時司機員回報消防人員抵達現場，受訪者說明消防隊後續也有進線到行控中心確認情形，受訪者回報消防隊火勢已撲滅。約 0759 時機廠維修人員準備出發將列車拖救回機廠，救援期間輕軌營運是採局部營運及接駁作業。

受訪者表示當天行控中心 SCADA 系統對於電力設備並無任何告警，也很清楚當列車火災發生時，須依據輕軌列車運轉作業程序的 4.8 章節進行相關處置。由於輕軌列車上的 CCTV 畫面並無回傳行控中心的功能，火災需要靠司機員通報，因此不論當時是否有旅客都一定會停車處理，若有旅客則會先疏散旅客。

1.13.5 高捷公司車輛維修人員訪談紀錄摘要

受訪者在高捷公司的資歷約有 17 年，具有捷運車輛與輕軌車輛的維修經歷，目前主要的業務是在輕軌處執行輕軌車輛維修。輕軌車輛現行定期保養週期區分成 5 種：IS (15 天)、T0 (1.4 萬公里)、P1 (7 萬公里)、P2 (28 萬公里) 及 P3 (56 萬公里)，目前所有輕軌編組行駛公里數約落在 10 多萬公里，定期檢修均已執行到 P1 階段，行駛里程最多的編組約為 17 萬公里。

受訪者說明高捷公司有一套維修資訊管理系統，當設備故障時會透過系統進行登錄並開立工單，有關輕軌車輛的工單會以紙本遞送方式給 CAF 公司保固團隊，維修完畢之工單 CAF 公司再以紙本送回高捷公司辦理結案。

CAF 公司維修完畢之工單，高捷公司後續會派員測試確認，若檢查仍有問題，則將工單退還 CAF 公司。除此之外，輕軌列車每 15 日

會進行一次保養，同時車輛課亦會調閱該車輛已結案的工單做再次確認。而 MMIS 內容包含所有的捷運、輕軌設備，輕軌處車輛課會自行製作控管表，更易於掌握車輛維修紀錄之情形。

依據捷運工程局與 CAF 公司之間的機電規範合約，輕軌車輛可分為 13 大項設備，不同項目有分 5 年特別保固、3 年保固、2 年一般保固，高捷公司會視設備是否還在保固範圍再提送工單。原廠提供的手冊中明訂維修週期，高捷公司將原廠維修手冊轉換為工作說明書，考量中英文在翻譯上有些許落差，高捷公司亦補充實際作業照片置於文字旁，以利同仁於工作時易於理解並可依循。

輕軌處車輛課目前編制 21 人，新進人員會經過 2 星期的課程訓練，接著安排 10 天的適應訓練，由資深人員指導帶領實作。受訪者說明車輛課內每天派工區分為預防檢修及故障檢修兩大類，預防檢修會在前週週四排出，經過主管簽核後維修員即依據排程作業；至於故障檢修則會調閱留用車之現有工單，維修員依據工單進行檢修，若工單屬保固內之設備則轉由 CAF 公司處理。

高捷公司每個月會將故障情形彙整為月報表送交捷運工程局審核，若捷運工程局對內容存有疑義，則會請高捷公司說明。當線上列車發生故障時，高捷公司與捷運工程局間利用 LINE 平台聯繫，若屬重大事故、列車清車等事件，捷運工程局會召開討論會議，甚至直接到現場進行勘查。

受訪者表示 ACR 儲能設備雖然還在保固期限內，但一樣會進行 PM 定期保養，2 次的 IS 週期檢查濾網，每 2 個月的 4IS 週期更換濾網，每 P1 週期 7 萬公里會將 DC-DC 模組進行開蓋檢查，以目視檢查方式確認零組件顏色或外觀有無異狀。此外，維修人員亦會檢測電容狀態，然因 ACR 箱體鑰匙在整個專案中僅有一支，加上仍於保固期間內，故鑰匙由 CAF 公司保管，以致當進行 P1 檢修時須另商借鑰匙。整個輕軌車輛系統僅 ACR 設備較為特別。

關於 ACR 的電感電容濾波器設備，受訪者亦說明民國 107 年 T05

編組的故障情形。當時編組早上整備時，人員發現車頂有冒煙情形，故先將列車關機查修，當時由高捷公司與 CAF 公司會同查修，一開始是發現空調風扇燒損，且自風扇處散發出焦味，當時認為是風扇馬達損壞而進行更換，後來測試時又發生短路現象，持續查修發現車頂 ACR 箱體底部有類似鐵屑散落，遂改用蛇管及內視鏡檢查，發現廂體底部有熔穿小孔，立即通知 CAF 公司打開箱體檢查，才發現為電感電容濾波器燒損。當時因為全車隊僅 T05 編組有這樣的問題，因此當時朝向單一設備瑕疵進行結案。

針對該起事件，高捷公司曾進行技術會報討論，技術會報之主席為副總經理，該會報是公司內部的會議，設備廠商或保固廠商不會出席。因為 ACR 設備都還在保固期間，所以車輛課人員僅能從旁瞭解發生異常的可能情況，並將人員看到的狀況、保固廠商處理經過、後續追蹤方式在會報上報告。

電感電容濾波器為電流與備用電池輸入、出的通道，電流傳至備用電池充電會經過電感電容濾波器做濾波，備用電池僅於備援時使用，平時並不會用到該功能。

ACR 故障不會跳出故障內容，輕微故障 ACR icon 會變藍色，嚴重故障變紅色，此時之應變程序首先為清車，接著即準備收車。高捷公司內部推測，在車輛軟體控制邏輯上，當偵測到短路狀況時，ACR 主接觸器會立即跳開並停止送電，但是備用電池的接觸器部分並未跳開，仍會持續送電，故此次軟體進版即針對這部分進行修正。

CAF 公司輕軌列車使用超級電容設備，在其他國家大多應用於古蹟及古城路段，僅部分路線屬無架空線，因此 CAF 公司在高雄輕軌專案中得到相當大的經驗，車輛軟體也持續修正中，目前已修正到第 15 版。關於軟體進版，高捷公司並不干涉，但會瞭解每次變更的重點，截至目前為止尚未有因變更車輛軟體或設備而導致需要變更 PM 程序的情形發生。

1.13.6 CAF 公司職員 A 訪談紀錄摘要

受訪者目前在 CAF 公司是擔任車輛保固維修等相關業務，在 CAF 公司任職的年資約 5 年。

受訪者表示 ACR 設備尚在保固範圍與期限內，且設備帶電對人員較為危險，因此 CAF 公司仍持有 ACR 箱體鑰匙。受訪者亦表示 ACR 設備即使在保固期內，也需要執行 PM 保養，至於 PM 部分是由高捷公司辦理，內容大多為實施簡易目視檢查與清潔，當 P0 及 P1 等級檢修時須開啟 ACR 箱體，此時高捷公司會和 CAF 公司商借鑰匙，同時 CAF 公司亦會派員會同開啟 ACR 箱體，並由高捷公司檢修。輕軌車輛僅 ACR 設備較為特殊，至於其他設備則無類似狀況。

