

# 人工智慧與大數據分析技術於 智慧電網之應用

---

蘇恆毅

2020/09/22



## 學歷

- 台灣大學電機博士

## 經歷

- 逢甲大學電機系副教授
- 研華科技工程師

## 研究專長

- 智慧電網
- 廣域量測系統
- 再生能源
- 人工智慧、機器學習、大數據分析



Point  
1

智慧型電網技術

Point  
2

人工智慧與大數據  
分析技術

Point  
3

負載預測與再生  
能源發電量預測

# 電業發展所面臨的問題

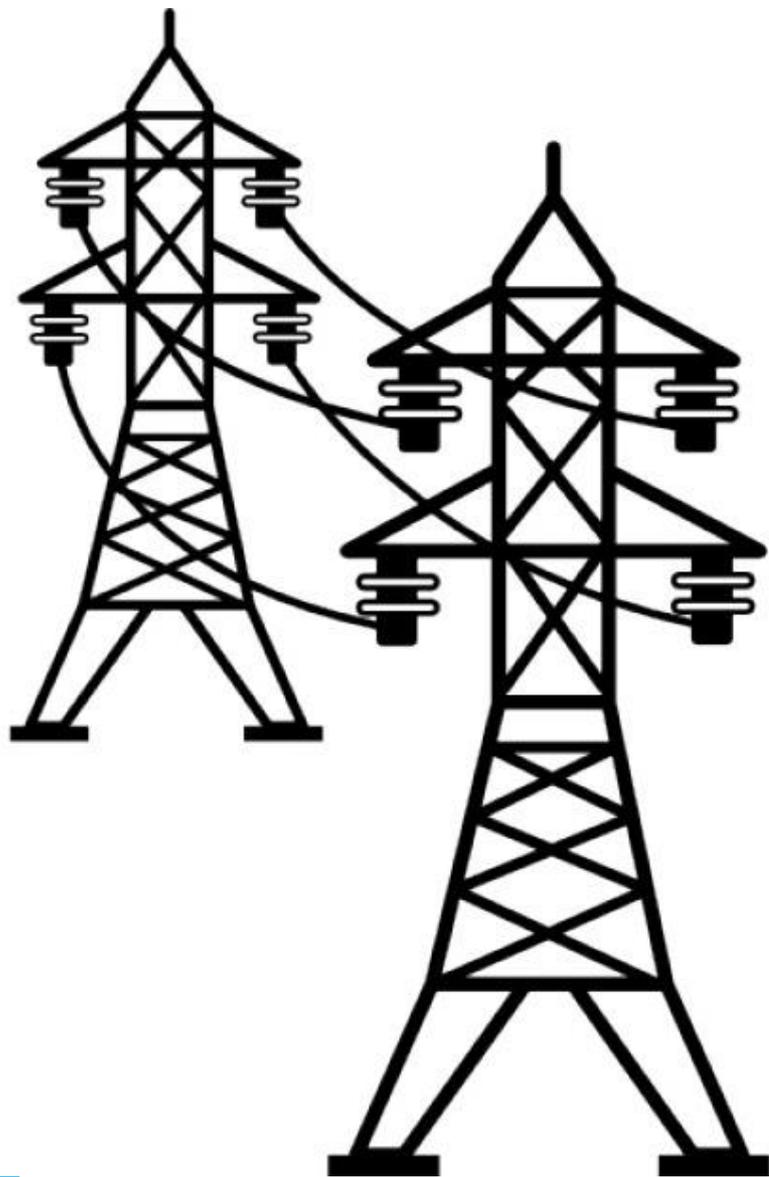
# 電業發展所面臨的問題 (1/4)



## 電力需求持續增長

- 美國、歐洲及開發中國家在內
- 工商業活動、民生便利與國防安全

# 電業發展所面臨的問題 (2/4)



## 傳統電網基礎設備

- 太過老舊且不合時宜
- 嚴重影響電力傳輸的效益與安全性
- 無法應付21世紀供電的挑戰

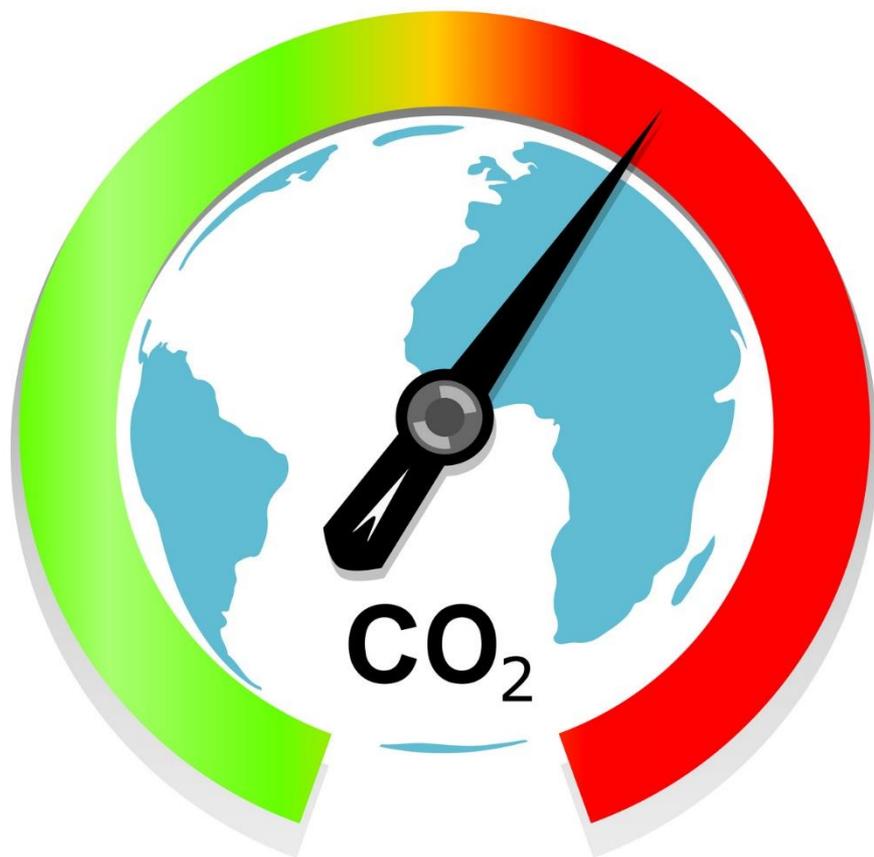
# 電業發展所面臨的問題 (3/4)

## 全球能源供應短缺

- 發電過程需使用到傳統能源（化石燃料）
- 煤、石油及天然氣終有耗盡的一天
- 台灣傳統能源極為缺乏，進口比重已達99%以上



# 電業發展所面臨的問題 (4/4)



## 全球溫室效應

- 大量使用化石燃料
- 過度排放CO<sub>2</sub>等溫室氣體
- 破壞原先自然環境
- **地球暖化問題越來越嚴重**
- 聯合國制訂溫室氣體減量機制 (限制CO<sub>2</sub>的排放量)

# 未來電網的發展與推動

## 政府的因應對策

- 發展潔淨能源
- 提高能源效率
- 確保未來經濟成長  
能源穩定供應
- 能源安全、環境保護與經濟提振三贏的目標



# 新世代電力系統

## 智慧電網概念

- 具備人工智慧的電力網路
- 更靈活且有效地調度電力供需
- 以達節約用電的目的
- 涵蓋層面非常廣泛
- **功能、需求及定義(隨不同國家、不同電力系統而有所不同)**



# 智慧型電網

# 智慧型電網

再生能源

智慧電表

傳統的  
電力系統

先進的控制方式

先進的通訊技術



# 智慧型電網的發展

## 先進讀表基礎建設



## 再生能源之分散式發電



# 智慧電表功能

時段計價



智慧家庭



遠端系統



自動斷電



Smart Meter



節能減碳



需量反應



# 再生能源種類



太陽能



風力能



水力能



海洋能



生質能



地熱能

## 再生能源

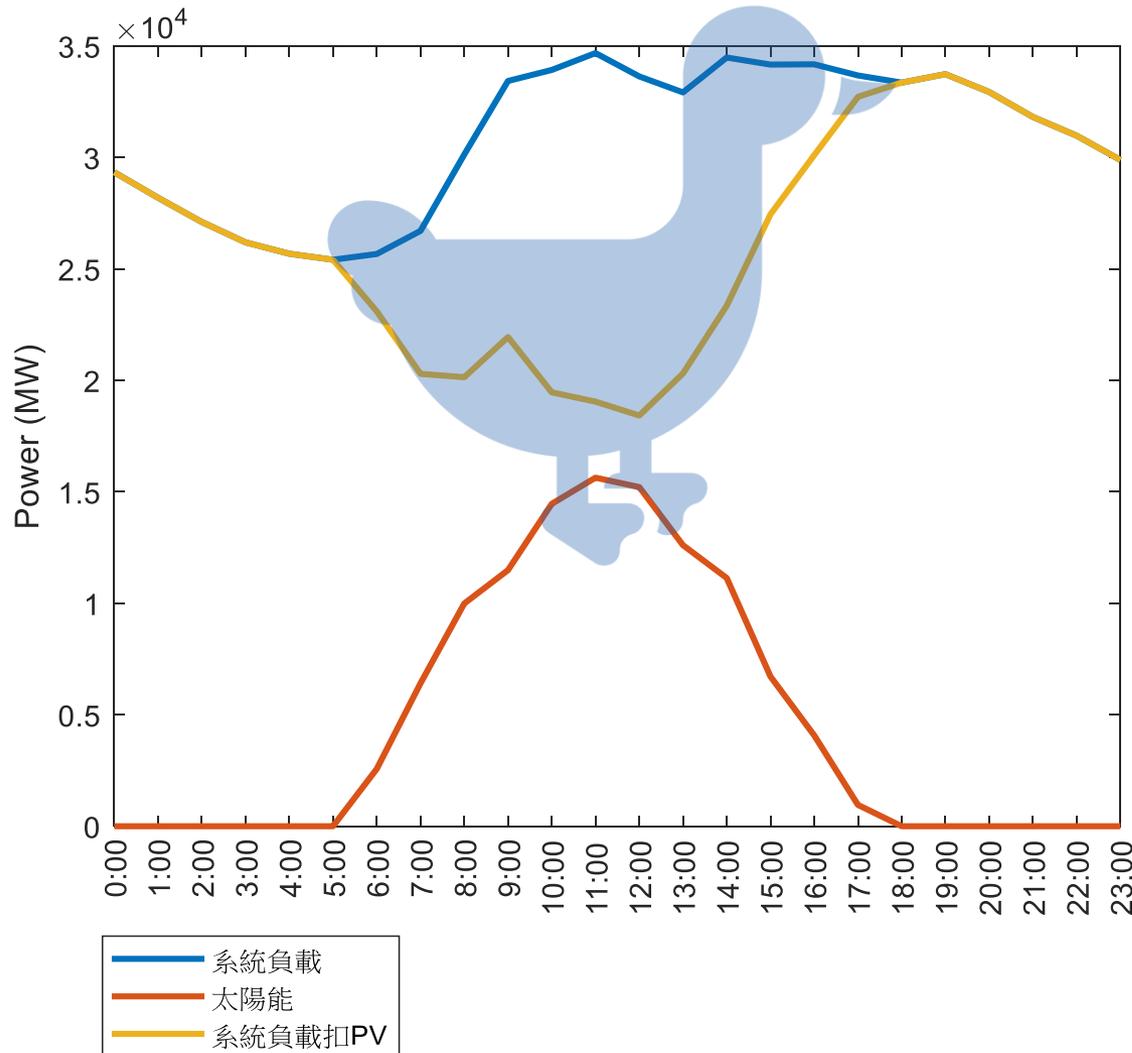
- 能源來源多元且符合環保訴求
- 不同地區所形成之自然環境條件有所不同
- 各個地區可依其能源取得條件選擇對其最有利之方式來發電

# 2025年預估之發電配比與電價變化

2025年電價：約3.0788元/度(較2017年增加0.53元)

年別	2018	2025
	占比	占比
再生能源	4.7%	20%
核能	10.1%	1%
抽蓄	1.2%	1%
燃氣	34.6%	50%
燃煤	46.3%	27%
燃油	3.1%	1%
合計	100%	100%

