

車輛動態模擬軟體與 RT Simulation 環境採購需求

本案委託建置可由甲方內部持續使用與維護的車輛動態模擬軟體。採購成果須能執行指定之外部模型、移轉既有模型資料，並以相同輸入條件重現甲方既有軟體的指定計算結果；同時支援 CAN 控制訊號互動、3D 場地與路面高度回饋，以及 RT Simulation。模型相容性、計算誤差、可重現性及自主維護能力均為主要履約要求。

本文件列明功能、交付、驗收及履約管理條件。

一 採購標的與目的

1.1 採購目標

甲方擬降低既有商用模擬軟體維護成本，保留既有模型與分析工作成果。廠商應交付可於一般工程電腦獨立運作的模擬主程式、車輛及子系統模型、外部模型執行介面、既有資料匯入與轉換工具、結果比對工具、CAN 通訊介面、3D 場地模型及 RT Simulation 功能。

驗收以指定使用範圍內的替代能力為準，包含既有模型資料的完整移轉、參考計算結果的一致性、整車閉迴路運作及後續自主維護。單純展示畫面、播放預錄結果或引用過去通過案例，不足以證明本案履約完成。

1.2 模型相容性與替代能力

本案須分別達成以下兩項要求，並分別驗收。

FMU（Functional Mock-up Unit，功能模型封裝單元）是依 FMI（Functional Mock-up Interface，功能模型介面）標準封裝的動態模型檔案，副檔名為 .fmu。本案必要格式為 FMI 2.0 Co-Simulation（共同模擬）及 Windows 64 位元（win64）；檔案內容、介面與獨立執行要求詳見 F05、F08 及 F24。

項目	要求	驗證方式
外部模型執行	以新軟體載入甲方指定之既有 FMU，設定參數、連接訊號並推進模擬；不得僅支援匯出	既有 FMU 在原合法環境及新軟體中以相同條件執行並比對
自主替代模型	以可由甲方維護的模型及核心，重現指定參考模型的輸入輸出行為；移轉後可停止依賴待替換軟體	執行替代模型，與封存參考資料比對，並在未安裝待替換軟體的電腦重跑

原生專案格式與 FMU 為不同交付物。既有 Simulink、Activate 或其他原生模型，可依核定清單採合法匯出 FMU、參數與查表資料移轉、程式介面包裝或等效模型重建；不得將「可載入 FMU」宣稱為「可直接開啟所有原生格式」。移轉的輸入格式、版本、工具、授權與限制須逐項揭露。

1.3 指定範圍與適用邊界

目標車種為一款甲方指定之 12 m 電動巴士。模型涵蓋完整車輛動態（含縱向、側向及垂向運動）、轉向、輪胎、懸吊、煞車、傳動系、驅動馬達及電池組。應能變更同一車型的質量、輪徑、齒比、查表及初始狀態，驗證參數設定與模型匯出的一致性。

參考模型、工具版本、FMU、輪胎檔及查表資料依附錄一記錄；廠商應依實際可取得資料提出移轉方式、需補充資料及限制，形成可執行的模型與比對清單。

模型精度以逐案例、逐必要通道的量化誤差判定：自主替代子模型主要訊號 NRMSE 不超過 2%，整車耦合主要訊號不超過 3%，完整車輛動態訊號不超過 5%；循環能耗差異不超過 5%，SOC 最大差異不超過 0.5 個百分點。各項尚須符合最大誤差、終值及事件時間差要求；計算方法、適用通道與完整門檻詳見附錄二。

二 建置內容與功能需求

2.1 軟體平臺與專案管理

F01 提供 Windows 11 x64 安裝程式、完整離線安裝包、解除安裝及更新方式。甲方無須安裝廠商開發環境即可完成安裝、模擬、分析及模型匯出。必要 Runtime、字型、圖表資源與版本應隨附，或提供可合法離線部署的安裝包。

F02 核心功能須於離線狀態完整使用。不得因停止年度維護、帳號停用、授權伺服器無法連線、雲端服務停止或心跳逾時而失去已購功能。禁止將僅可離線數日的寬限期視為永久離線授權。

F03 支援專案新增、儲存、開啟、版本識別、另存及可攜封裝。封裝包含模型、接線、參數、查表資料、輪胎資料、控制設定、道路環境、初始條件、情境及結果；並附「必要檔案與執行元件清單」，列明所需 DLL、Runtime、外部資料檔的名稱、版本、相對位置、安裝方式及授權。甲方依交付內容即可開啟與執行專案。

F04 提供圖形介面及可自動化執行的命令列或 API，支援模型接線、單位與型別檢查、批次測試、參數掃描及報告輸出。參數應有名稱、單位、有效範圍及來源；超出範圍、缺少資料或單位不相容時須明確警示，不得無聲使用預設值。