受訪者表示 CAF 公司和高捷公司間除了有工單往來聯繫外，CAF 車輛保固人員也會和高捷公司車輛課人員進行非例行性的技術討論，自去年（108）年底起捷運工程局開始辦理定期技術會議，在會議中高捷公司會統整設備異常之情況，也會針對異常事件提出討論，並追蹤各項改善案進度。

對於高捷公司所提送之工單，CAF 公司處理完畢後會在上面註記查修時間、執行人員、使用料件、檢修工時等資訊，維修結束後再將工單交還高捷公司，至於高捷公司的內部是如何管制工單結案，CAF 公司並不清楚，但若高捷公司對維修有疑義，或後續仍發現異常時，都可重新開立工單，或用公文方式發給捷運工程局；若工單項目屬保固外設備，CAF 公司會在工單上註明「保固外」，亦會記錄這些額外支出之人力、材料，後續再向捷運工程局請款。

受訪者認為民國 107 年 T05 編組所發生之電感電容濾波器燒損事件，經 CAF 公司檢查後認為是個案，後續修補方式以工單方式向高捷公司回復，當時處置方式即依照既有流程，以工單方式處理後結案；對於今（109）年這次事件，CAF 公司亦已提出完整的修復及改善計畫，也因此次事件較重大，亦提出更完整的報告交予捷運工程局。

輕軌車輛交車後駐廠人力編制為 7 人，包含一位外國技師，但約

在 2 年前外國技師任務結束後，人力就保持在 6 人，除週一至週五的技師區分為早午班外，週末亦安排待命人員，CAF 公司駐廠的任務即為辦理 CM 維修、保證有可用車、車輛故障時在規定時間內處置，以符合契約要求。

CAF 國外原廠會對各專案進行技術支援，也會對全球各地的專案車輛情形進行資訊交流。以本次輕軌車輛事件為例，國外原廠協助將車輛軟體進版，以預防類似事故發生；同時對全球各地的專案車輛進行檢查，調查報告亦會相互分享。此次修正車輛軟體內容為當偵測到電流異常短路時，會強制切開供電，此改版為更新控制模式，因此電路圖並不需要修改。

受訪者表示這次 CAF 國外原廠提供了電感電容濾波器測試報告文件、車輛軟體進版修改單，這些文件世界各地的 CAF 專案都看得到。CAF 公司每個月都會跟西班牙原廠進行電話月報，若現場有較常發生之異常事件，都會在月報中回報，同時會對各設備進行故障統計，若西班牙原廠認為故障統計有偏高的情形，會要求進一步檢視相關工單內容。

CAF 公司在本次事故後調整了 PM 檢查項目，在年檢時增加對電感電容濾波器量測絕緣值，在原本的保固條件及範圍並未有進一步的變動。CAF 公司對於 PM 檢查增加的部分，後續會提出一完整的程序送交高捷公司，因為調整 PM 內容涉及高捷公司跟捷運工程局原有之保養合約，雙方將再進一步討論。

1.13.7 CAF 公司職員 B 訪談紀錄摘要

受訪者目前在 CAF 公司負責合約管理業務，在 CAF 公司的資歷約有 6 年。輕軌車輛的維修機制可以分為兩種類型，一種是 CM（矯正維修）由 CAF 公司負責，而 CM 矯正維修是屬原合約「高雄環狀輕軌捷運建設（第一階段）統包工程」之保固責任內容，故車輛部分設備 CAF 公司仍有保固責任；另一種維修 PM（預防保養）則由捷運

工程局與高捷公司間另行以合約處理。

受訪者說明輕軌車輛 CM 維修流程為：當輕軌車輛有故障或瑕疵情形，高捷公司會開立工單，並將工單直接交送同在前鎮機廠內的 CAF 公司同仁，CAF 公司會依據工單內容執行維修，這是基本的流程與做法。

至於輕軌車輛的 ACR 設備，CAF 未特別簽訂 PM 合約，因此 ACR 設備預防保養工作屬於高捷公司負責，正確來說所有車輛設備 PM 均由高捷公司處理。根據受訪者的瞭解，國內尚未有任何一間車輛廠商協助高捷公司執行 PM 業務。

受訪者表示 CAF 公司與捷運工程局之間，每個月均召開一次系統缺失討論會議，會議中針對系統重大故障進行檢討，這是 CAF 公司、捷運工程局及高捷公司之間固定的聯繫方式。

對於輕軌車輛設備上有重大異常事件，如本次的 ACR 設備故障，亦以開立工單之方式及流程來進行維修，不論異常情形大小，都是依據工單機制進行處置，做法均相同。但若屬過保固期之設備，CAF 公司會在工單上註記後退回高捷公司。

由於 ACR 設備仍在 CAF 公司認定之保固期內，在合約中亦明定儲能裝置 5 年保固，CAF 公司有合約責任，因此此次事件發生後，CAF 公司立即跟國外原廠進行聯繫執行修復，而針對這次事件高捷公司一樣開立工單，並由 CAF 公司處理後結案，若後續仍有問題，高捷公司均可針對該項設備再次開立工單。輕軌車輛中之不同設備有不同的保固期差異，分別為 2、3 及 5 年，這些在合約中已明訂清楚。

CAF 公司在輕軌營運前依照合約須提供維修手冊予捷運工程局，而捷運工程局後續會進行文件審查，CAF 公司還要針對審查意見進行回復並重新進版，捷運工程局有 PCM（專案管理顧問）協助審查文件，直到審查確認後捷運工程局再將維修手冊移交高捷公司。受訪者認為捷運工程局屬於公務單位，人力資源配置沒有那麼充分，因此在捷運工程初期，會和民間工程顧問公司簽訂 PCM 契約。

在維修實務上也會因應現場作業進行調整，例如 ACR 設備建議至少要每週升弓充電，此部分在維修手冊上並未載明，後續將再以口頭或 E-mail 方式通知高捷公司。此外，輕軌車輛在交車前均會辦理司機員、維修人員專業訓練，CAF 公司須先提出訓練計畫及手冊予捷運工程局審查，經審查核可後 CAF 公司才會對高捷公司實施訓練。

受訪者認為 CAF 公司依據工程進度目前已進入保固期，現行幾乎亦無需要提送任何審查文件，目前 CAF 公司的合約責任大部分剩工單維修。CAF 原廠會有不定期之全球車隊升級計畫，原廠會視全球各地車輛之運作情形，進行瑕疵或材料升級，這都不屬於既有合約部分，但因 CAF 公司為國際性廠商，故保固團隊仍有不定期的專案升級計畫，並於與捷運工程局、高捷公司的每月定期會議中報告相關升級計畫內容。