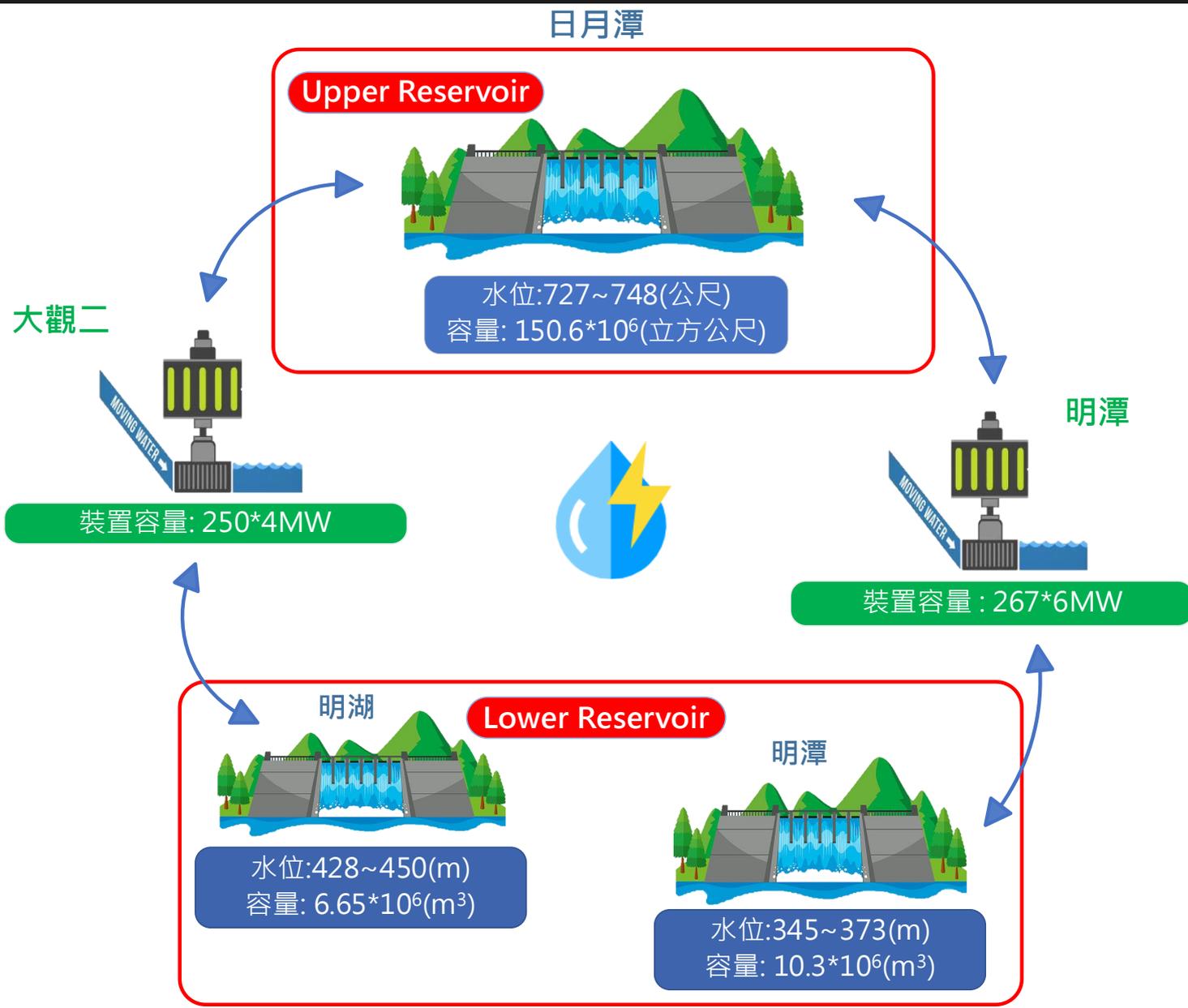
# 再生能源高滲透率對電網的影響



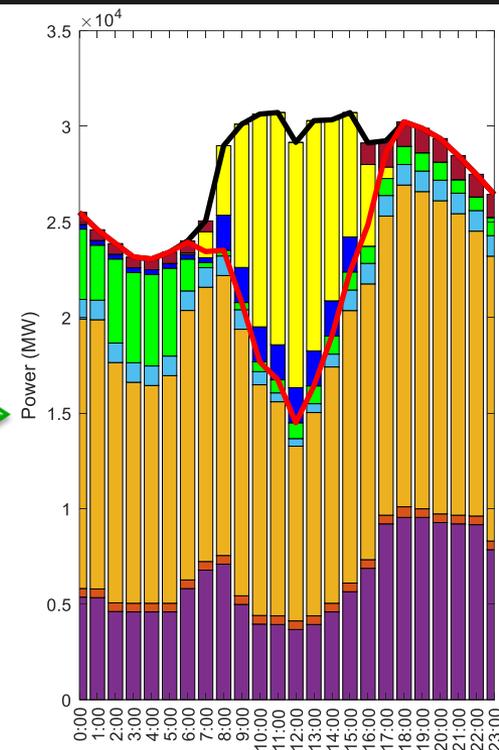
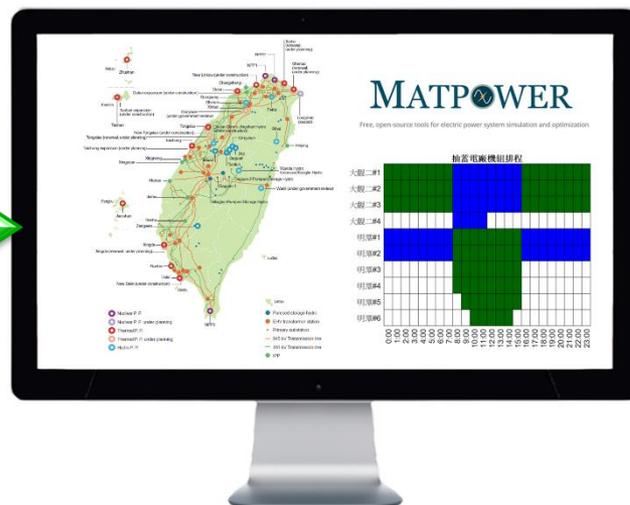
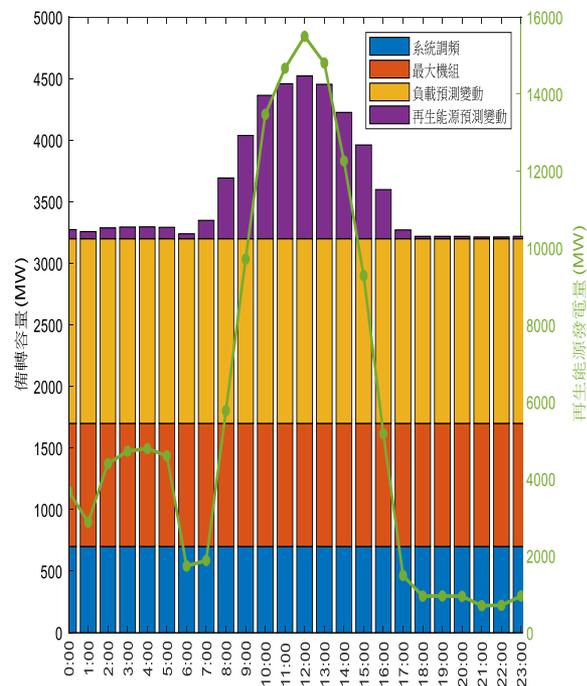
## 鴨子曲線

- 系統負載由於白天太陽能承擔了一定程度的發電量，導致淨負載曲線下凹形成「鴨子曲線」，使得基載發電機組白天出力情形可降低。
- 從太陽升起時，其他機組開始降載形成「鴨腹」，太陽開始下山其他機組必須升載形成「鴨頸」。
- 再生能源占比越高，電力調度的難度也越高。

# 抽蓄機組(大觀二4台，明潭6台)



# 抽蓄電廠運轉模式最佳化



- 系統調頻
- 最大機組容量之熱機備援
- 冷機備援與負載預測變動
- 再生能源預測變動

- 設定備轉容量
- 考慮抽蓄機組抽發模式
- 考慮水位高低限制

- 正常抽發模擬結果
- 一抽一發模擬結果
- 同廠抽發模擬結果

# 先進智慧型電網議題與技術

- 負載預測
- 再生能源發電量預測
- 人工智慧技術於智慧電網之應用
- 大數據分析技術於智慧電網之應用

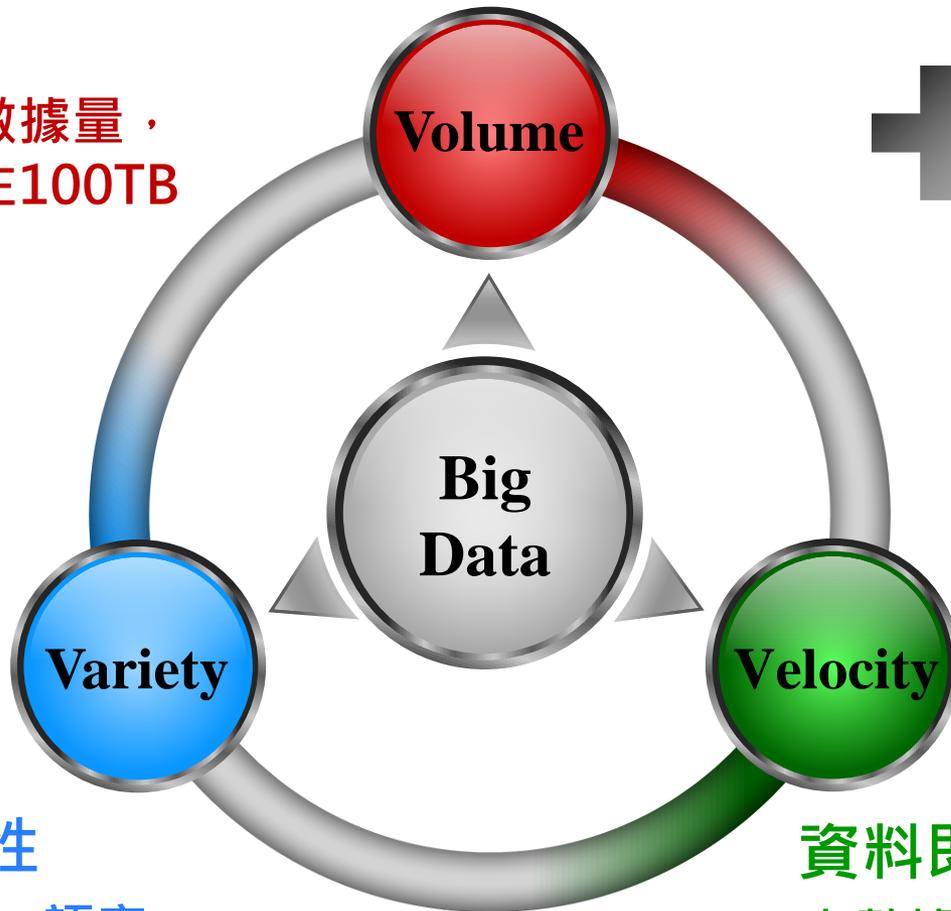


# 大數據分析 技術

# 大數據資料特性

## 資料量

龐大的數據量，  
資料量在100TB  
以上



## 資料多元性

文字、位置、語音  
、影像、圖片...等  
結構化與非結構化  
包羅萬象的資料

## 資料即時性

大數據強調資料  
的時效性，及時的  
資料及分析才能  
發揮最大價值

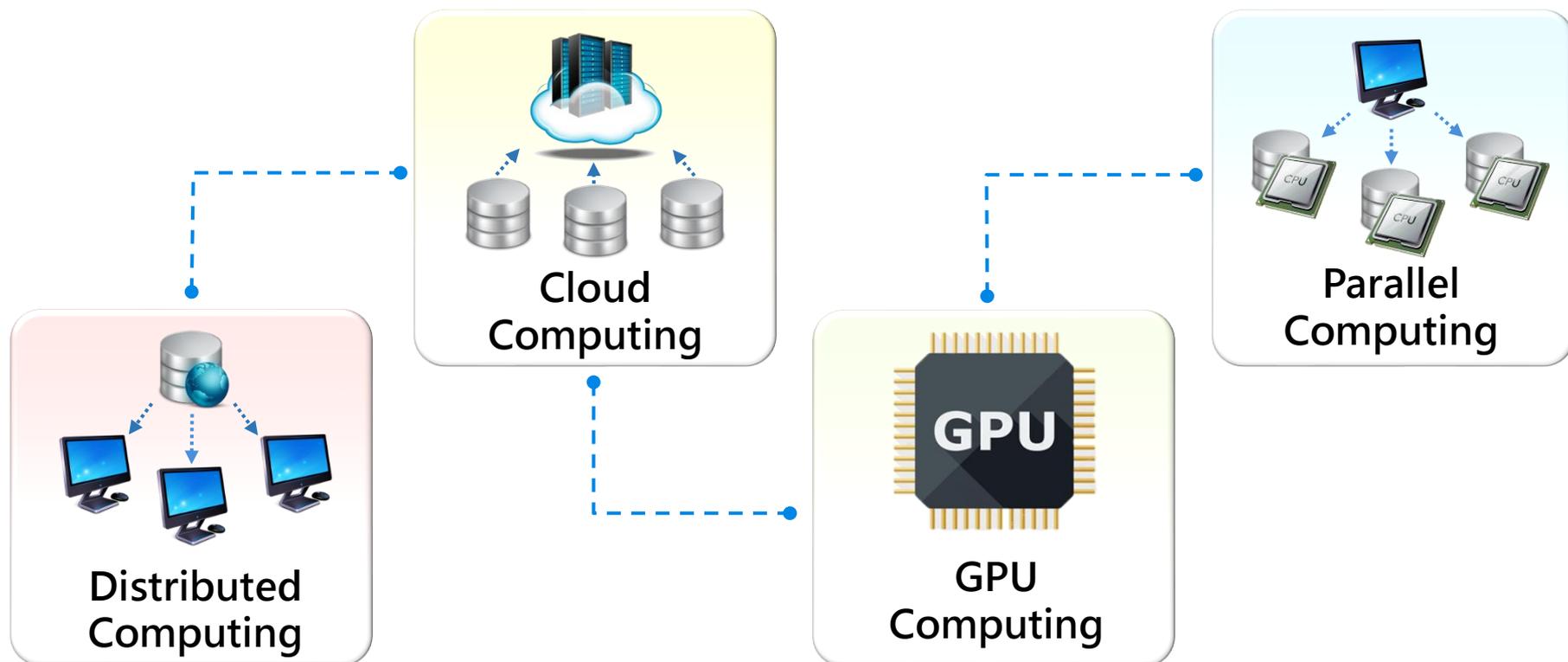
## Veracity

## 資料真實性

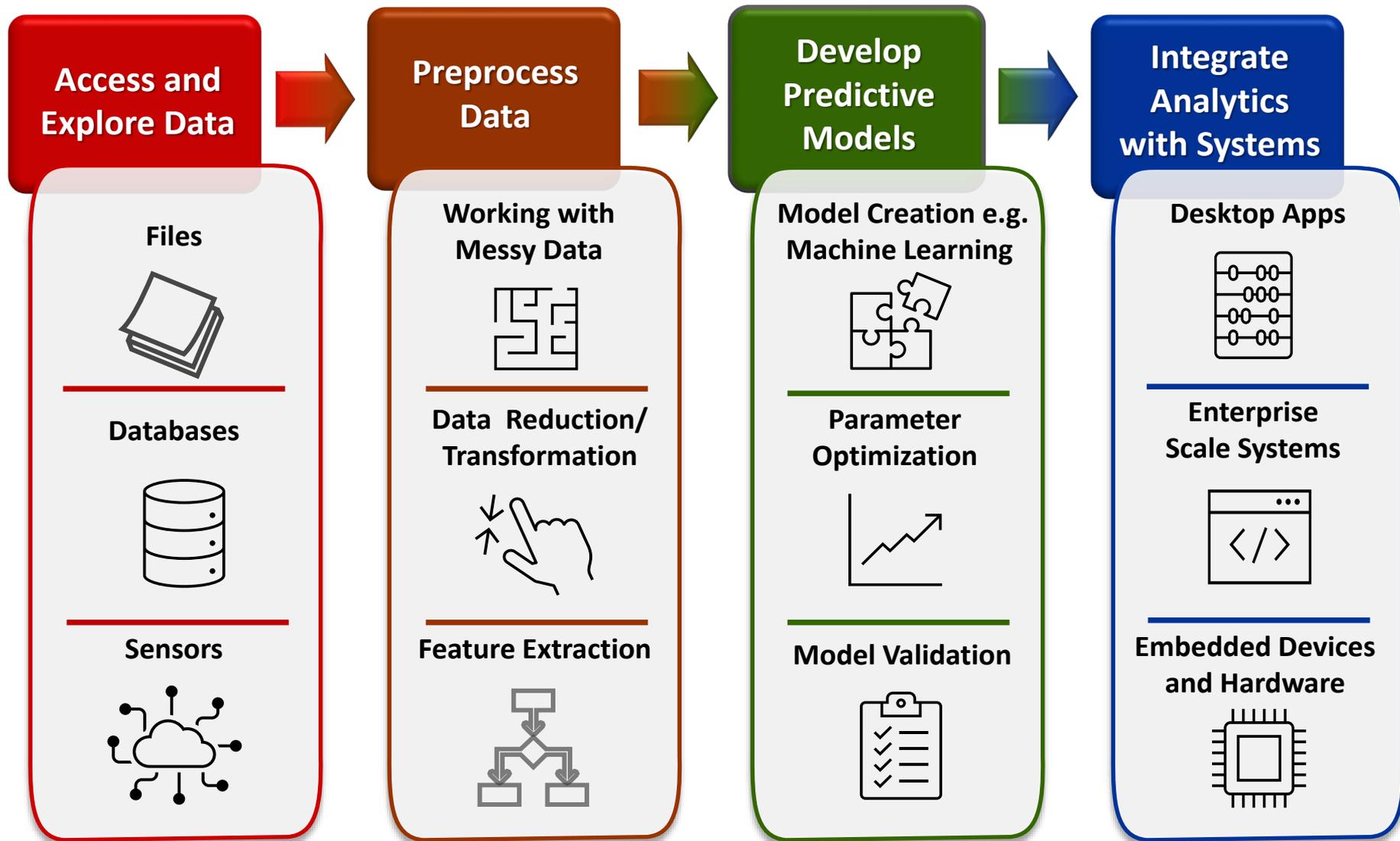
對於數據必須篩  
選來源的真實性，  
是否造假或異常  
值，這些資料才  
有價值。

# 大數據處理技術

- 近年來因資料量急速成長、儲存設備成大幅本下降、軟體技術進步及雲端科技的成熟造就了大數據的崛起。
- 處理大數據技術包含了分散式運算、雲端運算、繪圖處理器運算及平行運算。