2.2 外部模型載入與既有資料移轉

F05 支援 FMI 2.0 Co-Simulation 的 win64 FMU 匯入及匯出。FMU 為 ZIP 結構的 .fmu 檔，須含 modelDescription.xml、binaries/win64 下的模型 DLL，以及模型執行所需的查表與其他資源；資源檔應隨 FMU 封裝，必要 Runtime 隨部署包交付。匯入後可查閱輸入、輸出、參數、單位、型別、初始值及支援能力，並完成初始化、步進、停止及重新初始化。

Co-Simulation 由 FMU 內的求解機制推進模型；Model Exchange（模型交換）則由載入模型的軟體提供求解器，依模型方程計算狀態變化。兩者執行方式不同，本案必要格式為前者，不得以僅支援 Model Exchange 取代。

F06 支援指定模型清單中的各 FMU 單獨執行及車輛動態、傳動系、驅動馬達、電池組四個子模型共同耦合執行。同名輔助 DLL 衝突應提出可驗證的處理，例如獨立程序隔離及同步交換；不得僅以逐顆測試取代整體耦合。模擬排程須符合各 FMU 宣告的能力，不得假定其支援變步長、多實

例或回滾。回滾是將模型內部狀態恢復至先前已保存的模擬時刻，再重新計算；不同於重新開始模擬，須有對應的狀態保存與恢復功能才可使用。

F07 提供「既有資料匯入與轉換工具」，將既有模型可合法取得的參數、查表及初始條件，轉成新軟體可使用的資料或專案設定。此工具不等同直接開啟所有原生模型；外部 FMU 另由 F05 的匯入功能執行。必要資料包含扭矩－轉速（T-N）曲線、效率圖、開路電壓－電池荷電狀態（OCV-SOC）表、輪胎資料、幾何、齒比及功能開關。須提供來源欄位與新軟體欄位對照、轉換公式及完整性檢查；每次轉換產生報告，列出成功、替代、忽略、預設及不支援項目，必要項目不得忽略。

F08 本案交付的模型與軟體須包含 FMU 導出及導出後獨立運作所需的完整授權，費用包含於契約價金；如不需額外授權，廠商須以書面聲明甲方日後導出、重複導出及獨立執行 FMU 均無須另購授權或支付使用費。交付 FMU 不得因停止維護而失效，亦不得要求安裝待替換軟體、連線至廠商授權服務或另付 Runtime 費用。對甲方既有第三方 FMU，須逐項確認原授權限制；本案所需新增授權與執行元件應納入報價及交付，不得以格式符合 FMI 即宣稱免授權。

2.3 車輛動態與子系統

F09 車輛參數至少包含整車及等效質量、前後軸靜載、重心位置與高度、慣量、軸距、輪距、輪胎有效半徑與轉動慣量、空阻、滾阻、驅動配置及前後胎數。提供目標巴士完整參數組、來源及適用範圍。

F10 完整車輛模型應表現車身六自由度、四輪垂向響應及四輪轉動，或提出能產生相同必要響應的等效動態表示並通過同一測試。須計算車速、加速度、位置、roll、pitch、yaw、角速度、四輪輪速、輪端位置、輪胎力、法向負載及載荷轉移。不可僅以一維模型通過取代完整車輛模型驗收。

F11 輪胎應包含縱橫向力、複合滑移、負載效應及瞬態響應，支援甲方清單所列輪胎參數與檔案版本。懸吊應具有剛性、阻尼、行程限制及防傾耦合；目標巴士如為氣壓懸吊，須支援調平與指定車高功能。獨立懸吊或剛性軸、外傾處理及雙胎等效方法均應揭露，並以目標車測試確認適用性。

F12 轉向支援方向盤角、轉向比、各輪轉向角、動力轉向及轉向柱動態；煞車支援目標車型的氣壓或液壓致動延遲、前後分配、各輪煞車扭矩、手煞車及再生協調。ABS、ESC 應有可設定的開關與狀態輸出；參考模型無相應控制時，可一致停用，以避免新增控制掩蓋模型誤差。進階底盤功能及其參數設定須隨目標車模型交付。

F13 驅動馬達包含扭矩及功率限制、正反轉與再生、暫態延遲、T-N 曲線及二維效率或損耗圖的查表能力。表格內插、外插、零轉速及回充象限處理須文件化。可另提供參數化損耗模式，但不得以其取代必要查表資料移轉及精度驗收。

F14 傳動系包含齒比、牽引與再生方向效率、輪速與馬達轉速換算、指定驅動軸配置及必要檔位。電池包含 SOC、端電壓、電流、功率、容量、OCV、內阻及指定動態特性；熱模型依目標資料範圍配置。高壓接觸器與預充須作用於實際供電路徑，斷開時不得繼續正常供給驅動功率。

F15 提供可記錄的參考相容設定，用以重現原模型已確認的輸入、輸出與限制行為；較完整的保護或物理模型亦應可設定。原模型的疑似錯誤或非物理資料須列於差異清單，交由甲方核定比對基準，不得私自修正後宣稱結果相符。