針對無架空線具備儲能設備的輕軌列車，受訪者補充說明 CAF 原廠在國外有實際案例，在西班牙當地也有使用超級電容設備列車之專案，若非有這些國外實績與經驗，當時 CAF 公司則無法於高雄輕軌案得標。

1.13.8 捷運工程局職員 A 訪談紀錄摘要

受訪者在高雄市政府捷運工程局承辦機電系統業務，捷運工程局內對於號誌、車輛、供電、AFC 等設備均屬機電系統科管轄，而受訪者在捷運工程局已有將近 20 年資歷。

針對輕軌各項系統設備，捷運工程局會透過每個月召開之「近期輕軌一階統包工程機電系統故障設備之問題釐清與改善措施會議」與營運單位、廠商間保持業務聯繫，會議上討論各種待解決問題及各項設備精進方式，至民國 109 年 10 月止，共已召開 11 次會議。

捷運工程局每年給付高捷公司勞務委託費用、維修所需費用以維持輕軌營運，並透過年度對高捷公司之稽查，來確認高捷公司是否依照合約履行營運業務之情形。當捷運或輕軌系統發生重大事故或有清

車情形時，高捷公司會以簡訊方式通報捷運工程局，通常會在隔天即召開檢討會議。

當輕軌車輛有故障問題時，高捷公司會開立工單送交 CAF 公司，CAF 檢視工單內容，若在保固範圍內之設備將進行維修，維修完畢後工單遞回高捷公司辦理結案。至於不在保固範圍的設備，高捷公司須自行維修。由於輕軌列車營運是持續不間斷的，若工單流程須經高捷公司函轉捷運工程局，經捷運工程局審核後再轉給 CAF 公司，這樣一來將直接影響整體營運。

受訪者表示如果設備仍在保固期，CAF 公司須負責修復，以此次事件來說，捷運工程局會請 CAF 公司提出完整的修復計畫，只要是 CAF 在保固期內所做的專案、各種程序等，均會要求列表並送至捷運工程局備查。

受訪者說明民國 107 年 T05 編組電感電容濾波器燒損事件，當時 CAF 公司原本認為燒損是屬於不當使用造成，後來進一步判斷後認為屬於個案因素，接著才完成修復。

1.13.9 捷運工程局職員 B 訪談紀錄摘要

受訪者在捷運工程局資歷約有 8 年，曾經辦理過捷運用地取得、工程管理等業務，目前主要是負責高捷公司營運、管理及合約的相關業務。目前高雄捷運紅橘線是以 BOT 方式營運，至於高雄輕軌則是由捷運工程局自辦，再以招標合約的方式找廠商營運，現行負責營運的高雄捷運股份有限公司屬於民營公司，與其他縣市捷運公司屬公營公司在性質上有所不同。

捷運工程局與高捷公司間的營運合約自 109 年起開始設定 KPI 指標，包含運量、準點率、查票率、收入、事故率等指標，以評定高捷公司在營運上的績效。

捷運工程局與高捷公司成立了工作群組，相關主管均在群組內，當線上發生車禍或清車等事故，均可從群組中得知，若主管認為高捷

公司在處理上有瑕疵或有疑慮，甚至認為 SOP 有需要檢討之處，將召開會議要求高捷公司說明，若涉及設備相關問題亦會請 CAF 公司到會說明，會議中會討論處理方式、SOP 等改善精進方式。

高捷公司每個月均會提送月報予捷運工程局審查，月報內容包括當月進行之維修項目、營運狀況、參加會議會勘、辦理活動等彙整資料，捷運工程局會分送各科進行審查，若無問題則同意核備。而高捷公司提送月報予捷運工程局乃依據合約規定辦理，與依據法規提送予交通局資料的模式不同。

受訪者彙整說明捷運工程局可以督考高捷公司的機制，除了事故後的檢討會議外，亦可透過每個月月報審核方式對高捷公司進行督考，若屬於設備系統問題，捷運工程局每個月均有定期「近期輕軌一階統包工程機電系統故障設備之問題釐清與改善措施會議」，由副總工程司主持，會議有列管追蹤機制，針對會議決議事項都必須經過高捷公司或廠商回復審核後方能結案。捷運工程局內亦有一個督導小組，每半年會對高捷公司實施一次督導作業。

高雄市政府交通局為捷運監理的主管機關，每年會到高捷公司實施定期檢查，交通局亦會請捷運工程局陪同檢查，有時亦請局內專業人員擔任檢查委員。民國 100 年以前的捷運監理業務是由捷運工程局負責，之後統一由交通局辦理。

1.13.10 交通局職員訪談紀錄摘要

受訪者為高雄市政府交通局職員，在交通局已任職約 13 年，負責的業務含括捷運、輕軌、輪船公司的監理業務。

受訪者說明目前高雄輕軌因捷運工程局尚未把 BOT 權限移轉給高捷公司，所以捷運工程局仍有營運權，只是再以勞務委託方式交由高捷公司經營，關於輕軌營運的盈虧均由捷運工程局承擔。受訪者認為捷運工程局是輕軌的營運機關，高捷公司是代為管理的營運機構，因此高捷公司若有票價調整計畫，仍需透過捷運工程局提報予市府，

再由交通局核備或進行審查。

交通局對於高捷公司每年實施一次定期檢查，每三個月實施季報審查，當高捷公司發生事故、媒體關切議題或有旅客清車情形時，高捷公司會先以簡訊方式通報交通局與捷運工程局，此外市府亦有建立群組，同時在群組內發布相關訊息。若為較嚴重的大型事故，高捷公司會優先以電話通知交通局與捷運工程局，在運安會成立之前均採取此通報機制。

高捷公司依據「災害防救法」會制定災害防救業務計畫及緊急應變計畫，並送至交通局備查，當事故發生後，高捷公司必須依此執行後續之緊急應變，受訪者認為交通局與高捷公司之間的聯繫與溝通情形順暢無礙。

受訪者也提到，交通局若要對事故處理作為進行後續追蹤，可請高捷公司於7天內提報事故原因、應變處理情形及改善作為等說明；若有需要定期追蹤的議題，會在季報審查時再請高捷公司提出說明；或於年度定期檢查中加強該項議題；如有特殊重大事件，交通局還可依照「大眾捷運系統經營維護與安全監督實施辦法」實施臨時檢查，這些都是交通局可採取的監理措施。