# 數據分析流程(1/4)



# 數據分析流程(2/4)

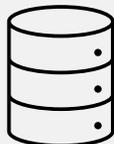
## Access and Explore Data



### Files



### Databases



### Sensors



## Challenges

- Data aggregation
  - Different sources (files, web, etc.)
  - Different types (images, text, audio, etc.)
- Data clean up
  - Poorly formatted files
  - Irregularly sampled data
  - Redundant data, outliers, missing data etc.
- Domain specific processing
  - Signs: Smoothing, resample, denoising, Wavelet transforms, etc.
  - Images: Image registration, morphological filtering, deblurring, etc.
- Dealing with out of memory data (big data)

## Preprocess Data



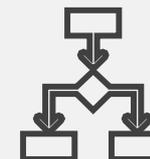
### Working with Messy Data



### Data Reduction/Transformation



### Feature Extraction



# 數據分析流程(3/4)

## Preprocess Data

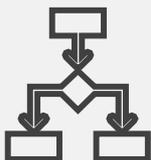
### Working with Messy Data



### Data Reduction/Transformation



### Feature Extraction

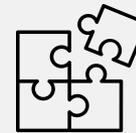


## Challenges

- Lack of data science expertise
- Feature Extraction – How to transform data to best represent the system?
  - Require subject matter expertise
  - No right way of designing features
- Feature Selection – What attributes or subset of data to use
  - Entails a lot of iteration – Trial and error
  - Difficult to evaluate features
- Model Development
  - Many different models
  - Model Validation and Tuning

## Develop Predictive Models

### Model Creation e.g. Machine Learning



### Parameter Optimization



### Model Validation



# 數據分析流程(4/4)

## Develop Predictive Models

Model Creation e.g. Machine Learning



Parameter Optimization



Model Validation

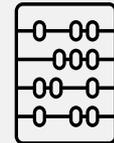


## Challenges

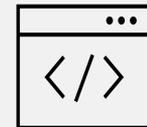
- End user: Operators, Analysts, Administrative Staff, Customers etc.
- Different target platforms:
  - Cluster or Cloud environment
  - Standalone desktop applications
  - Server bases Web and enterprise systems
  - Embedded hardware
- Different Interfaces: C++, Java, Python, .Net etc.
- Need to translate analytic to production environment