2.4 道路環境與測試情境

F16 支援坡度、各輪路面高度與附著係數、空氣密度及風速；提供平路、上坡、下坡、均一低附著、左右分離附著、凸塊及坑洞等情境，並包含積水與水漂對輪胎有效附著及車輛響應的模擬。路面高度及附著須依各輪在場地中的位置計算並回饋動態模型；提供積水深度、車速、輪胎條件與附著變化的參數及作用方式說明。

F17 支援開迴路指令重播、縱向速度追蹤、情境事件、批次佇列及參數掃描。甲方提供的巴士速度循環應可由時間序列匯入；不要求特定循環品牌。提供加速、滑行、煞停、坡度、再生、階躍轉向、穩態圓周及路面激振的可重跑範例。

2.5 求解與數值可重現性

F18 模擬時間、求解器內步長、控制更新週期、FMU 通訊步長及結果記錄週期須分別設定並記錄。比對基準預設通訊及記錄週期為 1 ms，控制週期為 10 ms；實際值依封存案例固定。支援 0.5、1、2、5 ms 的整數倍步進組態，內部子步與取樣方法須揭露。

F19 正式批次求解不得依 UI 幀率或視窗前景狀態推進控制邏輯。3D 場地的路面高度與附著資料應依模擬時間及輪端位置供給，與畫面繪製頻率分開。相同模型、參數、版本與輸入應產生可重現結果。即時 CAN 通訊可能因訊息抵達時刻或電腦排程不同而產生不同結果（稱為非決定性）；須記錄實際輸入及時間戳，並可離線重播相同輸入進行精度比對。

F20 說明區塊執行順序、耦合策略、代數迴圈、零階保持或內插、延遲、停止條件及異常處理。NaN、Inf、超範圍及 FMU 錯誤須記錄並停止或安全處置；不得刪除異常區段後判定通過。原生模型應提供步長減半的收斂檢查，外部 FMU 依其能力個別評估。

2.6 資料分析與比對

F21 完整記錄指定輸入、輸出、狀態、事件及時間戳，支援 CSV、機器可讀 JSON 或等效開放格式。資料應可直接由甲方的工具重新計算，不得只提供圖片、影片或不可讀取的私有格式。

F22 提供參考與受測曲線疊圖、逐點誤差、RMSE、最大絕對誤差、平均偏差、終值誤差、峰值與事件時間差、能耗、里程及煞停距離計算。自動報告列出每個案例、每個必要通道的 Pass/Fail，不得以跨通道平均值取代個別判定。

F23 比對前統一時間原點、SI 單位、座標、正負號與取樣規則。預設不得事後移動時間軸、調整幅值、濾除峰值或刪除暫態。若確有測量延遲補償，須在案例檔事先固定，並同時提供未補償結果。

2.7 模型匯出與既有工具整合

F24 原生整車及子系統模型須能匯出 FMI 2.0 Co-Simulation 的 win64 FMU，保留全部核定參數、功能開關、輪胎及查表資料，並可於甲方相容的 FMU 執行環境獨立運作。以同一車型的一組非預設參數設定，進行主程式與匯出 FMU 的結果一致性驗證；正式安裝版須可直接完成匯出。

F25 模型支援以 CAN 通訊接收外部控制器的控制訊號，並回傳控制器所需的響應訊號。應提供 CAN 介面設定、DBC、訊號映射、單位與縮放、訊息 ID、更新週期及逾時處理；控制訊號包含使能、扭矩、煞車、檔位及接觸器等，響應包含車速、轉速、扭矩、電壓、電流、SOC 及模型狀態，

實際通道依目標車訊號清單設定。須可記錄收發資料與時間戳，並支援本案 RT Simulation 環境的通訊設備。

F26 車輛及子系統模型須根據控制訊號模擬上電與預充、Ready、加速、再生或煞車、BMS 放電限扭、充電限制、下電、故障安全狀態、心跳逾時及故障清除後恢復等情境的對應行為。應將狀態、限值與致動命令作用於模型的供電及動力路徑，回傳可檢查的響應；依既有控制器測試所需情境確認模型行為與訊號映射。

F27 提供簡易 3D 車身、輪胎及底盤動態檢視、結果回放、UE 視覺整合與場地模型；場地模型及 CAD 場域匯入功能均包含於本案。依四輪接地位置取得場地路面高度、坡度與附著資訊，回饋輪胎、懸吊及車身動態，再將模型姿態與輪胎狀態更新至 3D 畫面，形成場地與車輛的閉迴路模擬。須交付至少一個可編輯場地、CAD 匯入範例及含高度變化的道路情境。

F28 提供 RT Simulation（即時模擬）：模型時間依實際時間推進，並同步接收 CAN 控制訊號、輸出模型響應及執行 3D 場地路面回饋。可設定模擬步長與通訊週期，記錄運算用時、逾時及訊息遺漏；支援啟動、停止、重置與結果記錄。效能及驗證方式依 A08。