關於年度定期檢查分為營運財務、設備維護及行車安全三組，交通局會外聘專家學者、工務局、捷運工程局及消防局等市府單位共同擔任檢查委員，進一步實施文件審查及現場勘查。若有檢查到缺失項目，將分為限期改善事項、一般改善事項及後續建議改善事項，被列為限期改善之項目須經委員同意方能解除列管，其餘項目由交通局管考高捷公司是否依照委員意見完成改善，並經過審查後解除列管，最後會將定期檢查成果函送交通部備查。

高捷公司每個月會提報營運事故月報表，交通局亦會於季報審查時，針對營運情形是否符合當初提報的服務水準指標，如事故率、傷亡率、發車率、準點率等指標進行審查，並將結果函送交通部備查。

1.14 其他

1.14.1 107 年電感電容濾波器燒損事故處置說明

經查閱 T05 列車故障維修履歷，發現在民國 107 年時曾於輕軌前鎮機廠內發生類似電感電容濾波器燒損之情事，且相同位於 055 車車頂 ACR 設備箱內。對於當時的處置資訊，還保留有工單（詳附錄 4）、相片（如圖 1.14-1、圖 1.14-2）等資料可供參考，惟在修復工法及修復成果上，則未有詳細紀錄可供查證。



圖 1.14-1 民國 107 年電感電容濾波器燒損相片-1



圖 1.14-2 民國 107 年電感電容濾波器燒損相片-2

當年事故發生後，CAF 公司更換一組電感電容濾波器新品，經調查小組將本次 055 車燒損之電感電容濾波器（民國 107 年更換之新品）與 051 車既有之電感電容濾波器（未受損之舊品）取出進行比對，發現新舊品因製造廠商不同，而在設備組裝上有些許差異（如圖 1.14-3）。相較於電容濾波器舊品，新品除新增放電電阻外，在組裝堆疊方式及螺絲類型上亦有不同。經 CAF 公司補充說明，此乃因舊品製造商 REIM 公司歇業，新品由 EREMU 公司所生產製造所致，兩者技術規格均相同，僅新品增設放電電阻，並提供新舊品之廠測報告書（詳附錄 5）。

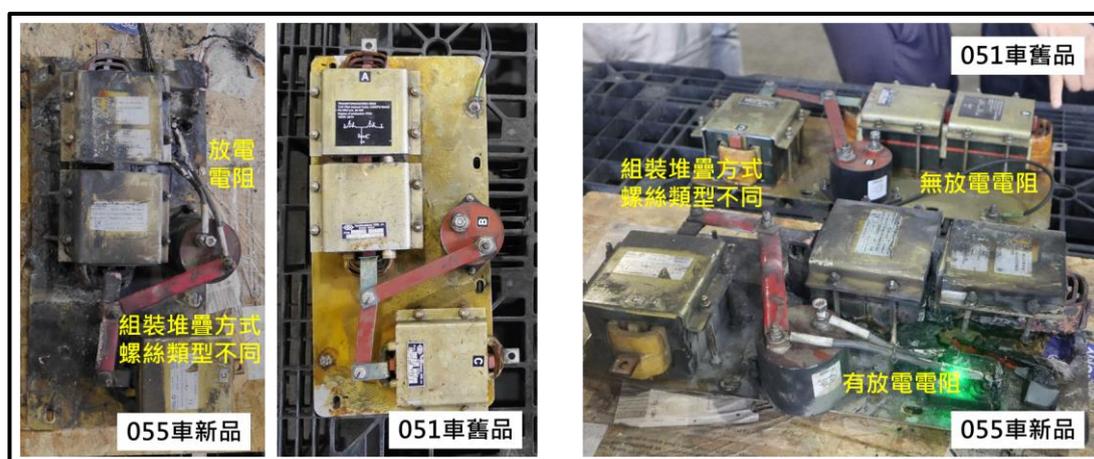


圖 1.14-3 電感電容濾波器新舊品比較示意圖

當次電感電容濾波器燒損，有造成 ACR 設備箱箱體燒熔產生破孔，當時 CAF 公司維修人員是採填縫用 SIKA265 作為修復材料，惟維修填補後的成果，未留有相關照片資料可供參考。

高捷公司針對民國 107 年該起案件，乃依循既有之 CM 流程，透過開立工單方式，將保固範圍內的故障設備轉送 CAF 公司處理。高捷公司內部亦曾針對該起案件於當年 9 月 10 日及 11 月 16 日分別召開兩次「高雄輕軌技術會報」進行討論，但因高捷公司並非直接參與該項修復作業，因此在會議中僅能就 CAF 公司修復進度及修復項目進行探討，並從側面來分析事故發生的可能原因。

依照「高雄環狀輕軌捷運建設（第一階段）營運管理、維修委託服務案第 2 次後續擴充契約書」肆、作業說明一五、維修工作基本需求中，高捷公司應在每月提送捷運工程局的工作月報中，彙整說明當月份設備故障及維修執行情況，經檢視當月份之工作月報內容，該起案件有列入並提送捷運工程局，惟僅有對當下處置進行說明，關於後續列車維修程序及故障原因則未提及（詳附錄 6）。

捷運工程局針對該起案件無特別追蹤或處置，當時捷運工程局、高捷公司與廠商三方之間，並未有定期的工作會議，對於該次事件發生輕軌機廠內，未影響營運，定調屬瑕疵個案，經既有工單程序修復後結案。

另依照大眾捷運法第三十九條規定，交通局每個月將會收到高捷公司所提報之「營運路段事故月報」，檢視當月份之事故月報內容，該起案件並未列入，乃因當時案件發生在輕軌機廠內，T05 列車尚未進入正線營運，故非屬於營運中所發生之事故。

1.14.2 事件序

將本次事故的時序列表 1.14-1 所示。

表 1.14-1 事故時序表

時間 ¹⁰	運轉過程
0710:02	T05 列車自哈瑪星 (C14) 站出發載客，為當日下午第 2 班列車。
0734:11	T05 列車自凱旋中華 (C04) 站開車。
0735:16	T05 列車抵達前鎮之星 (C03) 站，車頂開始有煙霧冒出。
0735:41	T05 列車司機員回報行控中心，該列車儲能裝置有

¹⁰ 本表所列時間，均為校時後之時間。

	充電異常情形。
0736:52	T05 列車司機員回報行控中心，車廂內有燒焦味。
0737:08	行控中心授權 T05 列車司機員離開駕駛室確認。
0737:35	上行 T08 列車回報行控中心，前鎮之星（C03）站內列車上有煙。
0737:59	T05 列車司機員回報行控中心，已執行清車作業。
0738:31	行控中心指示 T05 列車執行降弓至籬仔內（C01）下行。
0739:15	T05 列車於前鎮之星（C03）站開車。
0741:06	T05 列車車廂有煙霧散出及火花、金屬熔塊掉落。
0741:17	T05 列車回報行控中心車廂內著火。
0741:22	T05 列車車廂煙霧偵測器作動。
0741:43	行控中心指示 T05 列車先行停車。
0741:49	T05 列車停於凱旋瑞田（C02）站內。
0744:04	行控中心指示 T05 列車執行關機。
0750	地方消防單位到達現場。
0805	地方消防單位離開現場。
0807	工程車抵達現場。
0819	工程車將 T05 列車拖救離開現場。