## Integrate Analytics with Systems

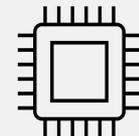
Desktop Apps



Enterprise Scale Systems

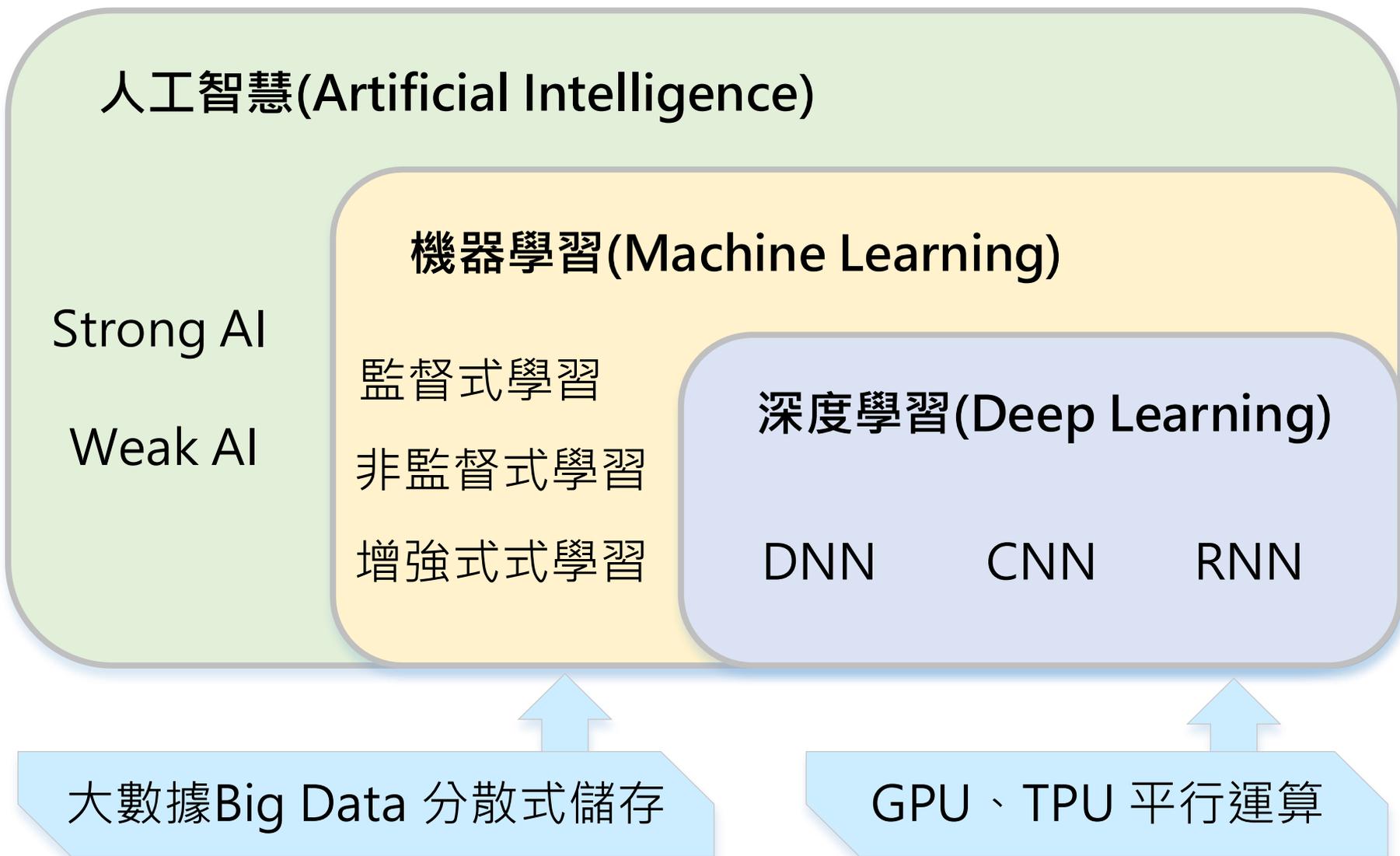


Embedded Devices and Hardware



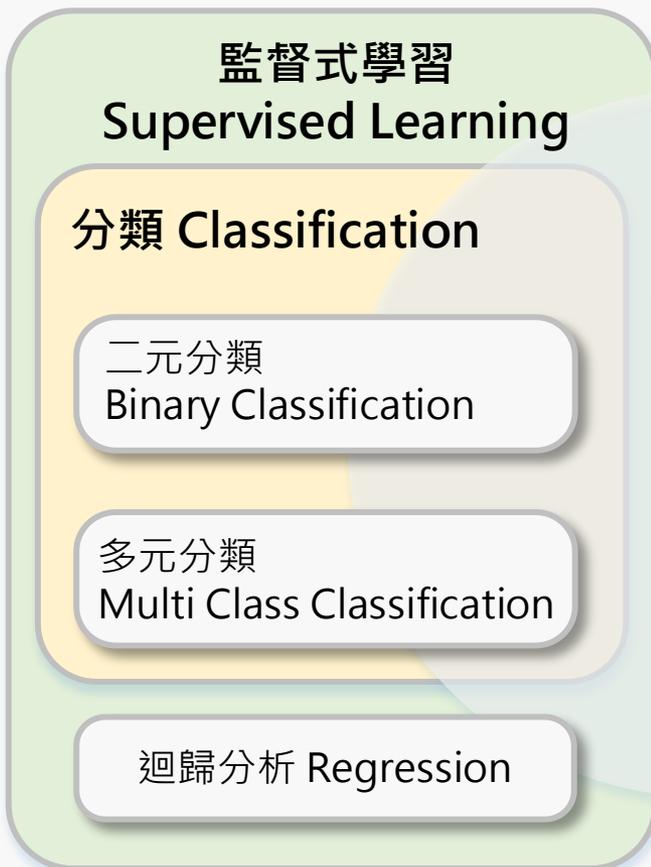
# 人工智慧 技術

# 人工智慧(AI)技術

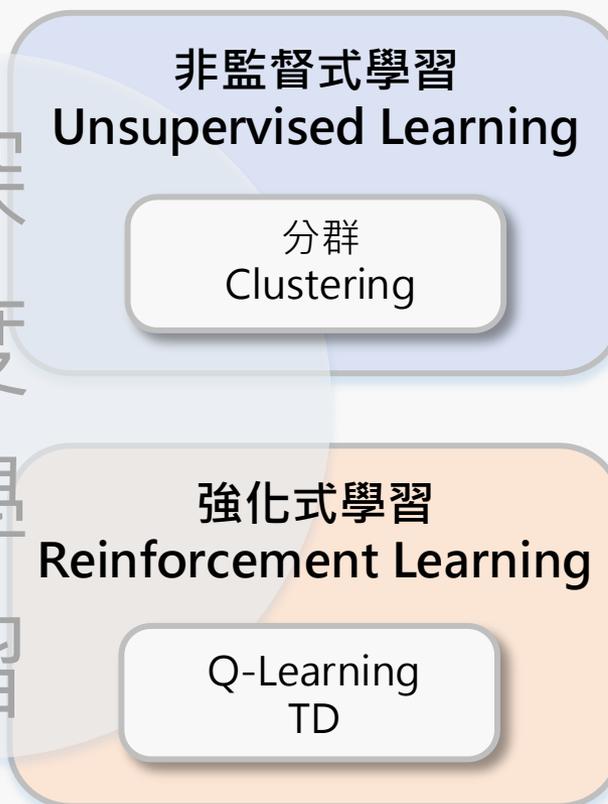


# 機器學習與深度學習

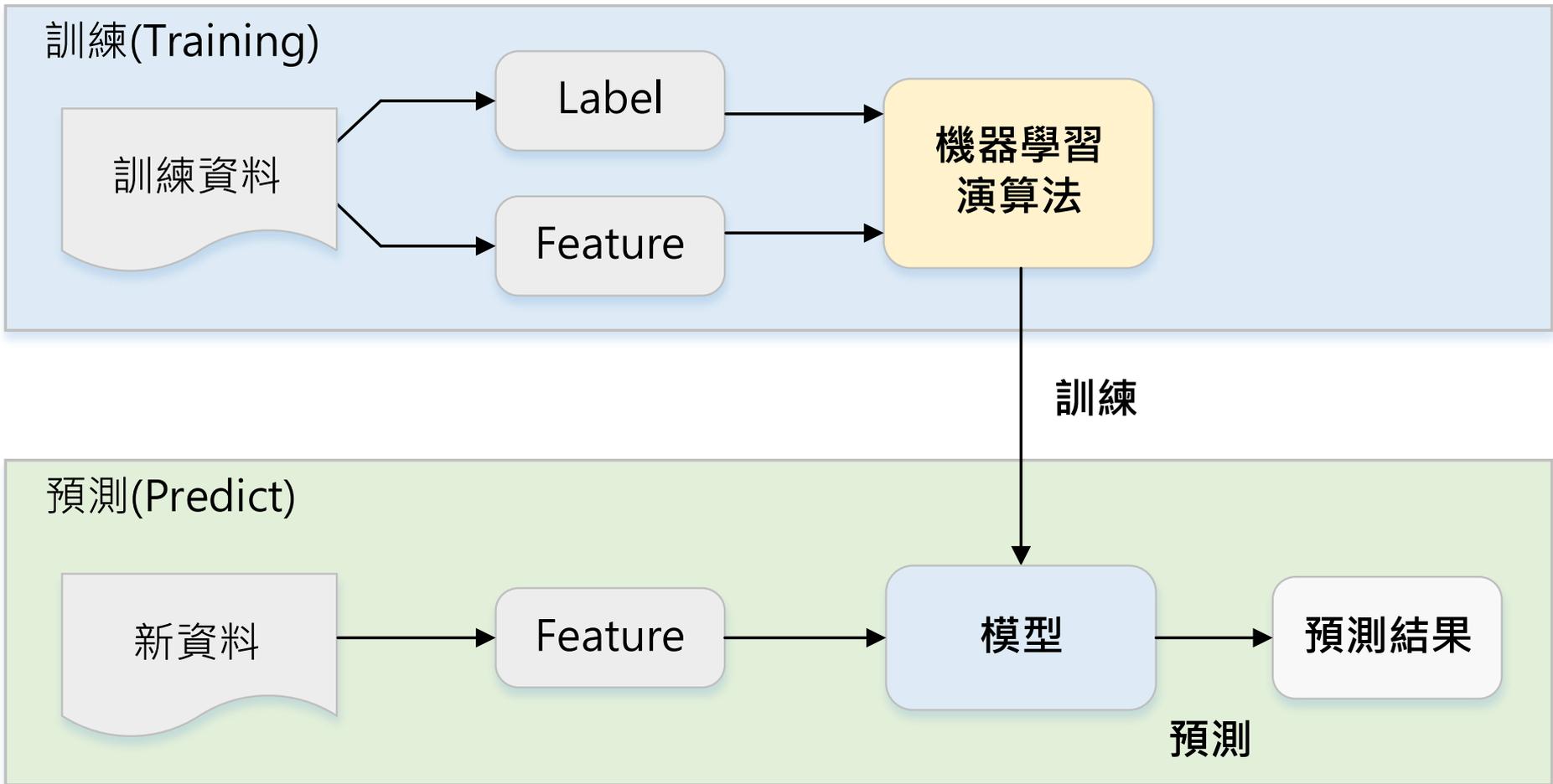
## 機器學習 Machine Learning



深度學習

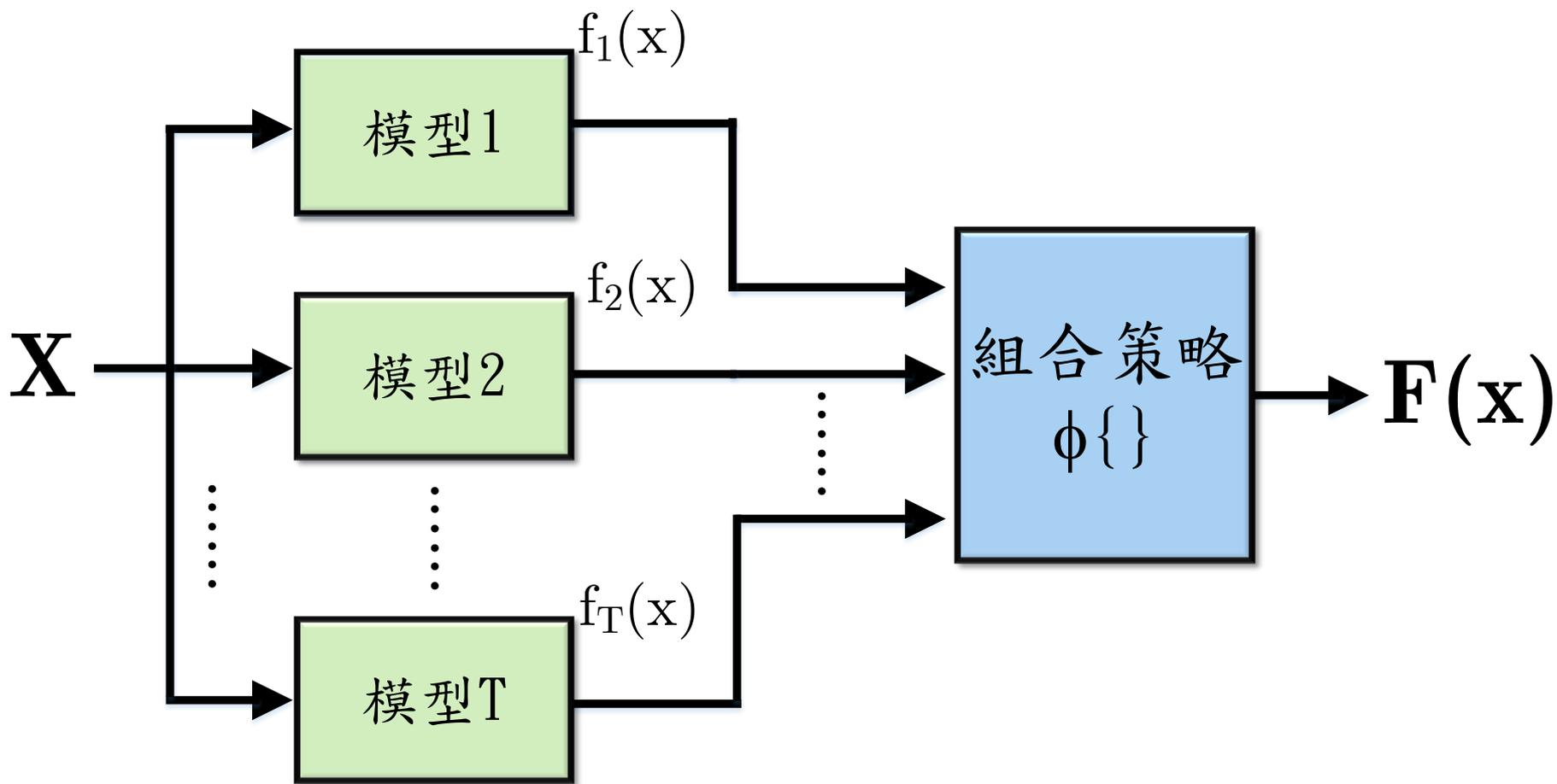


# 模型預測

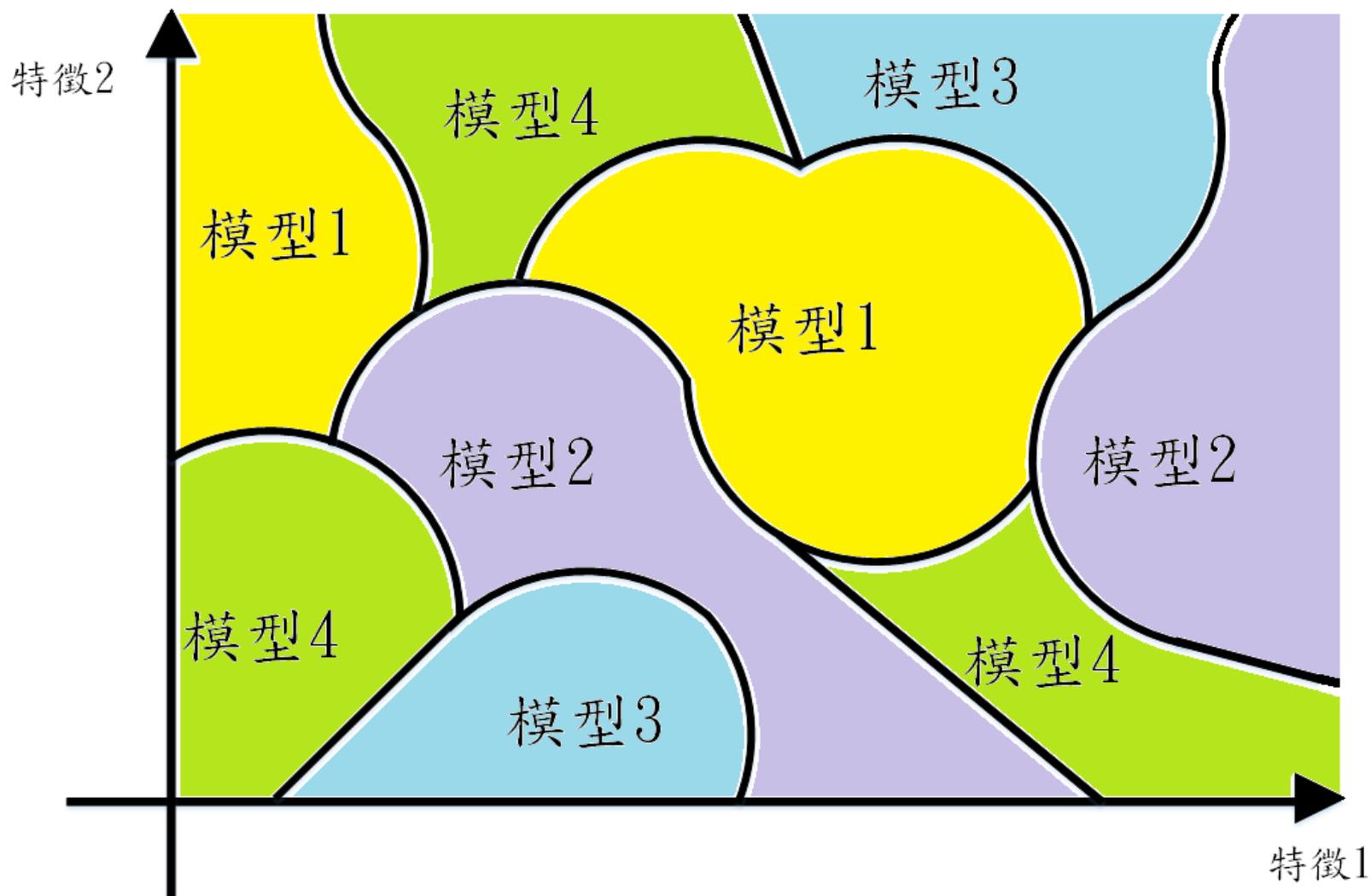


# 整體/集成 學習技術

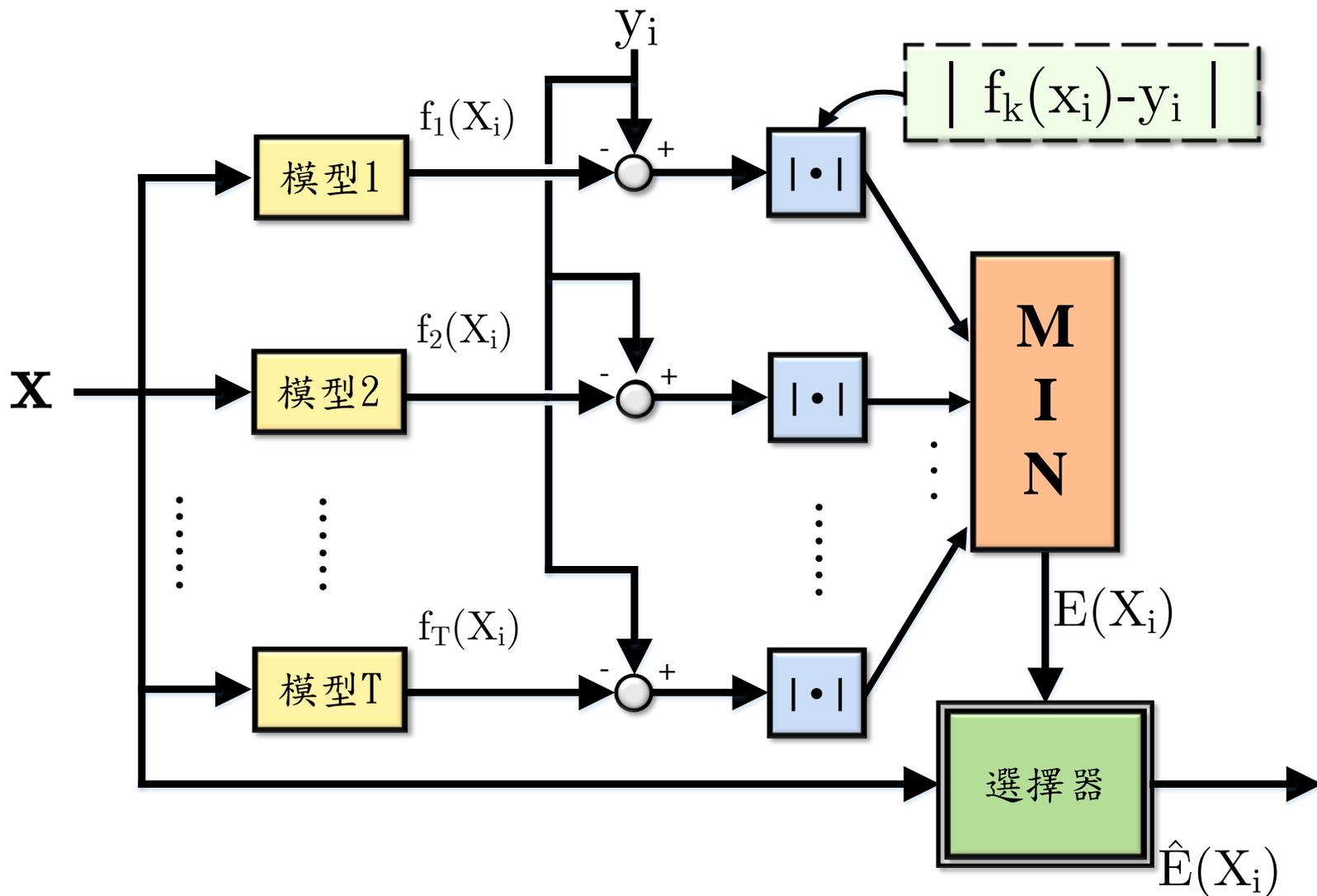
# 整體/集成學習架構



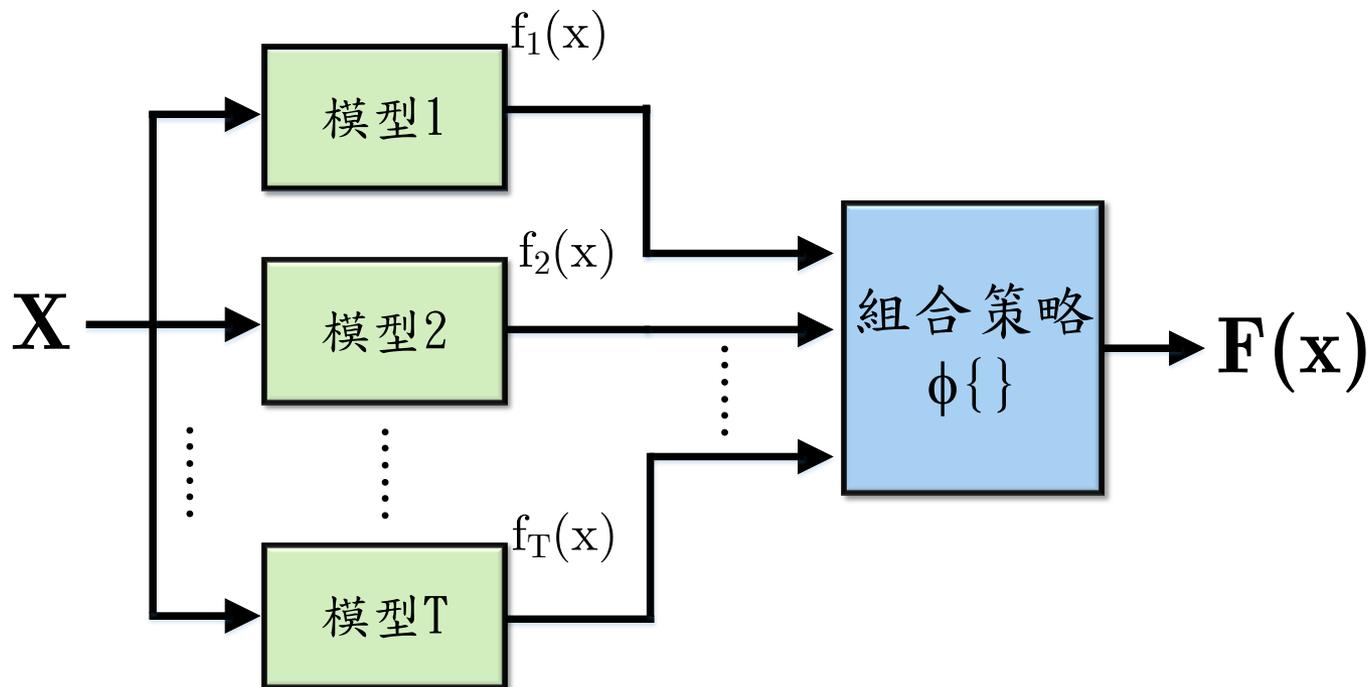
# 基於選擇的方法(1/2)



# 基於選擇的方法(2/2)



# 基於組合的方法



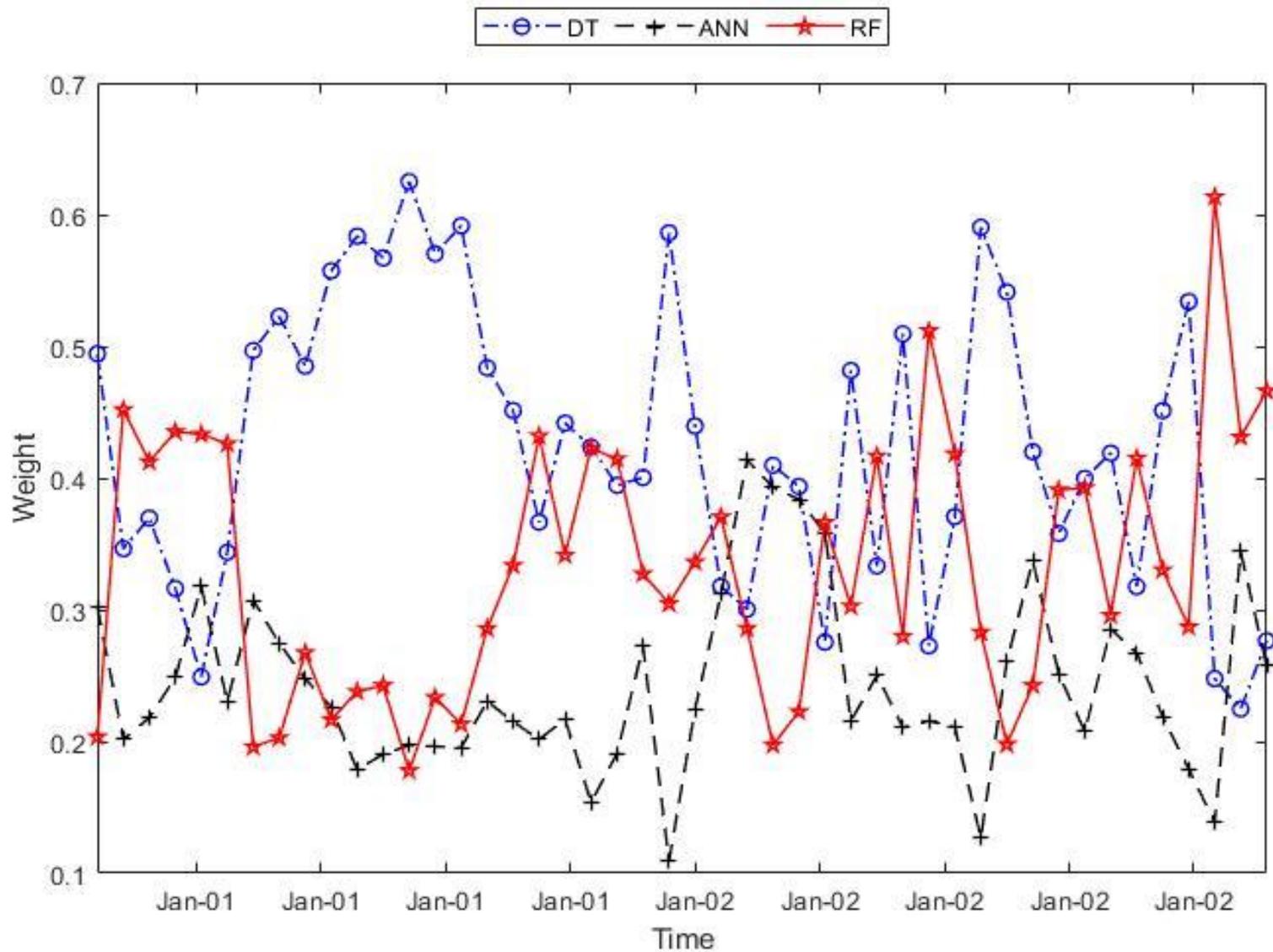
平均組合策略

$$F(\mathbf{x}) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T f_i(\mathbf{x})$$