三 交付內容

3.1 必要交付清單

以下交付物均含版本、日期及需求對應編號。所需模型、設定、資料與執行元件須完整交付，使甲方能依文件重新執行。

編號	交付項目	最低內容
D01	軟體及離線部署包	安裝程式、完整 Runtime、永久授權及 FMU 導出／獨立運作授權或免額外授權聲明、更新與復原程序；對應 F01-F04、F08
D02	模擬核心與自主維護資產	本案核心、原生模型、介面、比對及工具原始碼；版本庫快照、建置腳本、編譯器及必要程式庫版本、可重建說明；對應 F09-F20、F25、F26-F28
D03	外部模型執行與資料轉換工具	FMU 匯入器、模型連接與隔離設定、參數與查表匯入轉換工具、欄位對照、完整性檢查及逐檔報告；對應 F05-F08
D04	目標車與子系統模型	一款 12 m 目標巴士、四類替代子模型、完整參數表、資料來源、方程及適用範圍；含同一車型參數變更驗證設定；對應 F09-F17、F26
D05	FMU 匯出與獨立執行套件	目標車與子模型 FMU、匯出所需原始碼、全部參數與資源、執行範例、複測說明及主程式／FMU 一致性結果；含導出與獨立運作授權或免額外授權聲明；對應 F08、F24
D06	基準與比對資料	參考及受測輸入輸出、參數、初始條件、求解設定、比對程式及完整 Raw Data；對應 F18-F23
D07	精度與回歸報告	逐案例逐通道誤差、峰值、時間差、未通過原因、版本追溯及自動判定工具；對應 F21-F23

編號	交付項目	最低內容
D08	專案、場地與操作文件	可攜專案、可編輯場地模型、CAD 匯入範例、道路與積水情境、UE 整合資產、CAN 介面與 DBC、RT Simulation 設定、批次範例、使用者與模型手冊、API、資料字典及錯誤處理；對應 F03、F16-F28 所列功能
D09	教育訓練及移交	至少 2 場、共 6 小時；安裝、資料匯入與轉換、模型比對、參數更改、FMU 匯出、CAN 通訊、3D 場地、RT Simulation 及原始碼建置；含教材與操作紀錄

3.2 原始碼與權利範圍

本案新增成果的權利歸屬依契約核定；至少應授予甲方永久、不可任意撤回且已包含於契約價金的內部使用、備份、移機、修改、編譯及委託第三方維護權。甲方可將原始碼及文件提供受保密義務約束的維護廠商，無須每次另經原廠同意。

廠商既有技術須於採購時列明權利與交付範圍。用以達成本案核心求解、替代模型及介面之原始碼與建置資產仍須交付並授權自主維護；不得以既有技術名義全面排除。通用第三方庫可依原授權交付合法二進位或原始碼，但不得含會到期失效、禁止必要再部署或使甲方無法重建的依賴。

須提供原始碼與交付執行檔的版本對應及建置記錄。驗收須在乾淨電腦由甲方或指定第三方依說明重建，重建產物通過同一功能與數值回歸；不要求不同工具鏈逐位元相同，但須符合數值門檻。

3.3 成本與資料完整性

授權需包含至少 3 個同時內部使用席次，允許開發與測試電腦移機。模型匯入、匯出、批次、報告、CAN、3D 場地、RT Simulation 與原生替代模型均包含於本案價金，不得額外以年費解鎖。報價須列開發費、授權、交付、訓練、保固及五年選擇性維護費；FMU 導出與獨立運作權利依 F08 辦理。

本案自主模擬核心及匯出 FMU 應獨立執行。執行相容外部模型所需的新增商用元件或授權，須在採購時列明並納入報價，不得履約後才要求甲方採購未報價工具。

甲方模型、參數、輸出及查表屬甲方或其合法權利人資料，不得未經同意上傳雲端、訓練其他模型或轉供其他客戶。封裝 FMU 內的第三方輪胎或效率資料須有權利檢核與嵌入清單。

四 驗收方式與通過條件

4.1 驗收基準與程序

驗收以正式採購文件、核定模型清單及比對案例為準；每項案例記錄參考模型與工具版本、參數、初始狀態、輸入、輸出、求解與記錄設定、比較區間及容許差。廠商須整理可取得的參考資料及本案受測資料，形成甲方可執行的比對專案。

