

EcoGrid AuditPredict: 綠電優化與用電審計預測系統

—— 專案分析與技術路徑報告 (V1.0)

1. 專案核心目標

本系統旨在利用 AI 預測模型，協助台灣企業在複雜的「時間電價 (TOU)」環境下，自動優化市電與再生能源的配比，並透過 LLM 生成專業的用電審計報告與節能決策建議。

2. 數據來源清單 (台灣本土開放資料)

為確保模型的本土準確性，系統將串接以下資料源：

數據類別	資料來源項目 (API/Dataset)	用途
電力負載	[台電] 過去電力供需資訊 / 各縣市住商用電	訓練基礎負載模型
太陽能/風力	[台電] 再生能源發電量動態 / 能源署統計月報	再生能源產能建模
氣象因子	[氣象署] 自動氣象站觀測 (日射量、氣溫、風速)	預測模型關鍵特徵 (Features)
電價結構	[台電] 各種電價表與時間電價時段說明	TOU 成本計算邏輯核心
碳排係數	[能源署] 電力排碳係數 (每年更新)	審計報告中的碳足跡量化

3. 時間電價 (TOU) 成本計算邏輯

本專案的關鍵競爭力在於「智慧轉供策略」，系統會根據台電最新的電價時段進行成本極小化計算：

- 時段定義：** 區分 尖峰 (Peak)、半尖峰 (Semi-peak)、離峰 (Off-peak)。
- 動態成本函數：**

$$TotalCost = \sum (Load_t \times Tariff_t) - \sum (Solar_t \times Tariff_t)$$

其中 $Tariff_t$ 會根據季節 (夏季/非夏季) 與時段動態調整。

3. 優化目標：

- 削峰填谷：** 在離峰時段儲能或執行高耗能製程。
- 綠電匹配：** 優先在尖峰電價時段使用自發綠電，以抵銷高額電費。

4. 關鍵技術棧與工具分析

4.1 核心開發工具

- 語言：** Python 3.10+

- **數據處理：** Pandas , NumPy , Polars (處理大規模氣象與電力時序資料)
- **資料抓取：** requests , httpx , BeautifulSoup (爬取台電與氣象署 API)

4.2 AI 預測模型 (Predictive Engine)

- **負載預測 (Load Forecasting)：** * XGBoost 或 LightGBM (適合處理 tabular 結構特徵)
 - Prophet (Facebook 開源，擅長處理台灣節慶、連假對用電的影響)
 - Informer 或 PatchTST (進階 Transformer 模型，適合長序列預測)
- **再生能源預測：** Random Forest 或 LSTM 。

4.3 最佳化演算法 (Optimization)

- **求解器：** PuLP 或 Pyomo (用於建立線性規劃模型，尋找最低電費解)。
- **策略：** 混合整數線性規劃 (MILP)，考慮電池充電狀態、合約容量上限、製程連續性限制。

5. LLM 串接與應用場景 (LLM-as-an-Analyst)

LLM (如 GPT-4o 或 DeepSeek-V3) 在此系統中不只是聊天，而是作為 **「智慧審計員」**。

5.1 串接技術

- **框架：** LangChain 或 LlamaIndex 。
- **方法：** Agentic RAG (代理式檢索增強生成)。
 - 系統將預測結果與 TOU 計算後的數值轉換為文字摘要。
 - LLM 透過 Function Calling 調用分析工具，讀取 Excel/CSV 用電報告。

5.2 具體應用

1. 自動化審計報告生成：

- **輸入：** 本週用電數據與預測差異。
- **輸出：** 「本週尖峰時段用電超出預期 15%，建議下週將 A 製程移至離峰時段，預計可節省 5,000 元電費。」

2. 異常偵測解釋：

- 當系統偵測到某設備異常用電，LLM 會對比歷史模式並生成警告訊息：「檢測到三號空調組件功率異常，可能發生冷媒外洩或濾網堵塞，請派員檢查。」

3. 政策與法規對齊：

- LLM 可即時解讀能源署最新的減碳政策，建議企業如何調整綠電購買比例以符合 ESG 規範。

6. 預期架構流程圖

```
graph LR
    A[台電/氣象署資料] --> B(數據預處理 ETL)
    B --> C{AI 預測引擎}
    C --> D[TOU 成本優化模型]
```

C --> |預測綠電| D
D --> E[最佳排程建議]
E --> F((LLM 智慧顧問))
F --> G[生成審計報告/警告]
F --> H[對話式決策支援介面]

7. 專案執行挑戰與解法

- **挑戰：**台電 API 有時會變更路徑或限流。
 - **解法：**建立 Retry 機制與資料本地快取庫。
- **挑戰：**綠電預測受天氣突變影響。
 - **解法：**導入「滾動式預測 (Rolling Forecast)」，每小時更新一次未來 24 小時的預估值。
- **挑戰：**LLM 可能在處理數據運算時產生幻覺。
 - **解法：**所有計算由 Python 腳本執行，LLM 僅負責解釋運算結果，不直接參與複雜計算。

8. 結論

EcoGrid AuditPredict 不僅是一個監控系統，而是一個具備「前瞻性」的決策工具。加入 **TOU 計算** 解決了企業的財務痛點，串接 **LLM** 則大幅降低了專業能源管理的門檻。