加權組合策略

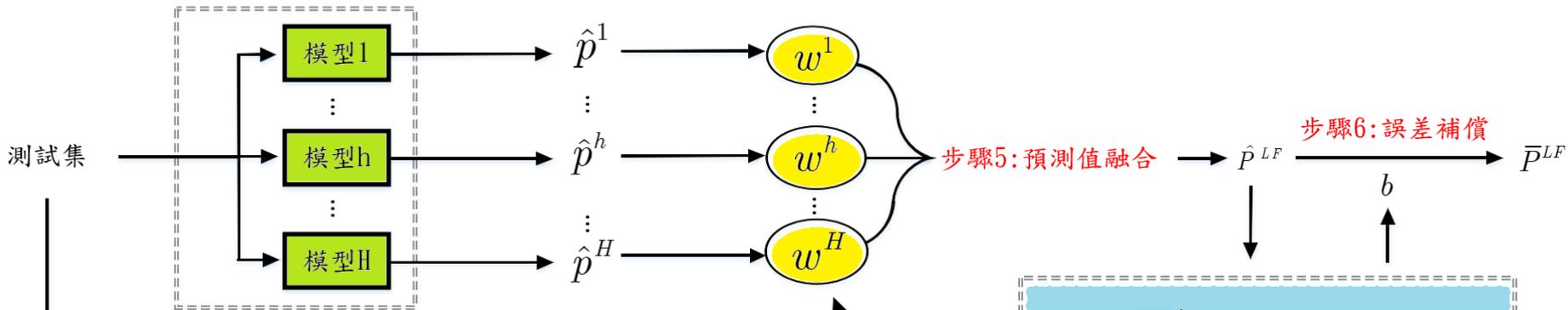
$$F(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^T \beta_i f_i(\mathbf{x})$$

# 動態權重示意圖



# 所提基於改良型局部融合模型架構

步驟1: 隨機採樣  
不同模型產生不同預測值

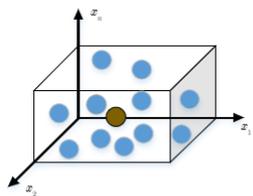


步驟3: 權重計算  
步驟4: 計算特徵距離，改善權重

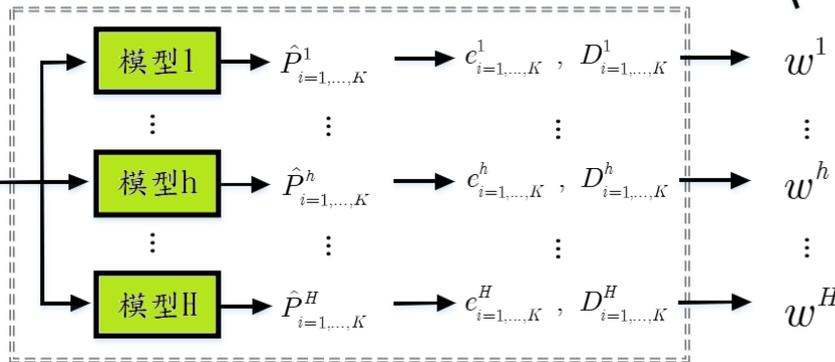
$$b = \sum_{m=1}^g r^m E_{t-m}, \quad 0 < r < 1$$

$$E_{t-m} = \{Actual_{t-1,t-2,\dots,t-g} - \hat{P}_{t-1,t-2,\dots,t-g}^{LF}\}$$

步驟2: 檢索鄰域



● 測試集  
● 近鄰集



$$D_i^h = \left( \sum_{j=1}^t (|Q_j - u_j|)^q \right)^{\frac{1}{q}}, \quad q = 1, 2, \dots, \infty$$

# 負載與再生能源 發電量預測

# 負載預測

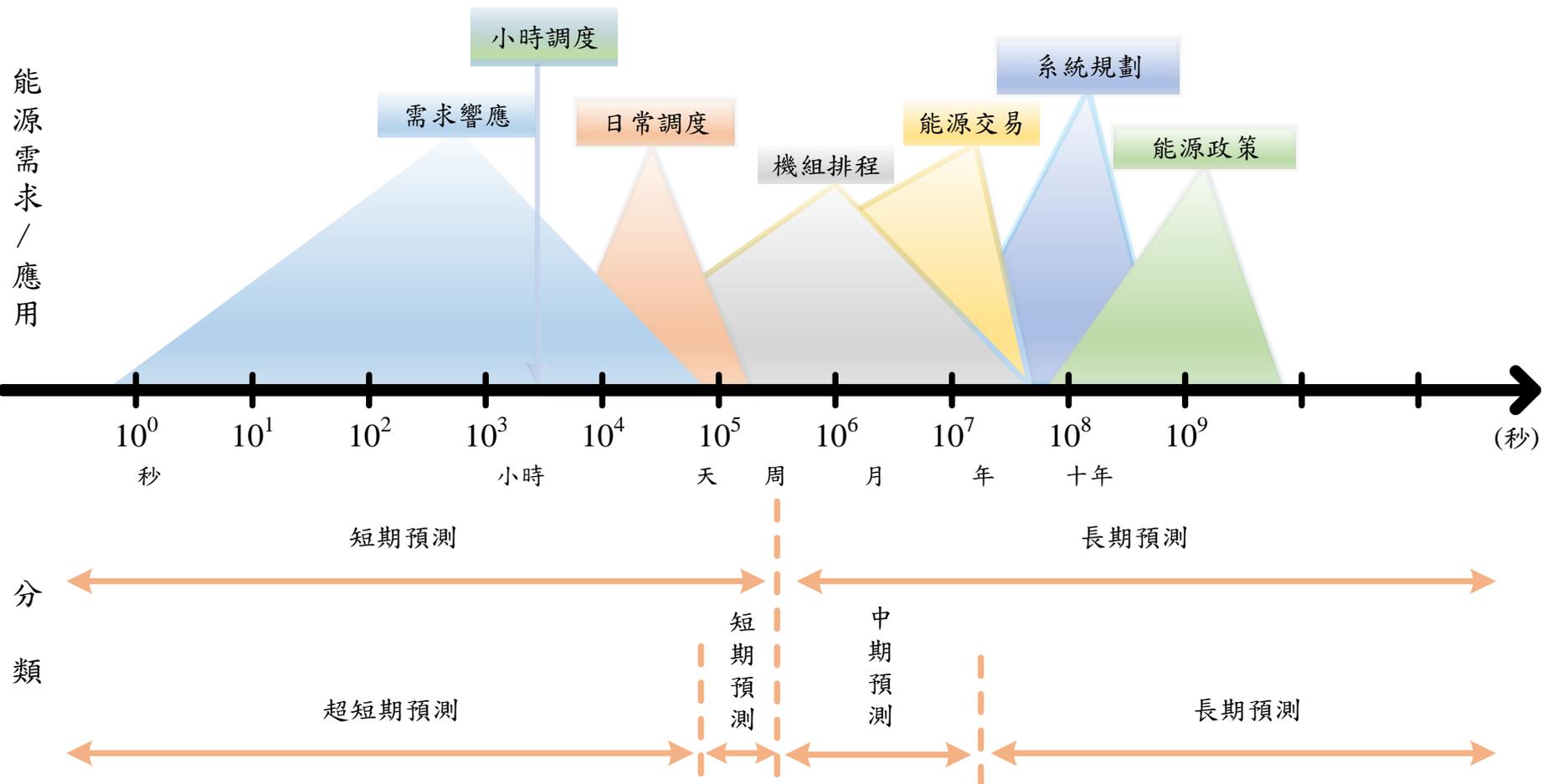


## 負載預測

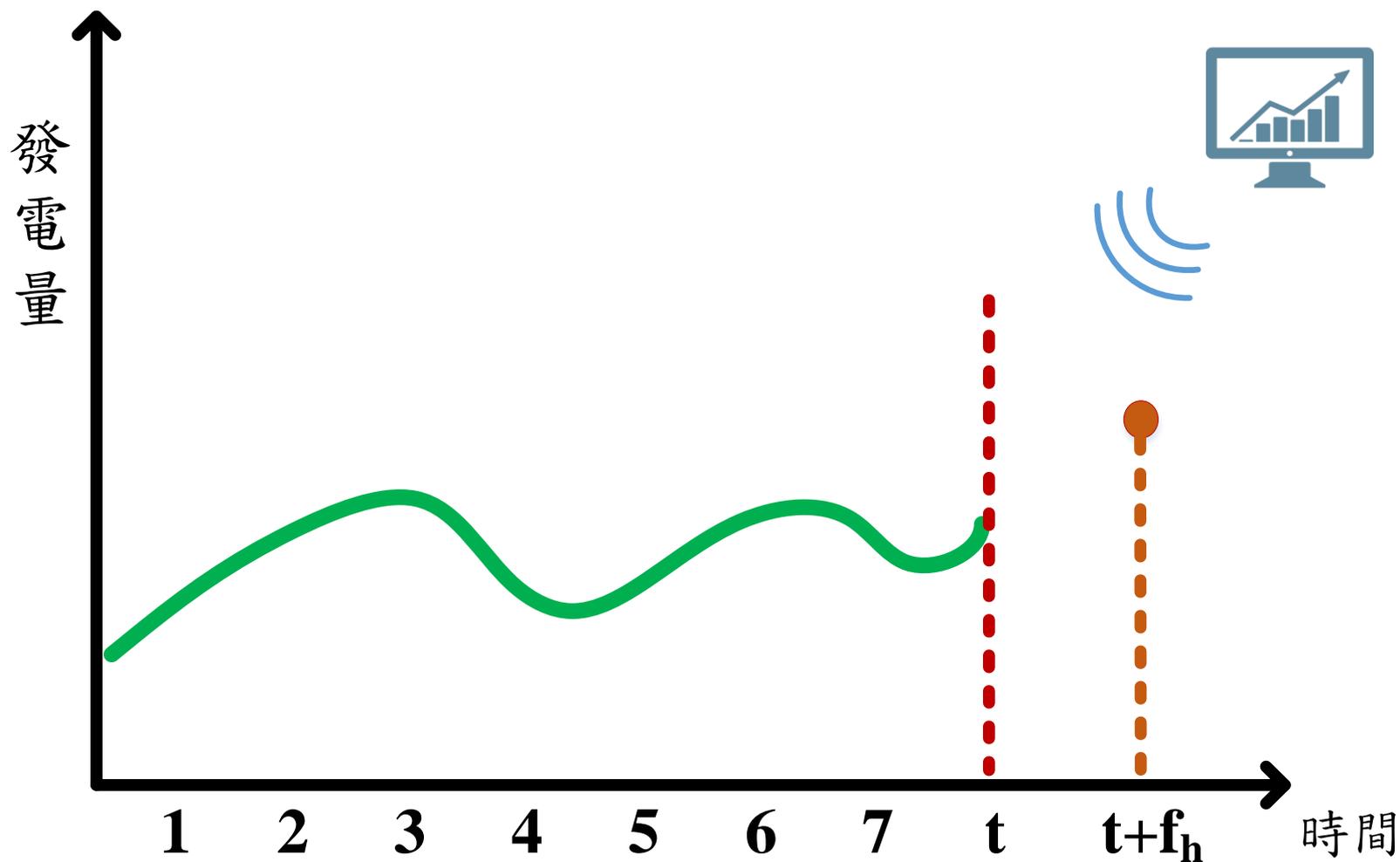
- 負載預測與電力系統發展息息相關，如能源市場分析、經濟調度及安全評估。
- 負載預測的**準確性**會影響電力系統的規劃、調度與管理。
- 負載預測為有效管理電網的關鍵因素。



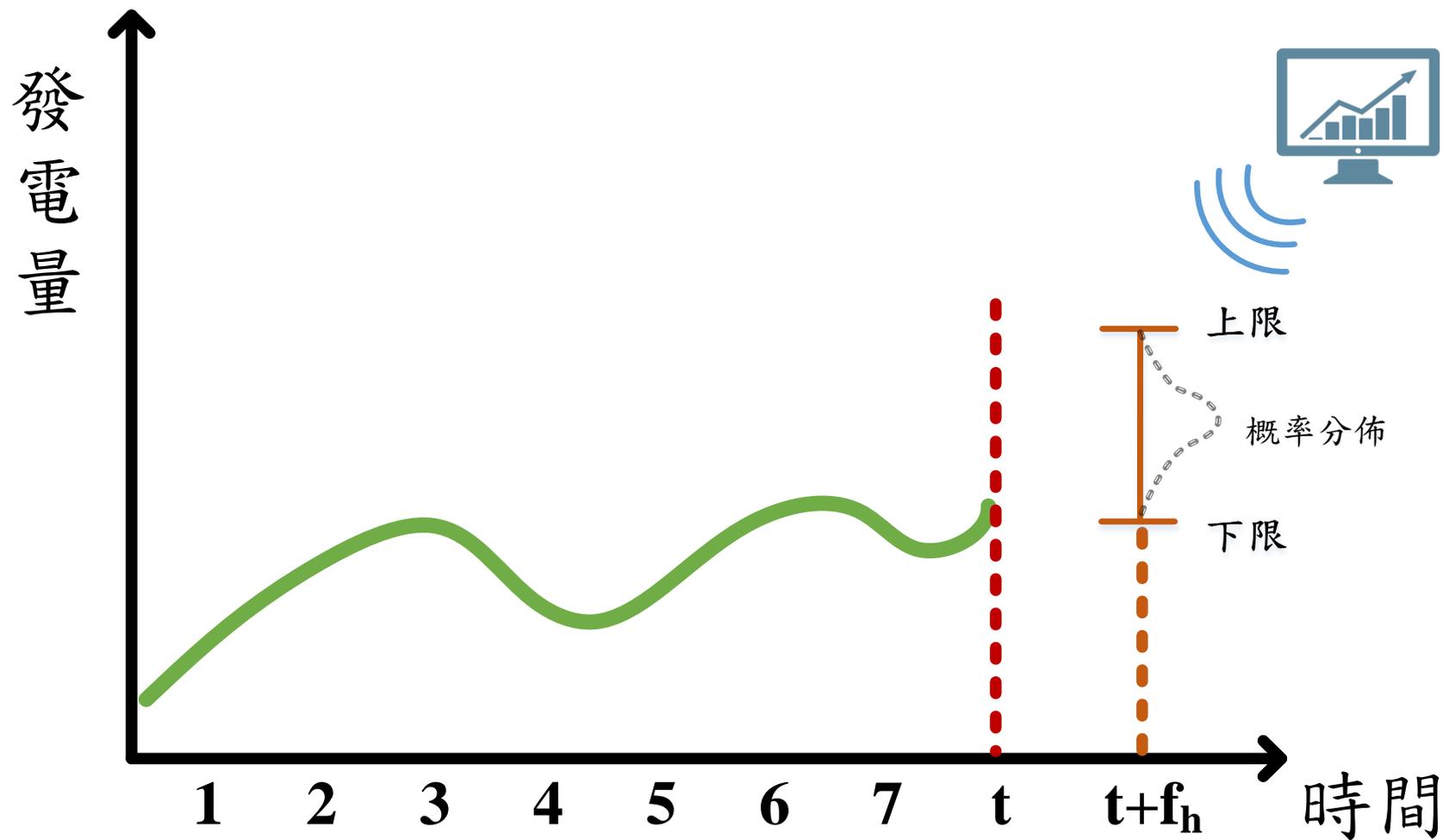
# 依時間分類的負載與能源預測應用



# 點預測示意圖



# 概率預測示意圖



# 舉風力發電量 預測為例

# 範例資料來源

## 全球能源預測競賽

- GEFCom 2012, GEFCom 2014, GEFCom 2017
- 負載預測、電價預測、風力發電量預測、太陽能發電量預測
- 點預測、概率預測。
- 提供比賽結果:參賽隊伍的**準確度排名**。