附錄 1 本案通聯抄件

發話單位：控制員 A、控制員 B、02 車司機員、04 車司機員、05 車司機員、06 車司機員、08 車司機員

備註：通聯抄件時間均為校正後時間（-7 sec）

編號	時間	發話單位	發話內容
1	0735:41	05 車司機員	前鎮下行 105 車呼叫交控 目前 ACR 剛才充電至 49%無法往上充 目前又回充至 50% OVER
2	0735:59	控制員 A	交控收到 與前鎮下行 105 車確認 ACR 充至 49%後自動降弓 是否正確 OVER
3	0736:10	05 車司機員	05 車回復交控 列車沒有自動降弓 那從 49%又跳到 76% 目前又跳回 50% OVER
4	0736:24	控制員 A	交控收到 49%後跳至 79% 目前又跳回 50% 稍後確認載客完畢 可發車
5	0736:43	控制員 A	交控更正 稍後籬仔內下行執行清車收車作業 OVER
6	0736:52	05 車司機員	05 車與交控回報 目前車內有旅客反映說車廂內有燒焦味 OVER
7	0737:08	控制員 A	交控收到 授權 05 車司機員進入車廂 確認燒焦味來源 OVER
8	0737:20	05 車司機員	05 車收到 至車廂內查看燒焦位置 OVER
9	0737:29	控制員 A	交控回復正確 通話完畢
10	0737:35	08 車司機員	08 車告知交控 目前看前鎮站車上有煙
11	0737:44	控制員 A	交控收到 車內有煙 車上方有

			煙 請 05 車 05 車執行清車作業 OVER
12	0737:56	05 車司機員	(雜訊)
13	0737:59	05 車司機員	05 車與交控確認 目前已先將車 上人員先趕至下車 OVER
14	0738:10	控制員 A	交控收到 確認已完成清車作業 是否正確 OVER
15	0738:17	05 車司機員	05 車收到 已完成清車作業 目 前有公司 2 名員工正在車內 OVER
16	0738:31	控制員 A	交控 確認 請公司人員皆下車 司機員清車完畢立即降弓返回籬 仔內下行 OVER
17	0738:53	05 車司機員	05 車收到 將立即降弓返回機廠 請交控重新送出 S022 通話完畢
18	0739:06	控制員 A	交控與 05 車確認 完成清車作業 是否已確認車內已完全無旅客 OVER
19	0739:21	05 車司機員	05 車確認 目前車內沒有那個 沒有旅客 OVER
20	0739:32	控制員 A	(雜訊)
21	0739:36	控制員 A	交控收到 告知 05 車沿途過站不 停 不要執行充電 留意 ACR 電 量 抵達籬仔內下行回報 OVER
22	0739:49	05 車司機員	05 車收到 過站不停 抵達籬仔 內下行並與交控回報 目前限速 只有 20 OVER
23	0740:01	控制員 A	交控收到 20 公里繼續移動列車 並與 05 車確認剛才清車人數大約 幾人 OVER
24	0740:09	06 車司機員	軟體下行 06 車呼叫交控 S044 號 誌目前無作動 (不清楚)

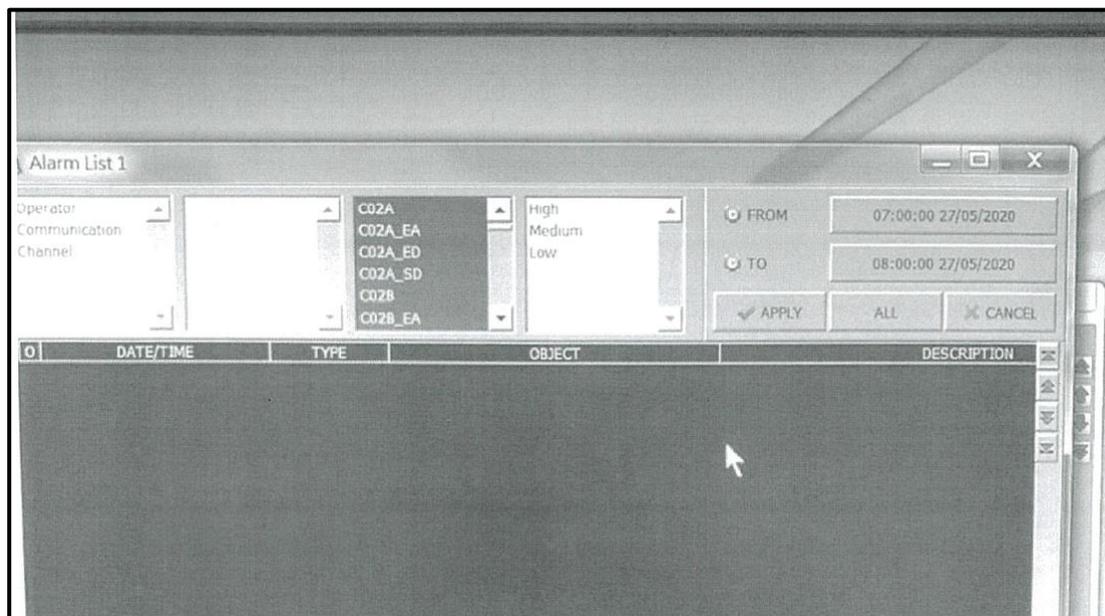
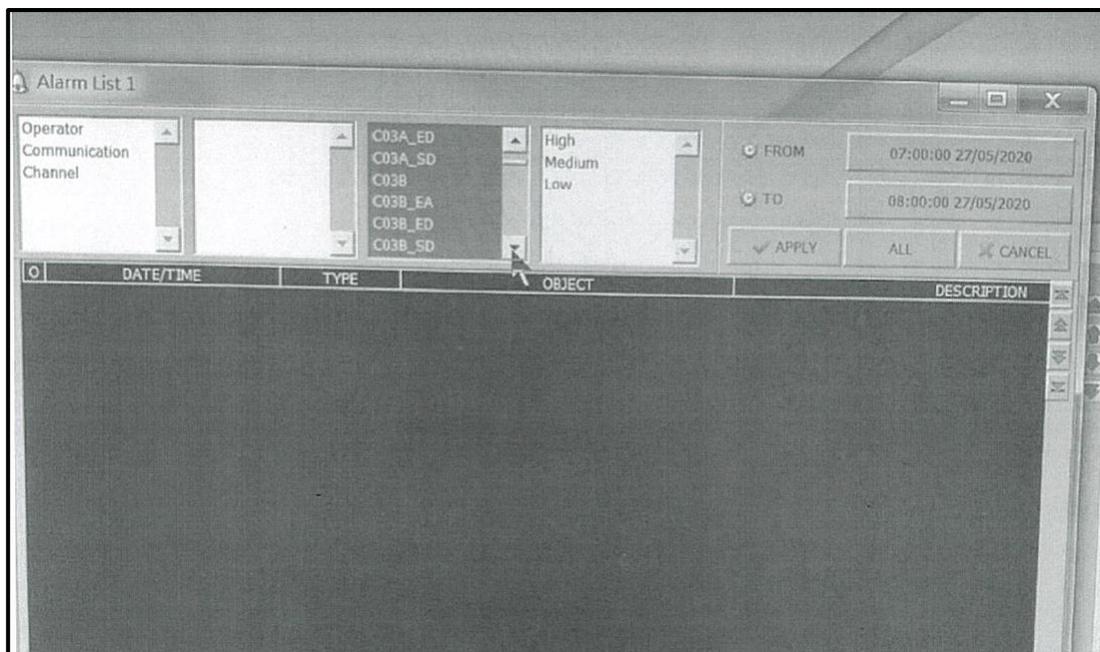
			OVER
25	0740:14	05 車司機員	05 車回報交控 約為 6 人 OVER
26	0740:21	控制員 B	交控收到 約為 6 人 通話完畢
27	0740:24	控制員 A	S044 送出 通話完畢
28	0740:28	05 車司機員	05 車請交控設定路徑至籬仔內下行 OVER
29	0740:32	控制員 A	交控呼叫 021 025 車 OVER
30	0740:33	控制員 B	交控收到 稍後依號誌行駛 通話完畢
31	0740:54	02 車司機員	駐車區 5-3 軌 021 025 車與交控回報 完成發車前準備 確認前方人員均淨空 將授權移動至 5-3 軌 OVER
32	0741:13	控制員 A	交控收到 021 025 車 確認前方淨空 ESD014 架空線模式
33	0741:17	05 車司機員	05 車告知交控 目前車內已著火 OVER
34	0741:28	05 車司機員	(雜訊)
35	0741:31	05 車司機員	05 車與交控確認是否還要繼續行駛 OVER
36	0741:41	控制員 B	(無聲音)
37	0741:43	控制員 B	交控請 05 車先停車 OVER
38	0741:48	控制員 A	交控告知 021 025 車確認前方淨空後 ESD014 架空線模式 洗車連結速限 留意軌道狀況轉轍器方位 (不清楚) 輕軌 SD 後方停止回報 OVER
39	0741:49	05 車司機員	05 車收到 將立即停車 通話完畢
40	0741:52	控制員 B	交控請司機員下車查看狀況回報 OVER
41	0742:01	02 車司機員	021 025 車收到 將依前方 ESD014 (不清楚) 連結速限行駛