參考資料須能於既有工具授權到期後持續供比對使用，並隨 D06 交付。基準若發現錯誤，以書面版本變更處理；涉及實質範圍或價金依契約辦理。

驗收以甲方指定電腦及本案正式安裝版進行。執行前固定版本與同一目標車型的參數，依附錄三指定案例執行並保存完整輸入輸出。

4.2 驗收矩陣

編號	驗收項目	通過條件及證據
A01	安裝與離線自主運作	乾淨電腦安裝；停用對外網路、未安裝待替換工具，可新建、求解、儲存、分析與匯出；授權文件證明維護停止仍可使用
A02	指定外部模型相容性	附錄一全部必要 FMU 可載入、初始化、重置及執行；四個子模型同時耦合；無 DLL 衝突、隱藏授權依賴或必要項目遺漏
A03	既有模型移轉	全部必要參數、表格與初始值逐項對應，必要項目移轉完整率 100%；提交差異清單與可攜專案
A04	子模型精度	附錄三的 17 項單元案例全部執行；每個必要通道符合附錄二，含峰值與常值訊號，不得僅通過平均 NRMSE
A05	整車動態、CAN 與場地響應	整車耦合、能耗、AEB 及完整車輛案例符合附錄二；CAN 控制與回傳通道正確，F26 所列情境能產生對應物理響應；CAD 場地、3D/UE 及四輪路面回饋通過附錄三 V08-V10
A06	FMU 匯出與設定等效	主程式與匯出 FMU 使用同一車型的非預設參數及全部資料，逐必要通道符合附錄二一致性門檻；由正式安裝版直接匯出，並於甲方相容環境獨立複測
A07	可重現與數值穩定	同版本批次重跑 3 次達重現門檻；原生模型步長減半達收斂門檻；無 NaN/Inf、漏步、重複時間戳或靜止自動倒退
A08	RT Simulation 與長時間運作	在 CAN 收發、3D 場地回饋及顯示啟用時，1 ms 模擬組態的模擬時間／實際用時比至少 1；30 分鐘模型時間連續執行及 100 次短案例批次無崩潰、資料損毀或持續資源耗盡；交付用時、逾時與通訊紀錄
A09	自主維護與移交	原始碼重建成功且回歸通過；甲方人員依交付文件修改一項參數、匯入一組既有資料並重新執行指定案例；必要檔案及元件均已包含於交付套件，無須廠商另行提供缺漏檔案
A10	文件與授權完整	第三章所列必要交付項目全部完成；版本及所需元件可追溯；具有 F08 所定 FMU 導出及獨立運作權利，停止維護後仍可使用已購功能

A08 驗證電腦建議為 Windows 11 x64、Intel Core i7-12700 等級或同等 CPU、32 GB RAM、SSD 及相容 CAN 介面；GPU 與 CAN 設備由廠商依場地與 UE 執行負載提出規格及報價。記錄 CPU/GPU、步長、通訊與畫面更新週期、實際用時、最長單步用時、逾時次數及遺漏訊息數。RT Simulation 以電腦運算與 CAN 互動達成即時推進；數值精度仍以同一輸入的離線重播資料依附錄二判定。

4.3 精度判定與修正

容許差依附錄二逐案例逐通道判定。所有必要案例與關鍵訊號均須 **Pass**，任一項不符應列缺失並修正重測。其他通道或案例的良好結果不得抵銷關鍵失敗。缺失修正後須重跑受影響案例及完整關鍵回歸集。

正式驗收前凍結同一目標車型的一套可部署參數設定。不得依測試案例名稱、檔案名稱、已知目標輸出或專屬時間腳本切換隱藏參數，以「套答案」取得一致結果；合理的狀態依賴物理參數須列入模型與文件。

4.4 初驗複驗與正式通過

廠商先自測並繳交完整報告，再由甲方重跑。缺漏資料、無法重跑、未完成權利交付或核心門檻不符，均不得僅列改善清單視為通過。複驗以同一核定基準執行，修改的版本與原因均須記錄。

付款里程碑須與實際通過事項連結，尾款須待全部必要交付及驗收完成後支付。模型相容性、精度、CAN、3D 場地回饋、RT Simulation、永久使用權及原始碼交付均納入驗收。

五 廠商責任

廠商需提出逐項符合性表、執行方案、已完成／待開發狀態、限制、外部依賴、交付權利與費用。對任何必要項目尚未完成，應明列實作計畫與完成日期；正式驗收時不得保留為規劃中。

提出的模擬結果須標明模型層級、版本、參數、輸入與適用範圍，並以 **FMU** 形式提供甲方複測，確認模型可執行及結果精度。子模型或匯出器的一致性不能證明完整車輛模型的精度；廠商自測與甲方複測結果須分別記錄。

品牌名稱僅用於辨識模型來源及必要的整合介面；新軟體的程式語言、UI 框架或內部架構由廠商提出。

六 模擬能力驗證

6.1 必須提交的測試證據

廠商應提交附錄三 B01-B07 對應項目的模擬結果、完整 **Raw Data** 及可執行 **FMU**，供甲方進行初步複測。每組須說明參數、初始狀態、輸入、必要輸出及求解設定，並提供相同條件下的參考與受測結果及誤差計算。

必交項目為附錄三 B01-B07 的 7 組代表測試，包含 **FMU** 匯入、四類替代子模型、四模型整車耦合與同一車型非預設參數匯出一致性。

6.2 應繳文件及資料

編號	資料	必要內容
P01	FMU 複測資料	本次受測模型的可執行 FMU 、參數、初始狀態、輸入資料、步長設定及操作說明；甲方可於相容的 FMU 執行環境重現模擬結果；附複測所需授權或免額外授權聲明