GEFCOM  
2014

Load Forecasting

GEFCOM  
2014

Price Forecasting

GEFCOM  
2014

Wind Forecasting

GEFCOM  
2014

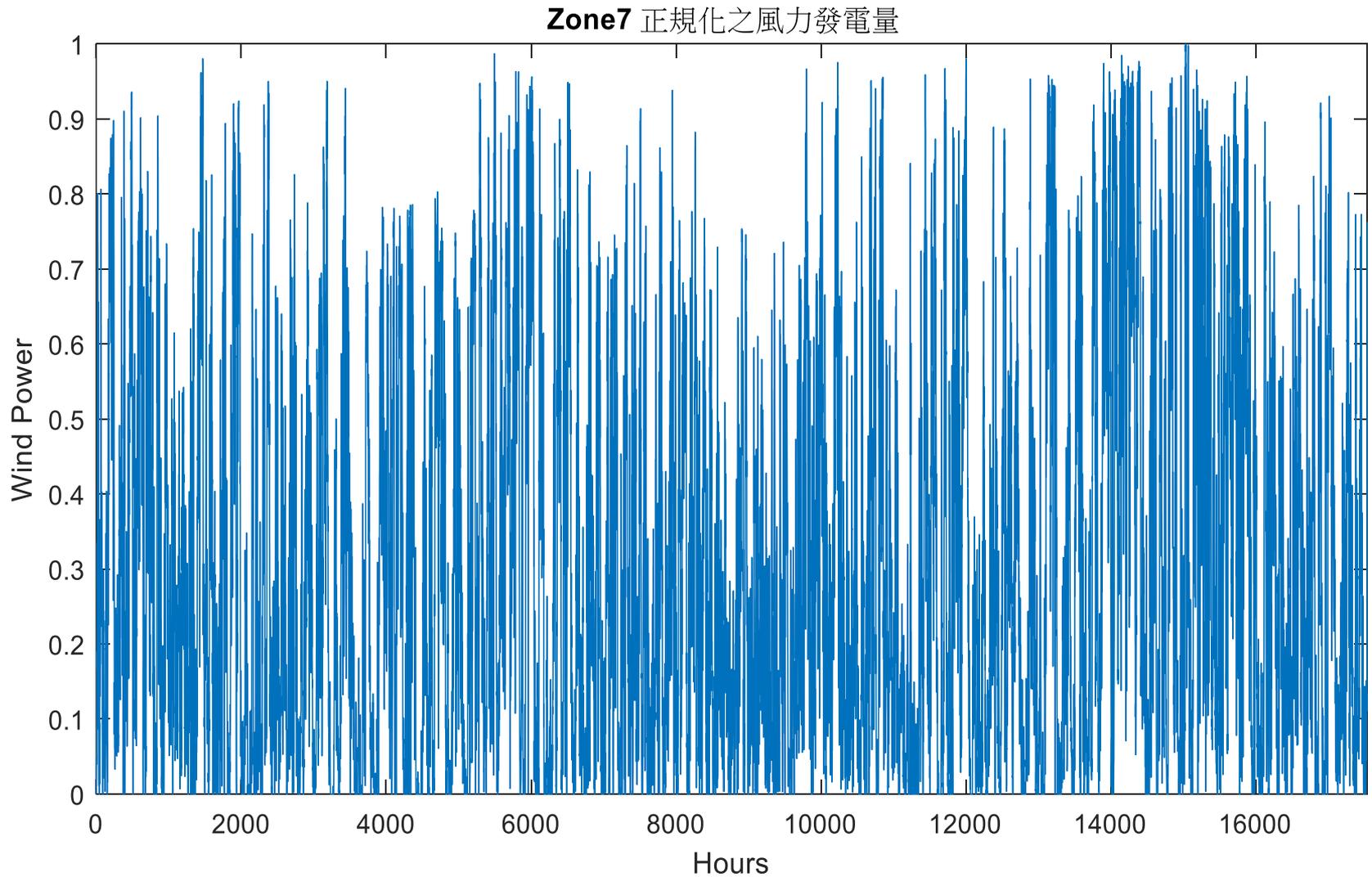
Solar Forecasting



# 風力發電數據集

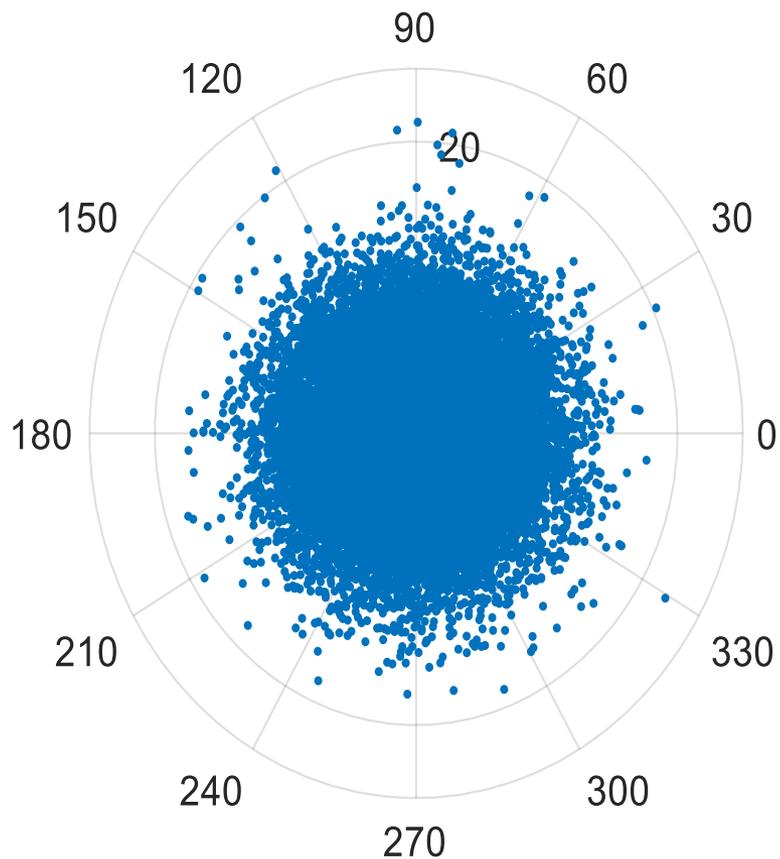
Zone	Train	Test
Zone 1	8784	8742
Zone 2	8784	8739
Zone 3	8784	8666
Zone 4	8784	8754
Zone 5	8784	8754
Zone 6	8784	8754
Zone 7	8784	8754
Zone 8	8784	8754
Zone 9	8784	8754
Zone 10	8784	8754

# 正規化後風力發電量二維線性圖

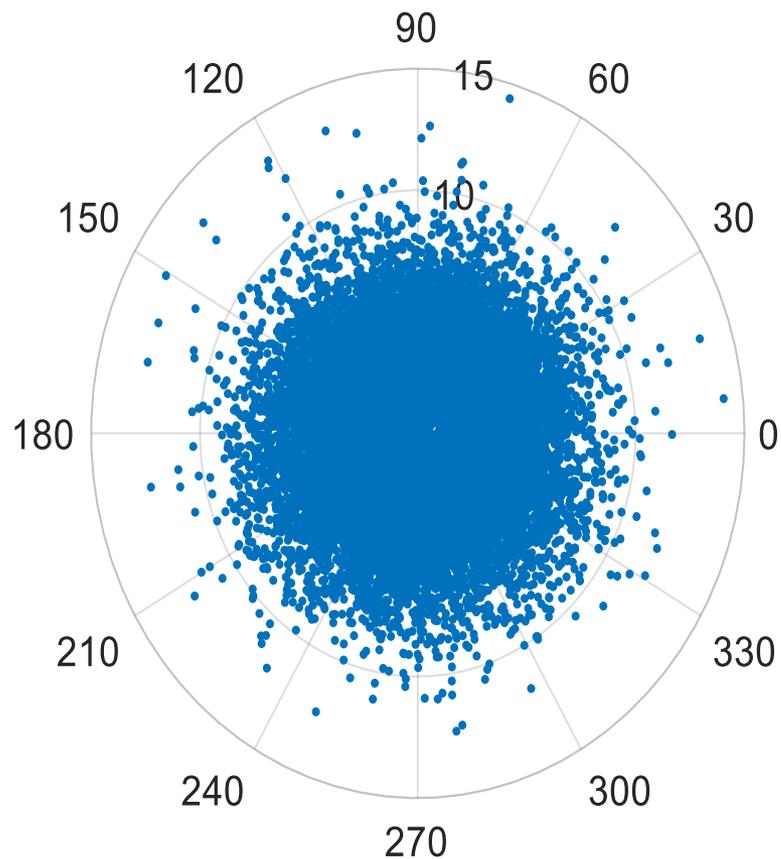


# 風速與風向關係圖

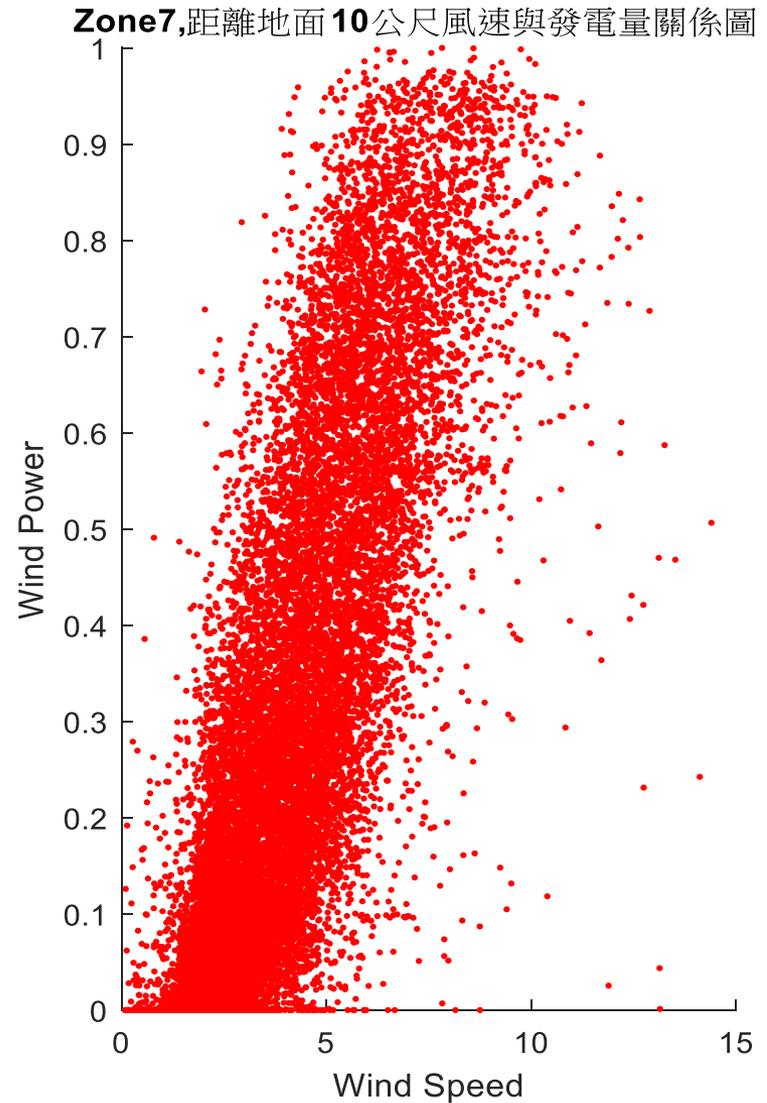
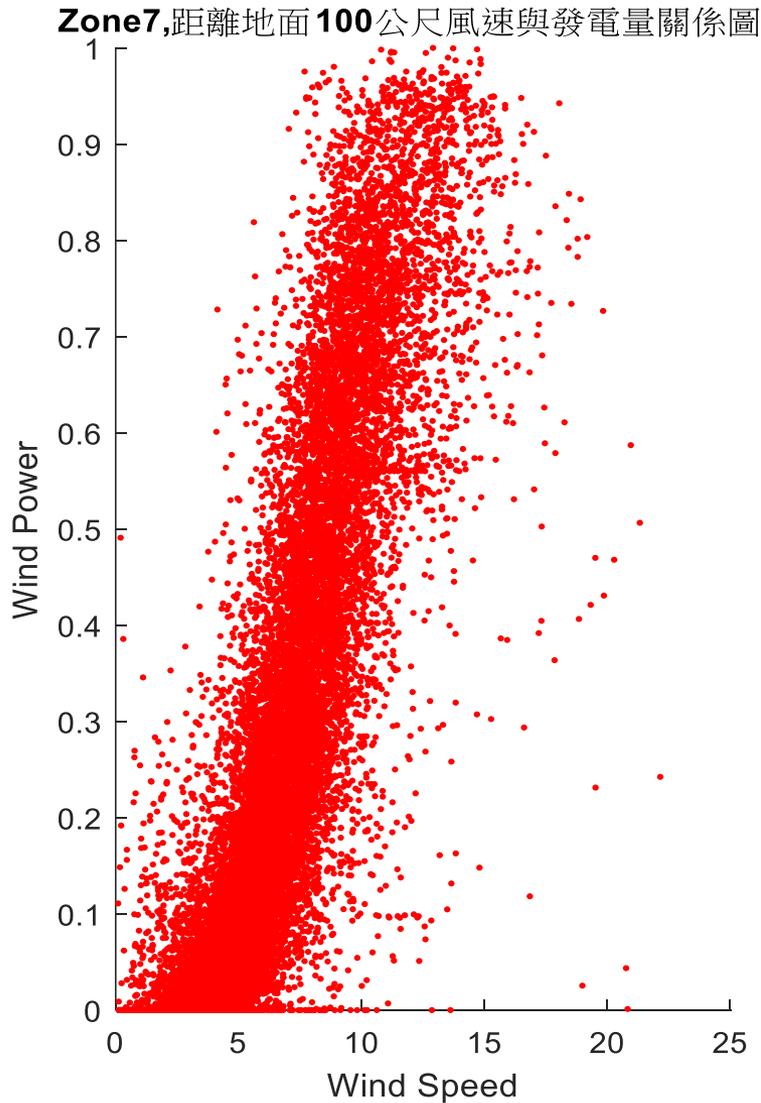
Zone7, 距離地面 100 公尺風向與風速關係圖