			留意軌道方向及轉轍器方位 停妥輕軌 SD 段後方停止之前回報 OVER
42	0742:16	控制員 A	正確 通話完畢
43	0742:24	控制員 A	交控呼叫 06 車及 04 車各站多停等 3 分鐘 06 車於前鎮下行回報 OVER
44	0742:34	06 車司機員	06 車收到 後續各站多停等 3 分鐘再行發車 於前鎮下行回報 OVER
45	0742:42	控制員 B	(無聲音)
46	0742:45	控制員 A	(無聲音)
47	0742:45	04 車司機員	04 車收到 各站多停等 3 分鐘通話完畢
48	0742:57	05 車司機員	05 車呼叫交控 目前火勢已撲滅 是否繼續移動列車 OVER
49	0743:06	控制員 A	交控與 T05 車確認 是什麼東西在起火 OVER
50	0743:13	05 車司機員	05 車與交控回報 目前 055 看已 用滅火器撲滅
51	0743:24	控制員 A	(雜訊)
52	0743:34	控制員 A	交控請 05 車先行原地待命不要移動列車 確認 ACR 電量目前多少 OVER
53	0743:38	控制員 B	(雜訊)
54	0743:40	控制員 B	交控呼叫 06 車 請各站無需多停等 OVER
55	0743:41	05 車司機員	05 車與交控回報 目前 ACR 電量 16% 不移動列車是否正確 OVER
56	0743:48	06 車司機員	06 車收到 各站無需多停等 載客完畢即可發車 通話完畢
57	0743:54	控制員 B	交控補充 06 車停妥前鎮下行回報

			通話完畢
58	0744:04	控制員 A	交控請 05 車立即執行關機作業 OVER
59	0744:11	05 車司機員	05 車收到 立即執行關機作業 通話完畢
60	0744:28	控制員 B	交控呼叫 06 車 請停妥中華下行 回報 OVER
61	0744:35	06 車司機員	06 車收到 稍後停妥中華下行回 報 通話完畢
62	0744:38	05 車司機員	05 車與交控回報 目前已完成關 機 OVER
63	0744:45	控制員 A	交控收到 已完成關機作業 請 先原地待命 稍後將有人員抵達 通話完畢
64	0745:16	控制員 A	交控呼叫 05 車 與 05 車確認起 火源是什麼 OVER
65	0745:29	05 車司機員	05 車與交控回報 目前為 055 它 的 ACR 著火 OVER
66	0745:38	控制員 A	交控收到 055 CAR ACR 車頂上 方著火是否正確 OVER
67	0745:43	06 車司機員	夢時代下行端列車呼叫交控 目 前(不清楚)路口號誌正常 但現 在前方有一個 鐵 石塊 請
68	0745:47	05 車司機員	05 車回復正確 OVER
69	0745:55	控制員 A	交控收到 先原地待命 通話完 畢

(以下空白)

附錄 2 事故當日行控中心 SCADA 紀錄



附錄 3 火災委託鑑定報告 (摘錄)

國家運輸調查委員會委託鑑定 高雄捷運車廂火燒事故說明書



受委託單位: 明志科技大學機械工程系

鑑定人: [REDACTED]