編號	資料	必要內容
P02	Raw Data 輸出	全部必要通道的時間序列 CSV，含輸入、受測輸出、參考輸出、時間戳及單位；完整保留暫態和未通過區段
P03	比對報告	每案例每通道的 RMSE、NRMSE、峰值、終值、事件時間差及 Pass/Fail；同時提供曲線與誤差圖
P04	技術與權利承諾	適用範圍、校正方法、必要項目符合性表、待開發事項、永久離線與原始碼交付承諾、全成本報價

建議保固自正式驗收合格起 12 個月，含錯誤修正、數值回歸與文件更新；保固後年度維護為甲方選擇性採購。停止維護不得影響已交付版本使用。嚴重錯誤（無法啟動、核心結果錯誤、模型資料損毀）建議 1 個工作天內回應、3 個工作天內提供處置計畫，完成期限按影響與契約約定；不得以恢復使用為由強迫續約。

附錄一 模型與基準包清單

下表作為廠商盤點及移轉規劃的記錄格式，依實際可取得資料填列模型、版本、參數與比較通道，並納入交付的模型與比對清單。

編號	基準類別	需登錄欄位
R01	車輛動態	原工具／版本、原生檔與 FMU、輸入輸出、參數、授權及移轉方式
R02	傳動系	同上；特別記錄牽引／再生效率方向及功率語意
R03	驅動馬達	同上；T·N 及效率圖檔案、內插與非物理點處理、熱保護狀態
R04	電池組	同上；SOC 定義、容量、電壓、內阻、功率限制是否鉗制
R05	完整車輛模型	六自由度、懸吊、輪胎、轉向、煞車參考版本與可取得的必要輸出
R06	CAN 控制與模型響應	DBC、控制及回傳通道、單位、更新週期、逾時與模型行為對應
R07	場地與其他資料	CAD 格式、場地座標與尺度、道路高度與附著、輪胎檔、查表、速度循環及資料權利

每一實際檔案記錄名稱、版本、標準與執行平臺、模型層級、可調參數、必要元件及合法使用／導出權利。FMU 格式要求依 F05；原生資料轉換依 F07。

附錄二 誤差計算與建議門檻

比對規則與計算範例

各案例以相同輸入、參數、初始狀態及比較區間執行，對齊同一時間點的參考值與受測值。連續量需重取樣時使用線性內插；離散狀態沿用上一個已知狀態。不得刪除暫態或未通過區段，也不得事後平移時間或調整幅值。

RMSE（均方根誤差）表示整段曲線的誤差大小：逐點計算「受測值－參考值」，平方後取平均，再開平方。最大絕對誤差則取整段中差距最大的那一點；終值誤差是共同結束時刻的差距。三者用途不同，須各自符合門檻。

NRMSE（正規化均方根誤差）＝ $\text{RMSE} \div S \times 100\%$ 。S 是本次比較使用的共同尺度，取「參考曲線最大值－最小值」與下表尺度下限 S0 的較大值。使用共同尺度可比較整段曲線，也避免參考值接近零時逐點百分比失去意義。S、S0 及比較區間須在執行前固定，廠商不得依結果調大。

例：車速參考曲線由 0 到 20 m/s，S＝20 m/s。若 RMSE＝0.3 m/s，NRMSE＝1.5%；若某一點最大差距為 1.2 m/s，則最大誤差＝6%S。對「子模型 2%/5%/2%」要求，整段誤差通過，但最大誤差未通過，因此該通道仍判定未通過。

以下表格中的「 $\leq 5\%S$ 」是絕對差距上限為 $S \times 0.05$ ，不是以該時間點參考值作分母；例如 S＝20 m/s 時，上限為 1 m/s。「每樣本差 $\leq 10^{-6}S$ 」表示重跑結果各時間點差距不超過 S 的百萬分之一。常值訊號另檢查專項絕對誤差；離散狀態須一致，僅容許案例指定的狀態切換時間差。

驗收誤差門檻

下列為本採購草案建議的驗收上限。每個必要通道須同時通過該列全部條件及適用專項；不能用平均結果抵銷某通道失敗。百分比越低代表與參考結果越接近，正式採購時以定稿門檻為準。

比對層級	連續訊號門檻	另須通過事項
同一既有 FMU 在不同執行環境運作	NRMSE $\leq 0.1\%$ ；最大誤差 $\leq 1\%S$	常值及事件不得跳過；對齊初始化與通訊順序
自主替代子模型的车速、里程、轉速、扭矩、電壓與電流	NRMSE $\leq 2\%$ ；最大誤差 $\leq 5\%S$ ；終值誤差 $\leq 2\%S$	SOC 使用絕對百分點；狀態與限制語意一致
自主替代子模型的瞬時電功率	NRMSE $\leq 3\%$ ；最大誤差 $\leq 10\%S$ ；終值誤差 $\leq 3\%S$	跨牽引／再生與 T-N 折點，不得刪除尖峰
整車耦合的车速、里程、轉速、扭矩、電壓與電流	NRMSE $\leq 3\%$ ；最大誤差 $\leq 8\%S$ ；終值誤差 $\leq 3\%S$	另檢查能耗、煞停、SOC 及事件指標
完整車輛橫向、垂向及各輪負載	NRMSE $\leq 5\%$ ；最大誤差 $\leq 10\%S$ ；終值誤差 $\leq 5\%S$	初始載荷、左右符號、峰值、相位及物理合理性

