

GreenLoad 綠運能調度沙盤

真實班表 × 公開排碳係數 × 國家碳排基準 — 一條讓「離峰減碳」可被驗證、可被採用的 what-if 決策軌道 **主題三：綠色鐵路與永續創新 · 痛點1 營運資料整合應用有限，未能支援決策**

一、產品資訊

- **預計使用之鐵道機構**：經營全國路網之臺鐵營運機構（西部幹線各車種班次為主），並對標國家運輸部門淨零路徑。
- **欲解決痛點（主題三·痛點1，主辦原文）**：「許多鐵道機構表示雖累積許多營運資料，但資料整合與應用程度有限，尚未充分發揮其潛在價值以支援決策與服務創新。」本服務將分散的營運班表與公開碳排資料整合為可即時調度的減碳決策沙盤，呼應綠色鐵路與淨零主軸。
- **產品 URL**：<https://railesg.hackathon.com.tw/greenload>
- **測試帳密**：登入頁提供評審測試帳號（帳號 demo，密碼隨構想書另頁／報名系統提供），登入後可直接操作沙盤與檢視各資料來源 API。
- **簡介（≤300字）**：本服務以真實 TDX 臺鐵營運班表與站座標推估各班次里程，疊乘台電官方電力排碳係數與運輸部門國家碳排基準，建構一座「離峰綠運能調度沙盤」。使用者拖動三支旋鈕——離峰併班、減編組、提升載客率——系統即以純運算邏輯秒算省電 kWh、省碳 kgCO₂、年化減碳噸數，並同步顯示運能折損與準點衝擊評分，避免「為省碳犧牲服務」。每一筆數字都附逐步可解釋計算明細與資料溯源旗標：真實開放資料與估算欄位分開標示，書審與機構皆可獨立打 API 驗證。本服務零硬體、不改現有號誌與供電系統，是一層疊加於既有營運之上的「決策外掛」。

二、緣起與創作目的

鐵道是低碳運具，但「低碳」不等於「沒有可省」。離峰時段的列車常維持與尖峰相近的編組與班距，空調與牽引在低載客率下持續耗能；這部分浪費長期被視為服務品質的必要成本，缺乏被量化、被挑戰的工具。

本團隊觀察到三件事：第一，調度節能的重大阻力不是技術，而是「無法向上證明影響可控」——降班可能被質疑損害服務。第二，碳排數字若無法獨立查證，再漂亮的儀表板對機構與監理單位都缺乏說服力。第三，淨零承諾需要的不是口號，而是「這個動作每年省下多少噸、占國家運輸部門多少比例」的可對標數字。

因此本服務的目的不是再做一個碳排儀表板，而是做一個**可被機構直接拿去開會、向監理單位交代的調度提案工具**：每個節能動作都同時給出省碳效益、服務衝擊與計算依據，讓「離峰減碳」從理念變成可決策、可驗證的方案。

三、市場調查與定位

軌道永續工具市場概分兩類：一類是**碳盤查／ESG 報表平台**，產出組織級年度碳排數字；一類是**能源管理系統（EMS）**，監看設備即時用電。兩者皆偏「事後記錄」，少有「事前模擬調度決策、並即時換算服務衝擊」的工具。

比較面向	一般碳盤查／ESG 報表平台	一般能源管理系統 EMS	本服務 GreenLoad
核心定位	事後盤查、年度報表	設備即時監看	事前 what-if 調度決策沙盤
資料可獨立驗證	多為內部彙整、難外部查證	內部量測	全公開資料、可逐筆打 API 查證
碳排係數來源	通常採通用係數	不一定揭露	台電官方排碳係數（真實開放資料）
服務衝擊評估	無	無	同步給運能折損 % + 準點影響分數
國家基準對標	僅組織自身	無	對標運輸部門 CO ₂ （國家基準）
導入成本	需資料建置	需佈建感測硬體	零硬體、疊加既有營運

本服務差異化：唯一把「真實班表 × 官方排碳係數 × 國家碳排基準」三者串成單一即時沙盤，且每個建議同時揭露服務衝擊與逐步計算明細——把節能調度從「環保口號」變成「機構可採用、監理可查核的決策依據」。

四、使用對象

- **營運機構運務／調度單位**：離峰班表與編組調整的提案與沙盤推演。
- **機構永續／ESG 與企劃單位**：將節能動作量化為年化減碳、對標國家淨零路徑，產出可對上級與監理機關交代的數字。
- **主管機關與監理單位**：以公開資料即時核驗機構提報之減碳效益是否合理。
- **能源／成本管理部門**：評估省電 kWh 對應之電費與碳費效益。

五、產品特色

- **零硬體、純軟體外掛**：不改號誌、供電、車輛系統，疊加於既有營運之上，導入阻力低。
 - **全公開資料、可獨立驗證**：班表來自 TDX、排碳係數來自台電官方開放資料、國家基準來自運輸部門 CO₂ 開放資料；審查者與機構皆可自行打 `/api/grid-factor`、`/api/national-baseline` 比對。
 - **真實 vs 估算誠實分流**：里程（由真實站座標 Haversine 推估）、編組節數、載客率提升模型，皆以 `estimated / synthetic` 旗標逐欄標示，晉級後可換臺鐵實測值。
 - **不只算省碳，也算代價**：每個情境同時輸出運能折損 % 與準點／服務影響評分，並給出「低／中／高影響」判語，避免為減碳犧牲服務。
 - **可解釋、可場域驗證**：六步逐步計算明細（基準→減編組→併班→提升載客率→省碳→年化）完整揭露公式與輸入，機構可逐步覆核、於真實場域校準。
 - **可對標國家淨零**：年化減碳直接換算為占運輸部門 CO₂ 的比例，把單一調度動作接上國家淨零敘事。
-