中華民國一〇九年十二月九日

燒時溫度達 650°C。

4. 由金相報告指出，從試片 P2(熔珠)可看到鑄造組織，證明材料溫度曾到達 1084.5°C 以上，證明箱內溫度曾有高溫存在。根據文獻指出，水的加入使銅線爆炸可以應用萊頓弗羅斯特效應(Leidenfrost phenomenon)之物理現象解釋，水在極高溫下(1084.5°C 以上)可在金屬表面形成蒸氣層，隔絕了水與金屬接觸，並創造了高溫高壓環境使金屬繼續升溫加熱(短路)，在高溫與高壓環境達到極限後產生爆炸現象[4]。鑄造組織需將材料加熱於液態後，緩慢冷卻而形成之組織，推斷為爆炸後形成(爆炸使箱體炸開，無水冷卻熔珠)[2]之金屬殘留物。
5. 綜合上論，應可推論出本事故意外應與高壓電池箱內部有水分侵入所導致電感濾波器銅質線圈之爆裂，而形成水分侵入高壓電池箱內部之原因，應可歸責於 107 年所發生電感濾波器之異常高溫損壞致使高壓電池箱底部高溫燒破有其相對因果關係；另造成本次事故之原因是因電感濾波器本身設計存在有瑕疵性，或是因高壓電池箱底部損壞破洞後，產生水分侵入使得電感濾波器之銅質線圈於作動時，產生短路並引發高溫之情形，於目前相關跡證上無法明確判斷，建議應進行追朔至 107 年之意外事故時，其電感濾波器之設計與零組件之建置狀態與此次意外之電感濾波器型式，加以分析與比對，才能完整還原事故之真相。

● 萊頓弗羅斯特效應(Leidenfrost phenomenon)

把水滴落在滾燙的鐵板上，假若鐵板的溫度僅高於水的沸點（100°C），水會發出嘶嘶聲並迅速沸騰。但當鐵板到達萊頓弗羅斯特點（Leidenfrost point）時，水便會產生萊頓弗羅斯特現象。水珠會在鐵板四處滾動，並緩慢地逐漸蒸發，反而令水珠可以存活更久。在萊頓弗羅斯特現象下，水珠中跟鐵板接觸的部分會迅速沸騰形成水蒸氣，與此同時水珠尚保持液體的狀態，由於水蒸氣的傳熱比液體水慢得多，蒸氣層阻隔水直接接觸滾燙鐵板並大大降低水滴沸騰的速度。銅金屬在實驗箱內之水的環境中(如圖 14)，因通電過程中造成短路，致使銅線異常加熱之過程，水會瞬間汽化形成蒸氣層，應用理想氣體方程式，“ $PV = nRT$ ”水在箱內為密閉空間時，

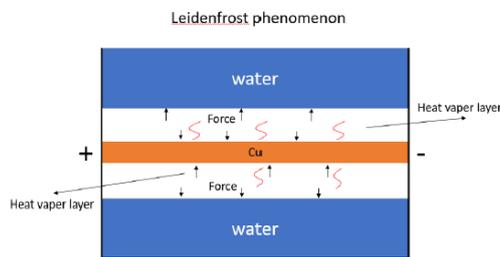


圖 14 模擬水在高溫爆炸

氣體因體積增長受到水性水的限制，體積(V)不變，水蒸氣的數量和溫度(T)的升高導致銅線周圍的壓力(P)升高至極限後發生爆炸。例如:市面上聲譽卓著水不沾黏之不沾鍋，其實每個鍋子都能做到，因萊頓弗羅斯特效應。

參考文獻

- [1]Abdulla I. Almazrouee, Khaled J. Al-Fadhalah, Saleh N. Alhajeri, “Microstructure and microhardness of OFHC copper processed by highpressure torsion”, Materials Science & Engineering A, 2015, P21~28.
- [2]ASM Handbook, Metallography and Micro- structures, Volume 9, 2004.P775~788
- [3]李勝隆，金屬熱處理原理與應用，全華圖書股份有限公司，2018.9，P10-2~10-17
- [4] Chucai Peng、Jinxiang Wang、Nan Zhou、Guilei Sun, Fabrication of nanopowders by electrical explosion of a copper wire in water, Current Applied Physics, 2016, P284~287。

中華民國一〇九年十二月九日

(以下空白)……

附錄 4 民國 107 年電感電容濾波器燒損 CM 工單

高雄捷運股份有限公司					
維修工單-故障檢修(CM Work Order)				FM-L11-L100301-00	
工單序號: C10708280186		工單編號: LRV0C10708146			
FR Serial No:		Work Order No:			
報修階段	系統名稱: (System) LRV	設備標示編號: (Equip. Tag No) LRV-055-EJ0-A10.301	設備標示名稱: (Equip. Name) 1 DC-DC module		
	故障描述: (Failure Description) 設備故障、損壞-055 DC/DC模組燒毀。		立案日期/時間: (Fault Report Date & Time) 107/08/28 - 1526	報修等級: (Priority) <input type="checkbox"/> 緊急 <input type="checkbox"/> 重要 <input checked="" type="checkbox"/> 一般	
			報修單位/報修人/電話: (Originator) [Redacted]		
派工規劃階段	執行分類: <input type="checkbox"/> 自辦 <input checked="" type="checkbox"/> 協力 <input type="checkbox"/> 外包	現場工作負責人: (Person in charge) [Redacted]	預計施工日期: (Plan Start Date) 107/08/28	高捷維修單位: (KRTC Dept) 輕軌處高雄輕軌中心車輛課	派工人: (Assigned By) [Redacted]
	保固: (Warranty) <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	承商: (System Supplier) CAF	所需安全衛生作業項目: 含已完成危險性評估者作業申請評估表 (FM-S11-09003) 之申請 <input type="checkbox"/> 動火管制區內之動火作業 <input type="checkbox"/> 高架作業 <input type="checkbox"/> 局限空間/缺氧作業 <input type="checkbox"/> 高壓活線作業 <input type="checkbox"/> 其他作業 <input checked="" type="checkbox"/> 一般安全衛生作業 <input type="checkbox"/> 消防隔離 <input type="checkbox"/> 吊掛作業 <input type="checkbox"/> 電氣設備斷電掛卡 <input type="checkbox"/> 三軌斷電 <input type="checkbox"/> 架設短路夾		
	維修外包/協力商: (Maintenance Contractor) 西班牙菲夫夫交通運輸股份有限公司台分公司 <input type="checkbox"/> 本項N/A	通知包商日期/時間: (Date/Time to Notify the Contractor) 107/08/28 - 0900 <input type="checkbox"/> 本項N/A	高捷業務聯絡人: (KRTC Coordinator) <input checked="" type="checkbox"/> 本項N/A	高風險申請: (High Risk Task) <input type="checkbox"/> 是(Y) <input checked="" type="checkbox"/> 否(N)	特殊危害作業申請: (Hazardous Task) <input type="checkbox"/> 是(Y) <input checked="" type="checkbox"/> 否(N)
完工驗收階段	維修處理情形: (Corrective Action) 更換變壓器 - 2018 Transformer x1		用料說明或領料單編號: (Faulty Part) <input checked="" type="checkbox"/> 本項N/A		
	實際施工日期/時間: (Actual Start Date & Time) 2018.8.28	實際完工日期/時間: (Completion Date & Time) 2018.10.16	維修外包/協力人員: (Contractor Completed by) CAF [Redacted] <input type="checkbox"/> 本項N/A	自有 人力 (In house) <input type="checkbox"/> 本項N/A	工作人員數: (Staff Qty) 1 實際維修工時: (Total Man hour) 0.5 時
	儀器編號: (Instrument No) <input checked="" type="checkbox"/> 本項N/A		外包/協力 人力 (Out Sourcing) <input type="checkbox"/> 本項N/A	工作人員數: (Staff Qty) 2 實際維修工時: (Total Man hour) 2 時	
結案階段	高捷維修人員: (KRTC) [Redacted]	高捷結案核准人員: (KRTC Closed out & Approved) [Redacted]	證明人及完工確認: (Operation Acceptance) <input type="checkbox"/> 現場確認 證明人/日期: N/A		
	附註: (Remark) 列印時工單狀態: 已派工 10/16: 2 PPS* > Hrs		<input type="checkbox"/> 電話通知 被通知人: 通知日期:		
<input type="checkbox"/> 本項N/A					