比對層級	連續訊號門檻	另須通過事項
原生主程式與匯出 FMU	$\text{NRMSE} \leq 0.1\%$ ；最大誤差 $\leq 0.5\%S$	非預設配置、輪胎、T-N 與效率圖均完整；狀態事件一致
同版本、同設定重跑 3 次	每樣本差 $\leq 10^{-6}S$	離散狀態一致；各次均無異常，不以跨編譯逐位元一致為條件
原生模型步長減半收斂	$\text{NRMSE} \leq 0.5\%$ ；關鍵 KPI 差 $\leq 1\%$	相同控制與記錄格點；指定尖峰、異常及低速案例另驗

專項指標	建議通過條件	計算定義
SOC	各點最大誤差 ≤ 0.5 百分點；終值 ≤ 0.2 百分點	SOC 為 0-1 比例，0.005 即 0.5 百分點，非 0.5% 相對誤差
循環能耗	淨、總放電及總回充各誤差 $\leq 5\%$ ；精度優化目標 $\leq 3\%$	同時列三種積分；分母至少 1 kWh，案例不足則使用固定絕對容許差
AEB 速度	觸發後 3 秒或至共同結束時間， $\text{NRMSE} \leq 3\%$ ；最大誤差 $\leq 8\%S$	參考模型與受測模型使用相同的制動命令及觸發時間；比對時保留原始時間軸，不得移動曲線來對齊煞車反應。
AEB 煞停距離	每一速度案例誤差 $\leq 2\%$	共同觸發位置起算；以速度 $\leq 0.1 \text{ m/s}$ 持續 0.5 秒為停止；只適用非零停距
事件時刻	時間差 $\leq 20 \text{ ms}$ ，或案例明訂的一個控制週期	接觸器、Ready、限扭、故障；本來屬純代數的輸出不得無故增加延遲
穩態與常值	電壓 $\leq 0.5 \text{ V}$ 、轉速 $\leq 1 \text{ rpm}$ 、扭矩 $\leq 5 \text{ N}\cdot\text{m}$ 、功率 $\leq 100 \text{ W}$	用於參考原本為常值的通道；一般瞬態依上表，SOC 另依專項

SOC 使用「百分點」而非相對百分比。例如參考 SOC = 60%，受測 = 60.4%，差異為 0.4 個百分點，符合最大 0.5 個百分點要求；若此為終值，則超過終值 0.2 個百分點上限。

能耗分別計算淨能耗、總放電量及總回充量，三者均須通過。各項誤差 = 受測積分與參考積分的絕對差 $\div \max(\text{參考積分絕對值}, 1 \text{ kWh}) \times 100\%$ 。例如參考放電量 10 kWh、受測 10.4 kWh，誤差為 4%；參考回充量 2 kWh、受測 2.2 kWh，誤差為 10%，因此能耗項目未通過。低於 1 kWh 的短案例以 1 kWh 為尺度，5% 上限相當於 50 Wh，並須同時列出實際絕對差。

AEB 案例中，參考模型與受測模型須在相同的模擬時刻接收相同制動命令。例如設定第 5 秒開始煞車，兩個模型都須在第 5 秒收到命令；若受測模型晚 0.2 秒才產生煞車反應，這項延遲須保留在比對結果中，不得將受測曲線往前移 0.2 秒來消除差異。煞停距離誤差 = 受測停距與參考停距的絕對差 $\div \text{參考停距} \times 100\%$ 。例如參考 30 m、受測 30.3 m，差異為 1%，符合 2% 上限。

常值與近零訊號的計算尺度

通道類別	S0 建議值	備註
車速／累計里程	1 m/s／10 m	煞停與靜止段另驗不得倒退
角速度／角度	0.05 rad/s／0.01 rad	含 yaw rate、roll 及 pitch；方位角先解纏繞
轉速	10 rad/s	若用 rpm 先換 SI；穩態常值另用 1 rpm 限制
扭矩／力	100 N·m／1000 N	子系統與輪端分別列通道，不混用增益
垂向位移／加速度	0.01 m／0.1 m/s ²	絕對位置與車身振動須分開
電壓／電流／電功率	10 V／10 A／10 kW	零負載與常值另驗，不能靠 S0 隱藏偏移
SOC	0.01（比例值）	專項百分點條件仍優先適用

例：參考電壓全程為 600 V，曲線全距為 0，使用 S0=10 V。若受測全程 600.2 V，RMSE=0.2 V，NRMSE=2%；仍須符合適用的最大、終值及常值電壓 0.5 V 門檻。S0 是避免除以零的共同計算尺度，不代表放寬常值限制。通道同時適用多個條件時須全部通過；未列通道的尺度及容許差，須在比對案例中先行列明。