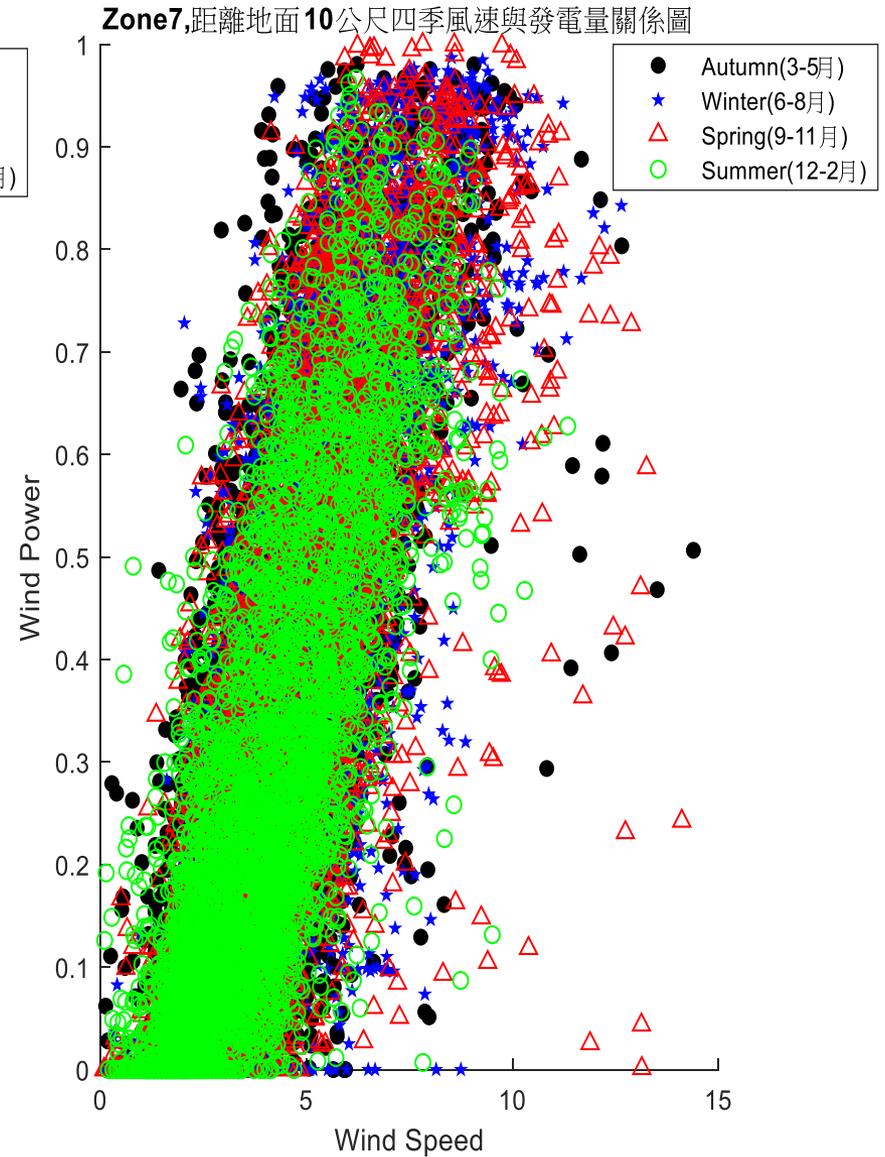
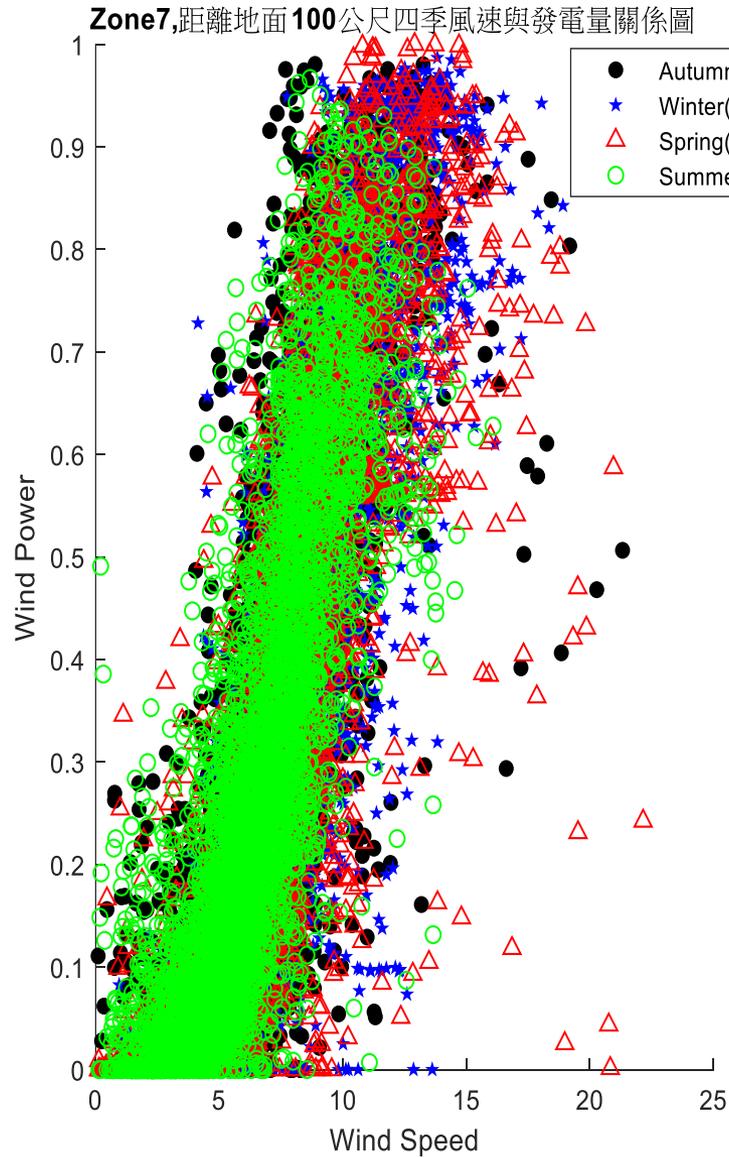
Zone7, 距離地面 10 公尺風向與風速關係圖



# 風速與風力發電量關係圖

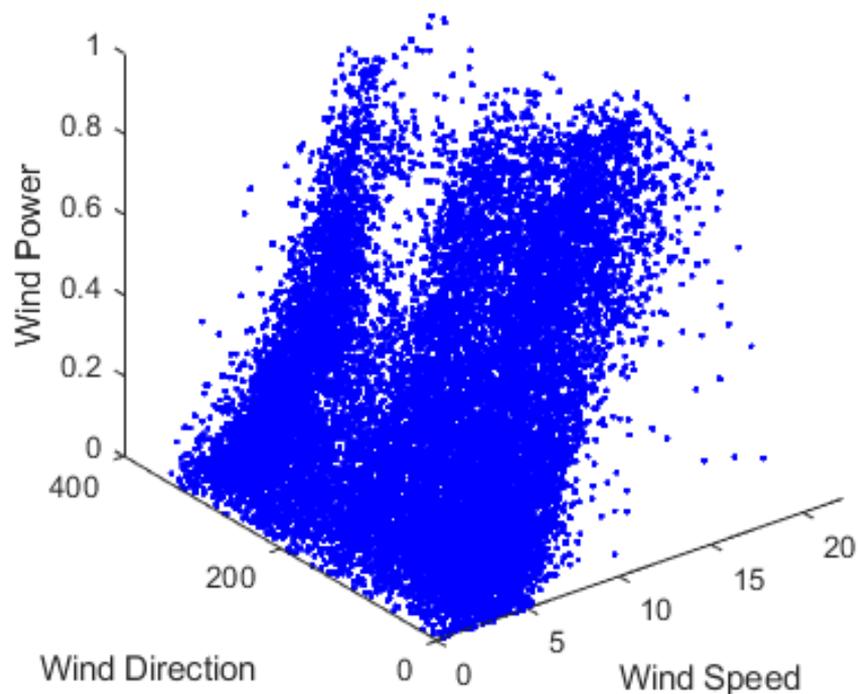


# 四季風速與風力發電量關係圖

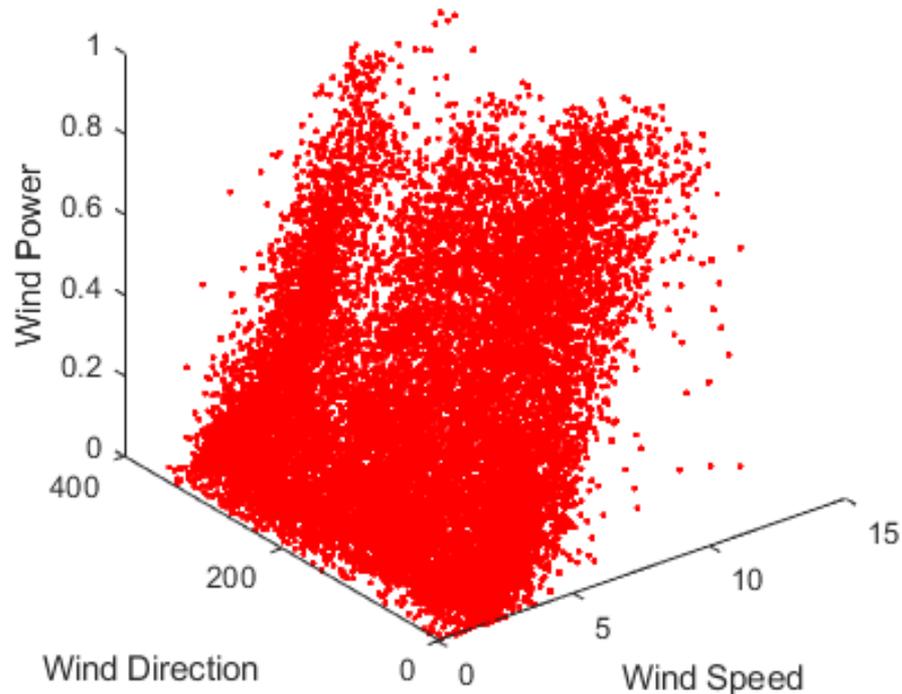


# 風速、風向與風力發電量點狀圖

Zone7,在100公尺高風速和風向對風力發電量的繪圖



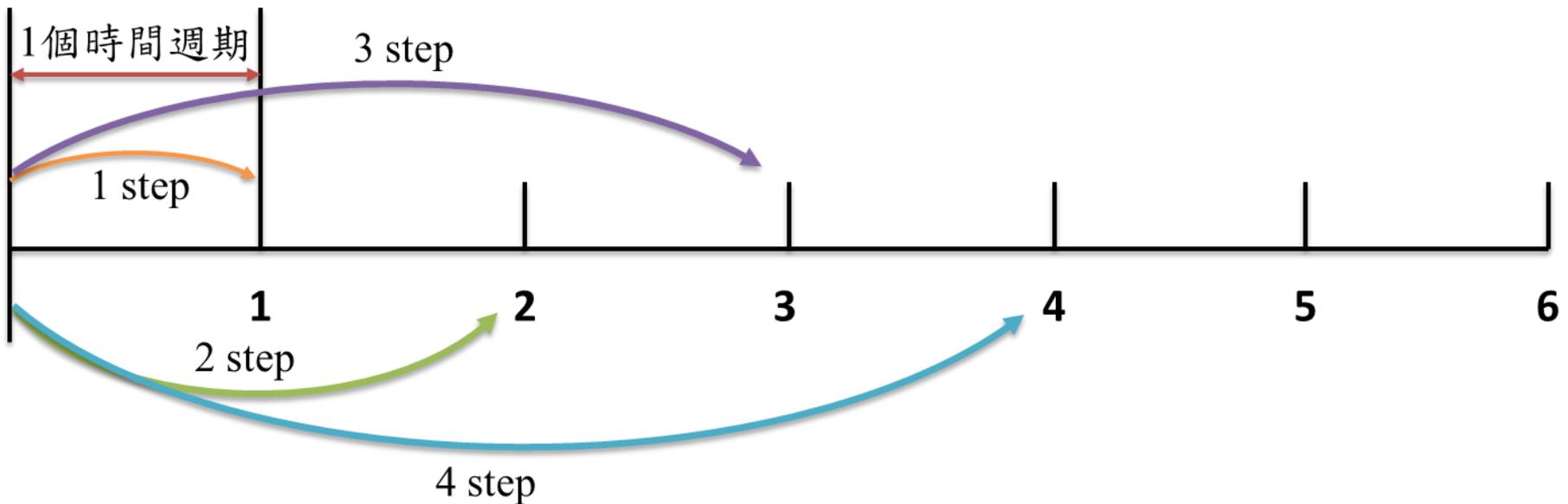
Zone7,在10公尺高風速和風向對風力發電量的繪圖



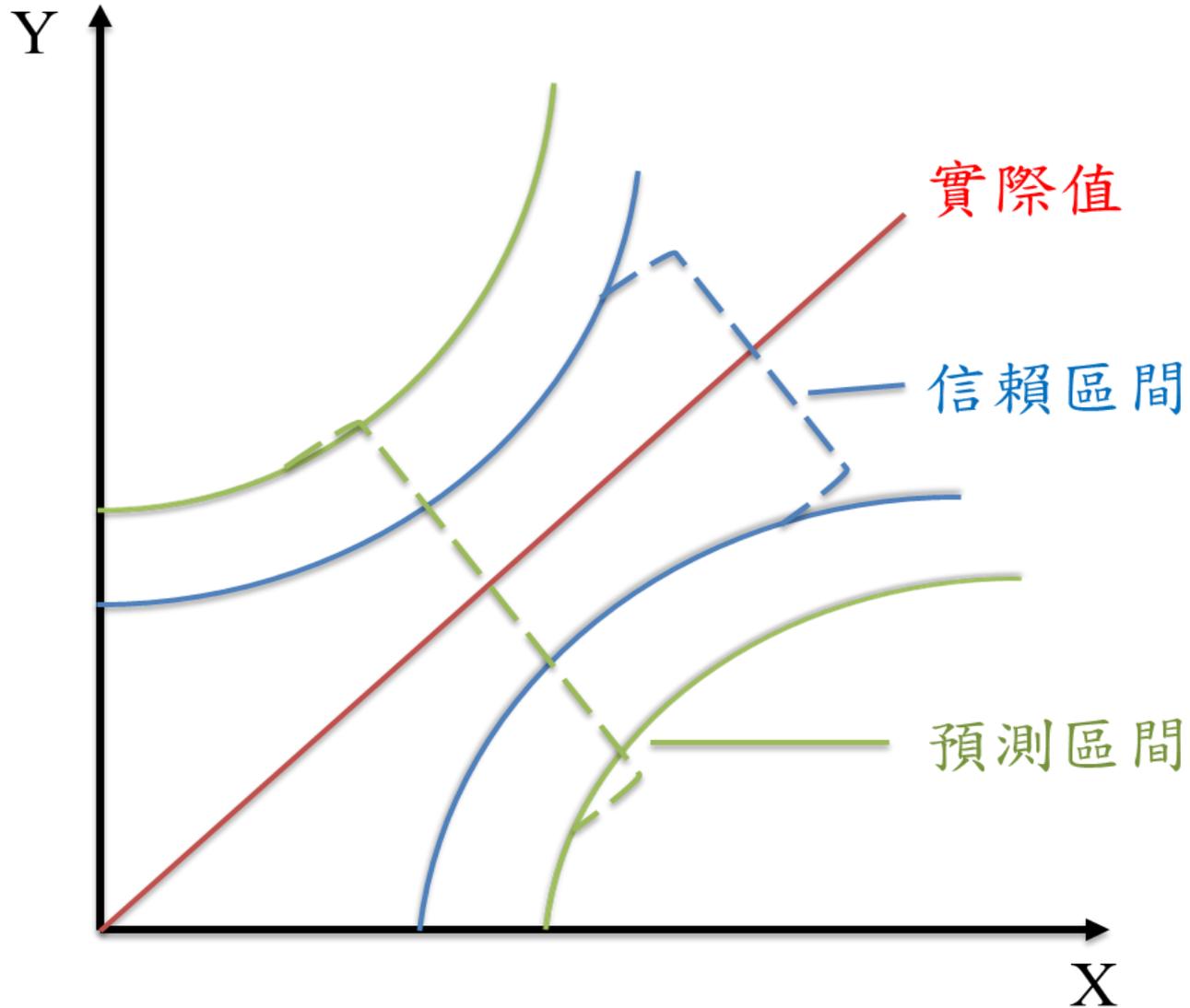
# 時間序列連續多步預測方法

## 多步預測方法

- **遞迴預測:**對於長期預測而言，可能會累積許多因不準確預測所導致的誤差，使得預測結果越來越不準確。
- **直接預測:**預測的每個步驟都是獨立的，不會包括任何模型之前的預測值，故不會受到累積誤差的影響。