SP-L11-L1003

附錄 5 電感電容濾波器舊、新品廠測報告

TRANSFORMADORES REIM **舊品**

Nº fabricacion: 37453

Reactancia (mH): 0,15

Inominal (Acc): 133

Ensayos realizados a 50 hz

V	Arms	Cte A	Arms totales	Apico	W	Cte W	Z(ohm)	R(ohm)	X(ohm)	L(mH)
1,448	1	30	30	42,4	0,16	30	0,04827	0,00533	0,04797	0,1527
2,182	1,5	30	45	63,6	0,36	30	0,04849	0,00533	0,04819	0,1534
2,913	2	30	60	84,9	0,63	30	0,04855	0,00525	0,04827	0,1536
3,634	2,5	30	75	106,1	0,99	30	0,04845	0,00528	0,04816	0,1533
4,354	3	30	90	127,3	1,41	30	0,04838	0,00522	0,04810	0,1531
5,075	3,5	30	105	148,5	1,92	30	0,04833	0,00522	0,04805	0,1529
5,805	4	30	120	169,7	2,52	30	0,04838	0,00525	0,04809	0,1531
6,506	4,5	30	135	190,9	3,22	30	0,04819	0,00530	0,04790	0,1525
7,173	5	30	150	212,1	3,93	30	0,04782	0,00524	0,04753	0,1513
7,504	5,2	30	156	220,6	4,21	30	0,04810	0,00519	0,04782	0,1522
7,789	5,5	30	165	233,3	4,76	30	0,04721	0,00525	0,04691	0,1493
8,279	6	30	180	254,6	5,7	30	0,04599	0,00528	0,04569	0,1454
8,675	6,5	30	195	275,8	6,64	30	0,04449	0,00524	0,04418	0,1406
9,05	7	30	210	297,0	7,58	30	0,04310	0,00516	0,04279	0,1362

Fecha 27-02-2014

Firma: 

TRANSFORMADORES REIM

Nº fabricacion: 37428

Reactancia (mH): 0,062

Inominal (Acc): 133

Ensayos realizados a 50 hz

V	Arms	Cte A	Arms totales	Apico	W	Cte W	Z(ohm)	R(ohm)	X(ohm)	L(mH)
0,609	1	30	30	42,4	0,05	30	0,02030	0,00167	0,02023	0,0644
0,921	1,5	30	45	63,6	0,12	30	0,02047	0,00178	0,02039	0,0649
1,227	2	30	60	84,9	0,22	30	0,02045	0,00183	0,02037	0,0648
1,535	2,5	30	75	106,1	0,34	30	0,02047	0,00181	0,02039	0,0649
1,834	3	30	90	127,3	0,49	30	0,02038	0,00181	0,02030	0,0646
2,036	3,3	30	99	140,0	0,59	30	0,02057	0,00181	0,02049	0,0652
2,127	3,5	30	105	148,5	0,67	30	0,02026	0,00182	0,02017	0,0642
2,394	4	30	120	169,7	0,87	30	0,01995	0,00181	0,01987	0,0632
2,628	4,5	30	135	190,9	1,09	30	0,01947	0,00179	0,01938	0,0617
2,815	5	30	150	212,1	1,36	30	0,01877	0,00181	0,01868	0,0595
2,96	5,5	30	165	233,3	1,61	30	0,01794	0,00177	0,01785	0,0568
3,097	6	30	180	254,6	1,89	30	0,01721	0,00175	0,01712	0,0545

Fecha:27-02-2014

Firma: 

Ensayos de saturación de las inductancias L1 y L2 correspondientes al montaje MO-LCLCAF.
N. Serie: 16/748/1

L1. 0,15mH - 133A. Ensayo a 50Hz

V	Arms	Apico	Z (Ω)	R (Ω)	X (Ω)	L (mH)
2,763	54	76,37	0,05117	0,00357	0,05104	0,1625
3,828	74,5	105,36	0,05138	0,00357	0,05126	0,1632
5,13	100	141,42	0,05130	0,00357	0,05118	0,1629
6,85	134	189,50	0,05112	0,00357	0,05099	0,1623
7,72	154	217,79	0,05013	0,00357	0,05000	0,1592
8,26	176	248,90	0,04693	0,00357	0,04680	0,1490
8,76	207	292,74	0,04232	0,00357	0,04217	0,1342

L2. 0,062mH - 133A. Ensayo a 50Hz

V	Arms	Apico	Z (Ω)	R (Ω)	X (Ω)	L (mH)
1,015	49	69,30	0,02071	0,00129	0,02067	0,0658
1,563	75	106,07	0,02084	0,00129	0,02080	0,0662
2,075	100	141,42	0,02075	0,00129	0,02071	0,0659
2,588	134	189,50	0,01931	0,00129	0,01927	0,0613
2,692	150	212,13	0,01795	0,00129	0,01790	0,0570
2,793	173	244,66	0,01614	0,00129	0,01609	0,0512
2,9	205	289,91	0,01415	0,00129	0,01409	0,0448

附錄 6 民國 107 年 8 月份工作月報 (摘錄)

 高雄捷運股份有限公司 KAOHSIUNG RAPID TRANSIT CORPORATION				高雄環狀輕軌捷運建設(第一階段)營運管理、維修委託服務案 第 1 次後續擴充 辦理本建設營運管理、維修作業-工作月報			
28	107.08.28	列車故障	0519 T05 車於駐車區整備時回報，列車開機後發現 R_CAR 有燒焦味與煙霧；LOCC 與 T05 車確認無火花，並指示關機；LOCC 通知車班。 0520 T05 車完成關機作業；LOCC 指示 T05 車司機員至備用車進行列車整備。 0523 LOCC 通知車輛課。 0539 值班車務長回報，現場確認無起火但疑似有電線燒焦味道。後續由車輛課調度至第 9 軌進行查修。				