六、產品功能（對應已上線端點）

- **三維調度沙盤（`/greenload/api/scenario`）**：離峰併班 × 減編組 × 提升載客率三支旋鈕即時運算，輸出省電 kWh、省碳 kgCO₂、年化減碳噸數、運能折損 %、準點影響分數與判語。
 - **逐步可解釋計算明細**：scenario 回傳六步 `calc_steps`，每步含公式、輸入、結果，前端「展開計算明細」逐步呈現。
 - **年化減碳 × 國家基準對標（`/greenload/api/national-baseline`）**：接入運輸部門 CO₂ 開放資料，計算本調度年化減碳占運輸部門與軌道部門之比例。
 - **台電排碳係數查驗（`/greenload/api/grid-factor`）**：回傳最新年度台電公司排放係數、來源 URL 與歷年序列，供獨立驗證。
 - **沙盤班次清單（`/greenload/api/fleet`）**：列出納入計算的真實班次（車次／車種／停站為真實，里程／編組標 `estimated`）。
 - **係數與資料溯源（`/greenload/api/meta`）**：揭露所有公開係數及其來源。
 - **基礎 what-if（`/greenload/api/whatif`）**：併班 × 減編組雙旋鈕的精簡即時運算。
-

七、資料來源

機關	資料集	連結 / 取得方式	用途	真實 / 估算
運輸資料流通平台	臺鐵 GeneralTrainTimetable (班次與停站序)	TDX OAuth2 API	取真實營運班次、車種、停站作為沙盤基底	真實開放資料
運輸資料流通平台	臺鐵 Station / StationPosition (站座標)	TDX OAuth2 API	由真實站座標推估站間里程	真實開放資料 (座標真實，里程為推估)
台電	電力排碳係數 (資料集 30151)	data.gov.tw	省電 kWh → 省碳 kgCO ₂ 之換算係數，取最新年度台電公司排放係數	真實開放資料
交通部運輸研究所	運輸部門歷年 CO ₂ 排放 (資料集 8331)	data.gov.tw	國家碳排基準，計算年化減碳占運輸部門比例	真實開放資料
— (估算維度)	站間里程	由真實站座標 Haversine × 路線曲折修正係數推估	班次能耗計算	估算 (route_km_estimated)，晉級換官方公里標
— (估算維度)	編組節數	deterministic 種子於合理區間生成，對齊公開工程估值	空調 + 牽引負載計算	合成 (cars_estimated)，晉級換臺鐵實測編組
— (估算維度)	載客率提升模型、單節能耗、座位數	公開鐵道工程估值區間	載客率 → 冗餘運量能耗折算	估算 (model 假設已明標)，晉級換逐列實測能耗
— (公)	軌道占運輸部門 CO ₂ 比例	公開估值	國家基準對標之軌道占比	估算 (rail_share_estimated)，晉級換官方分項統計

機關	資料集	連結 / 取得方式	用途	真實 / 估算
開估 值)				

所有估算欄位於 API 回傳中皆帶旗標並於頁面明標；真實開放資料與估算分流，審查可逐筆查證。

八、技術可行性與架構

- **後端**：Python FastAPI，模組以自動載入 router 掛載；GreenLoad 之 what-if 為純 **Python 確定性運算**，無外部相依，可重現、可離線覆核。
- **資料抓取層**：TDX OAuth2 token broker 取臺鐵班表與站座標；data.gov.tw 解析器取台電排碳係數與運輸部門 CO₂；皆以快取+容錯包裝，外部失效時退回明標之備援值不致中斷。
- **資料庫 / 前端**：PostgreSQL（含時序、空間、向量擴充）+ Redis 作為共用底座；前端 React / MapLibre，沙盤旋鈕以去抖動即時呼叫 scenario API。
- **部署**：Docker 容器化、Apache 反向代理、Let's Encrypt TLS，已上線於競賽中性網域子網域，可直接登入操作。
- **可行性要點**：核心計算不依賴敏感資料即可運轉；晉級後僅需替換「里程 / 編組 / 逐列能耗」三類估算欄位為臺鐵實測值，模型與介面不需重寫，即可由「合理推估」升級為「場域校準」。

九、晉級後規劃與場域驗證指標

資料升級路徑：取得臺鐵實際里程公里標、實際編組節數與逐列（或逐區間）實測能耗後，替換對應估算欄位；接入運輸部門軌道分項統計，將軌道占比由估值改真值。

場域驗證與 KPI：
- **準度驗證**：以實測能耗回灌，量測沙盤省電估算與實際差異，目標單班次能耗誤差收斂至可接受區間（目標 ±10% 內）。
- **減碳 ROI**：選定 1-2 條離峰路段試行併班 / 減編組，量測實際省電 kWh、對應電費與碳費節省，並核對年化減碳噸數。
- **服務守門**：試行期間監看實際候車時間與滿載率變化，驗證準點影響評分之預警有效性（不出現未預警之服務劣化）。
- **採用指標**：產出可供機構內部與監理單位採用之「調度節能提案模板」（含效益、衝擊、計算依據），以提案被採納件數作為實用性 KPI。
- **對標淨零**：將年化減碳持續對標運輸部門 CO₂，量化本服務對機構與國家淨零路徑之貢獻占比。

本服務的價值主張一以貫之：**零硬體、疊加既有營運、全公開資料可獨立驗證**——讓節能

調度成為一個機構今天就能採用、明天就能向監理單位交代的決策工具。