附錄三 測試案例矩陣

初步驗證

各組均須附具體輸入、時間、參數與初始條件；參考與受測模型使用同一條件，甲方依 FMU 及資料進行複測。

編號	測試組	必看證據
B01	既有 FMU 匯入執行與耦合	指定四類 FMU 均實際加載；單顆與四顆同時執行；不同執行環境的結果差異
B02	替代車輛動態模型	加速－滑行－煞車、上下坡；車速、輪速、里程及輪端功率
B03	替代傳動模型	正負扭矩及轉速掃頻；輪端扭矩、馬達轉速與功率
B04	替代馬達模型	包絡掃頻、扭矩階躍與再生；扭矩、轉速、電功率、峰值
B05	替代電池模型	放電、回充、超限與負載變化；電壓、電流、SOC 及限制輸出
B06	替代模型整車耦合	加速－滑行－再生－煞停及一段循環；車輛響應、能耗與 SOC
B07	非預設參數匯出一致性	至少變更質量、輪胎或輪徑、齒比、T·N／效率表及初始 SOC；主程式與 FMU 比對

正式子模型驗證

以下 17 項為最低子模型驗證集，另依下節執行整車動態與整合案例。參考輪徑、功率單位、電池參數及再生效率方向採用核定比對基準的實際定義。

編號	子模型與案例	主要核對通道
U01	縱向平路定扭矩加速	車速、輪速、輪端功率、里程
U02	縱向加速－滑行－煞車	同上；停止不得自動倒退
U03	縱向上坡加速	同上；坡度輸入語意
U04	縱向正弦扭矩	同上；暫態與相位
U05	縱向下坡滑行	同上；重力與阻力正負號
U06	傳動正扭矩階躍	輪端扭矩、馬達轉速、輪端功率
U07	傳動負扭矩回充	同上；效率方向
U08	傳動轉速掃頻	同上；零速與單位
U09	傳動正負扭矩切換	同上；功率語意與過零

編號	子模型與案例	主要核對通道
U10	馬達包絡內扭矩階躍	實際扭矩、回報轉速、電功率
U11	馬達 T-N 包絡掃頻	同上；折點、最大瞬時誤差
U12	馬達再生階躍	同上；回充功率正負與損耗
U13	馬達正弦扭矩	同上；滯後與效率圖
U14	電池放電階梯	端電壓、電流、SOC、充放電上限
U15	電池充電	同上；充電上限符號
U16	電池超限放電	同上；參考是告示值或鉗制值
U17	電池跨充放象限正弦負載	同上；過零與累計電量

整車動態與通訊／場地驗證

編號	正式測試	最低通過範圍
V01	四子模型耦合加速、滑行與回充	相同輸入與耦合順序；車速、扭矩、功率、里程、SOC
V02	AEB 40、60、80 km/h 三案例	速度、煞停距離、煞車與回充功率；速度上限依目標車核定
V03	目標巴士循環能耗	原始功率、淨能耗、放電及回充總量、SOC 終值
V04	更改質量、輪徑及齒比配置	無隱含預設；參數完整與結果響應、重跑一致性
V05	凸塊與左右差動路面	車身 z、pitch、roll、懸吊行程與輪端負載；無數值發散
V06	接觸器及限功率因果測試	開路不可正常驅動；充放電限值、回充與故障作用於實際能量路徑
V07	長時間與批次效能	30 分鐘模型時間、100 次短案例、自動報表及資源紀錄
V08	CAN 控制與情境響應	依 F25、F26 輸入控制命令及狀態變化，核對 CAN 回傳、供電、驅動、再生、限值、逾時及故障恢復響應；保存收發與模型資料
V09	CAD／3D 場地與 UE 閉迴路	匯入範例 CAD，檢查單位、座標及高程；車輛通過凸塊或坡段時，各輪高度回饋與懸吊／車身響應一致，3D 與 UE 顯示同步
V10	積水與水漂情境	設定積水深度、車速及輪胎條件；記錄附著、輪胎力與車輛響應，核對變化趨勢及所採模型依據

V05 凸塊與左右差動路面案例依核定參考曲線判定精度；另檢查總靜載與重力相符、被動滑行不增能、靜止保持及正常工況負載與行程範圍。V08-V10 依對應輸入、場地資料及模型作用機制驗證行為，須交付完整 Raw Data。

附錄四 廠商符合性及證據回覆格式

廠商應逐項回覆本文件所列功能、交付、驗收與書面資料，列明產品版本、已完成／待開發／不符合、實施方法、證據、限制、授權／費用及預定完成時間。

要求編號	廠商狀態與說明	可查證證據與交付
逐項填寫	既有實現或新增開發； 具體符合內容；限制與成本	檔案名稱、測試編號、執行紀錄、報告頁次、交付編號

另提交差異與排除清單，內容須與報價及技術方案一致。已揭露的必要項目不符合，不能因列在差異清單而自動免除。所有「待開發」項目須納入里程碑並於正式驗收前完成。