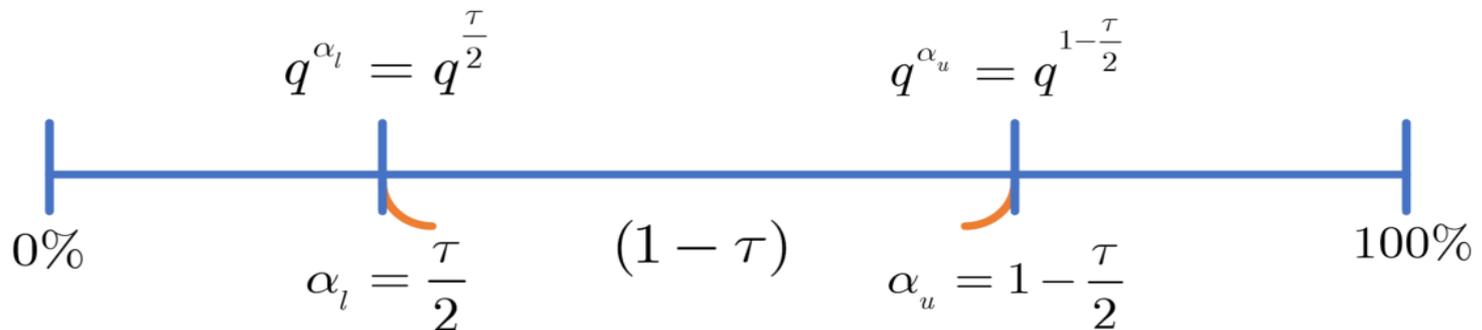
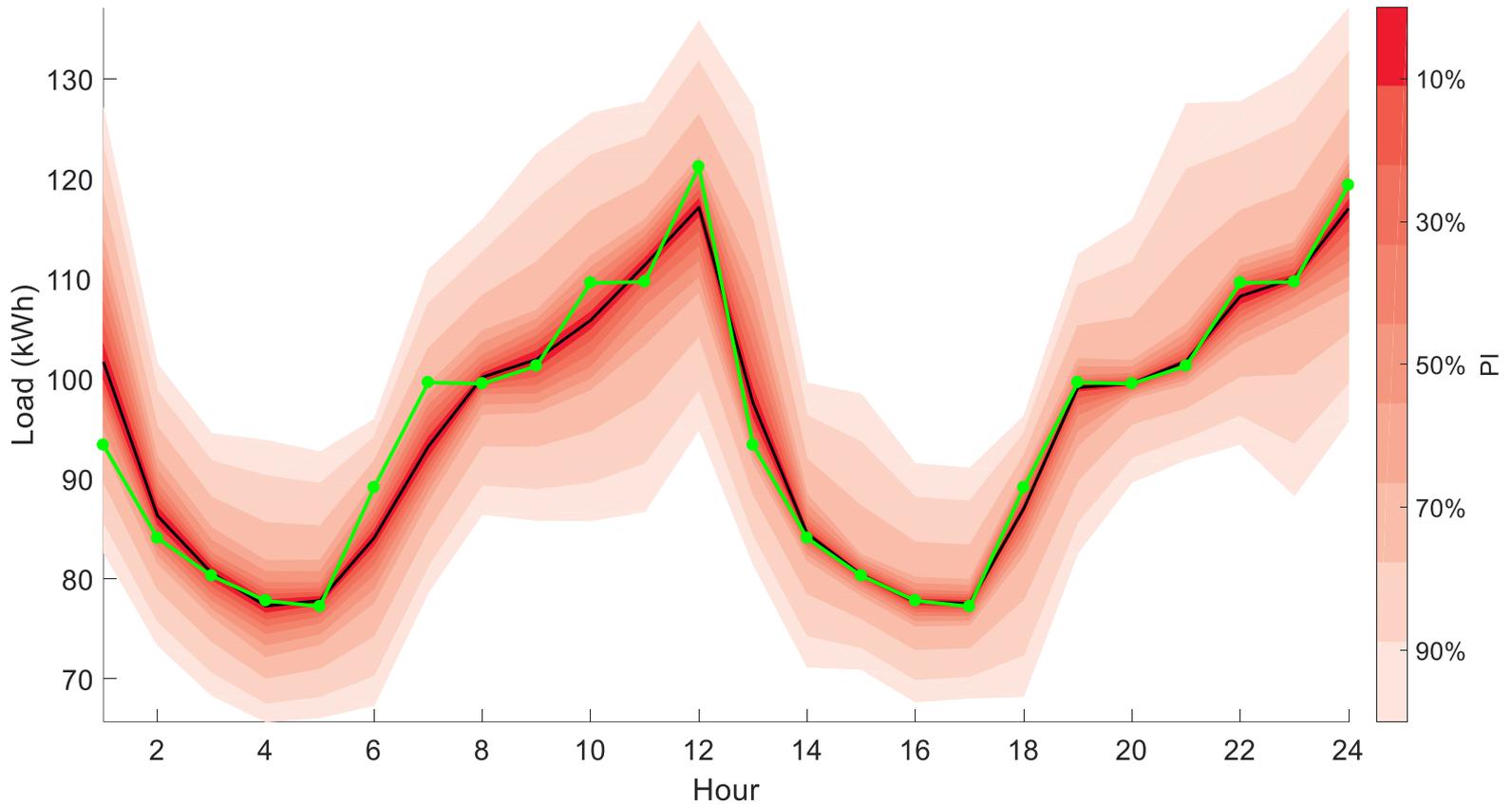
# 信賴區間與預測區間比較圖



# 信賴區間與預測區間比較表

考慮因素與結果	預測區間	信賴區間
偏差(Bias)	✓	✓
方差(Variance)	✓	✓
不可避免之誤差 (Irreducible Errors)	✓	✗
特定x值下之y值	一個x對一個y值	y的平均值
預測之寬度	較寬	較窄

# 預測區間定義與示意圖



# 非參數型概率預測方法

$$P(Y_t < x) = \alpha$$

$$q_t^{(\alpha)} = F_t^{-1}(\alpha)$$

定義區間  
分位數

$$\bar{\alpha} - \underline{\alpha} = 1 - \beta$$

$$\underline{\alpha} = 1 - \bar{\alpha} = \frac{\beta}{2}$$

找尋所需  
分位數之比例

將所需之分位數下的函數估計值與點預測結果結合

$$I_{t+k|t}^{(\beta)} = \left[ q_{t+k|t}^{(\underline{\alpha})}, q_{t+k|t}^{(\bar{\alpha})} \right]$$

$$\hat{q}_{t+k|t}^{(\underline{\alpha})} = \hat{y}_{t+k|t} + \hat{F}_{t,k}^{\epsilon^{-1}}(\underline{\alpha})$$

$$\hat{q}_{t+k|t}^{(\bar{\alpha})} = \hat{y}_{t+k|t} + \hat{F}_{t,k}^{\epsilon^{-1}}(\bar{\alpha})$$

生成概率預測區間上下限

$$\hat{f}_{t+k|t} \rightarrow \left\{ \hat{y}_{t+k|t} + \varepsilon_i, \varepsilon_i \in S_{t,k} \right\}$$

將不同時間點之點預測結果  
與誤差累積分佈函數結合

$$\hat{F}_{t,k}^{\epsilon}(x) = \frac{1}{n} \# \left\{ \varepsilon_i \in S_{t,k} \mid \varepsilon_i \leq x \right\}$$

引入累積分佈函數

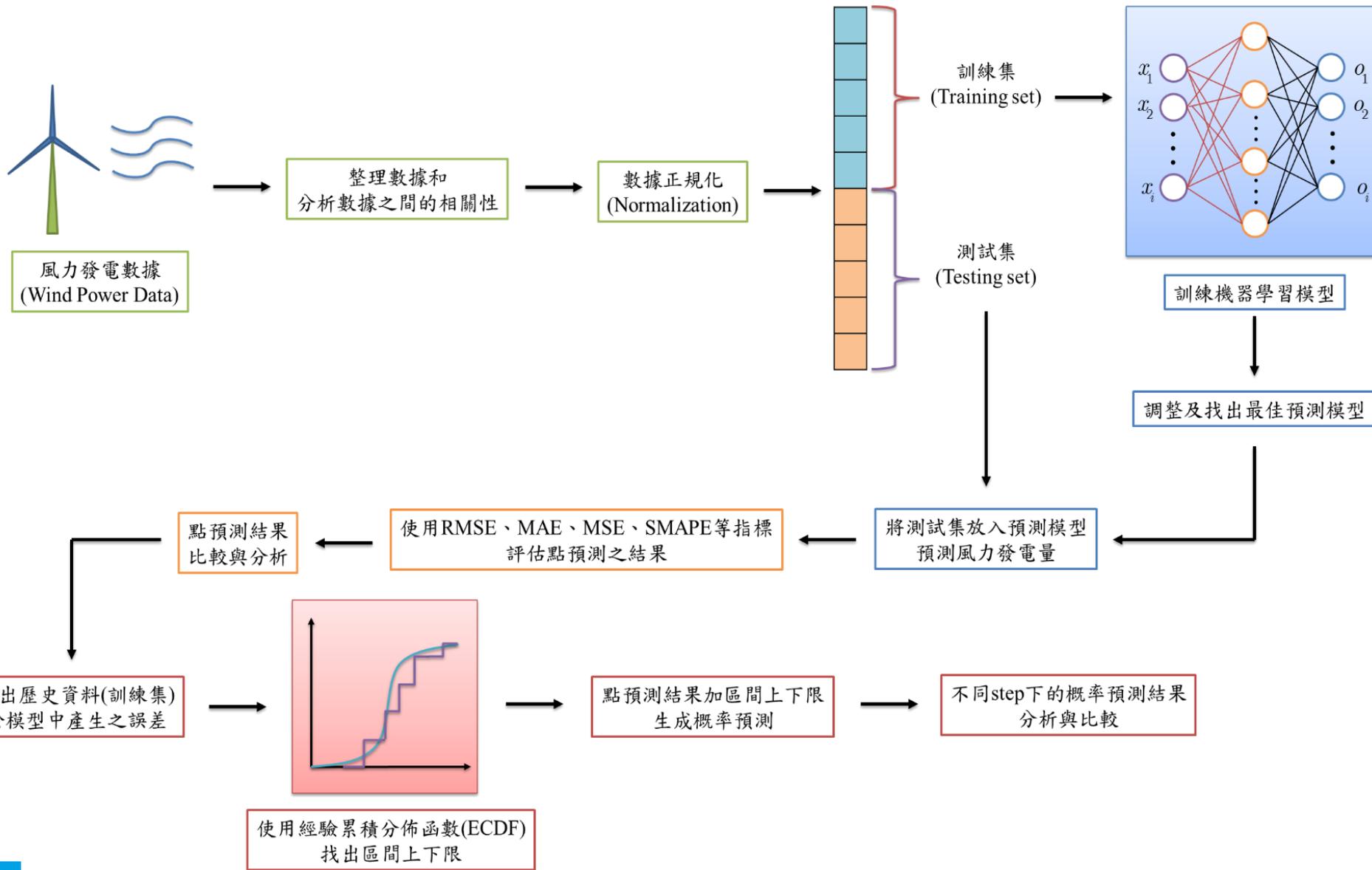
$$S_{t,k} = \left\{ \hat{\varepsilon}_j \in \Omega_{t,k}, j = 1, \dots, n \right\}$$

標準化誤差集合

$$\Omega_{t,k} = \left\{ \varepsilon_{t-i+k|t-i}, i \in \mathbb{N}, i > k \right\}$$

將風力發電點預測誤差寫成集合

# 預測架構圖



# 模擬結果 與分析

# 點預測評估指標

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{t=1}^n |y'_t - y_t|}{n} = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t|}{n}$$

平均絕對誤差

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y'_t - y_t)^2$$

均方誤差

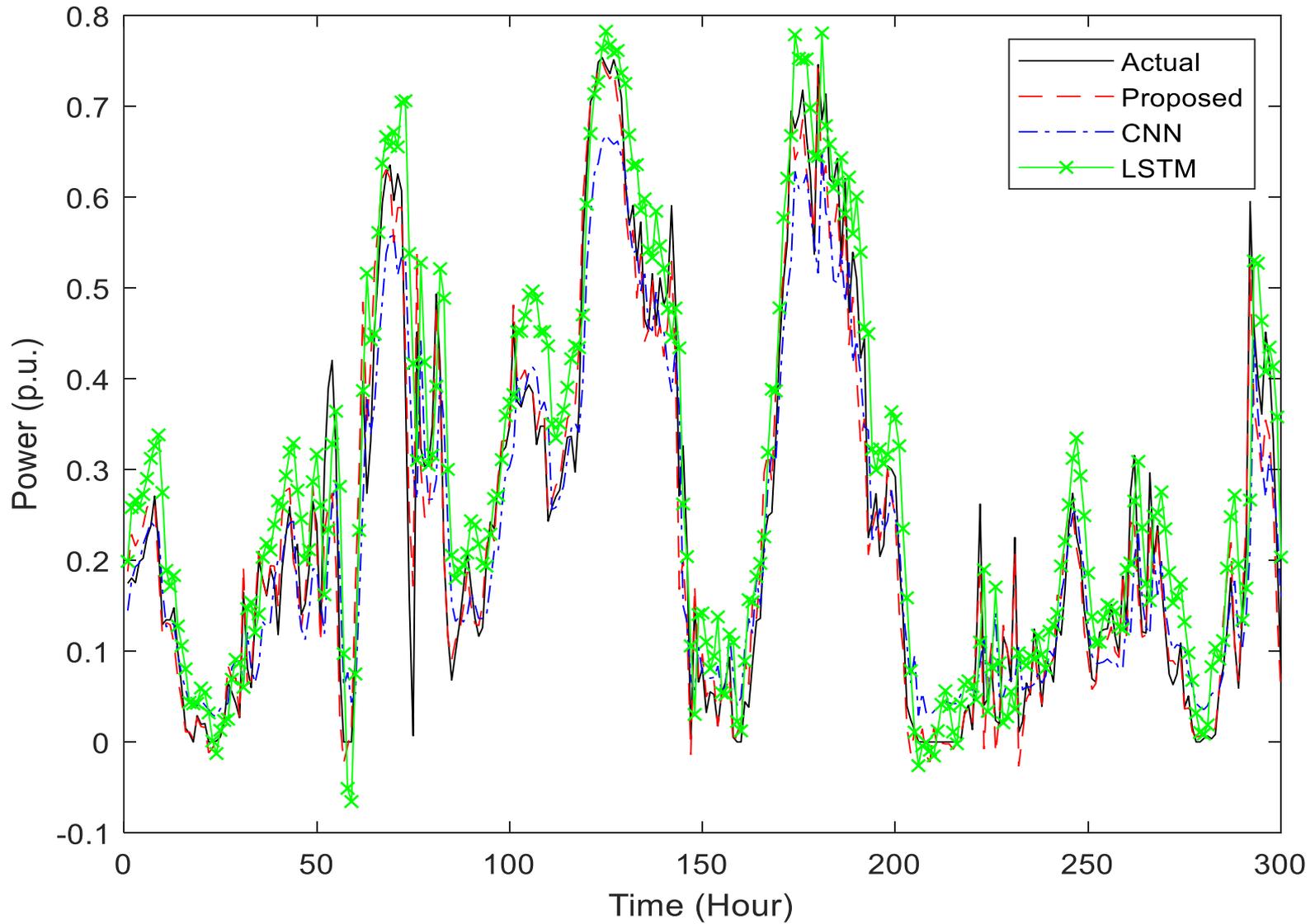
$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y'_t - y_t)^2}{n}}$$

均方根誤差

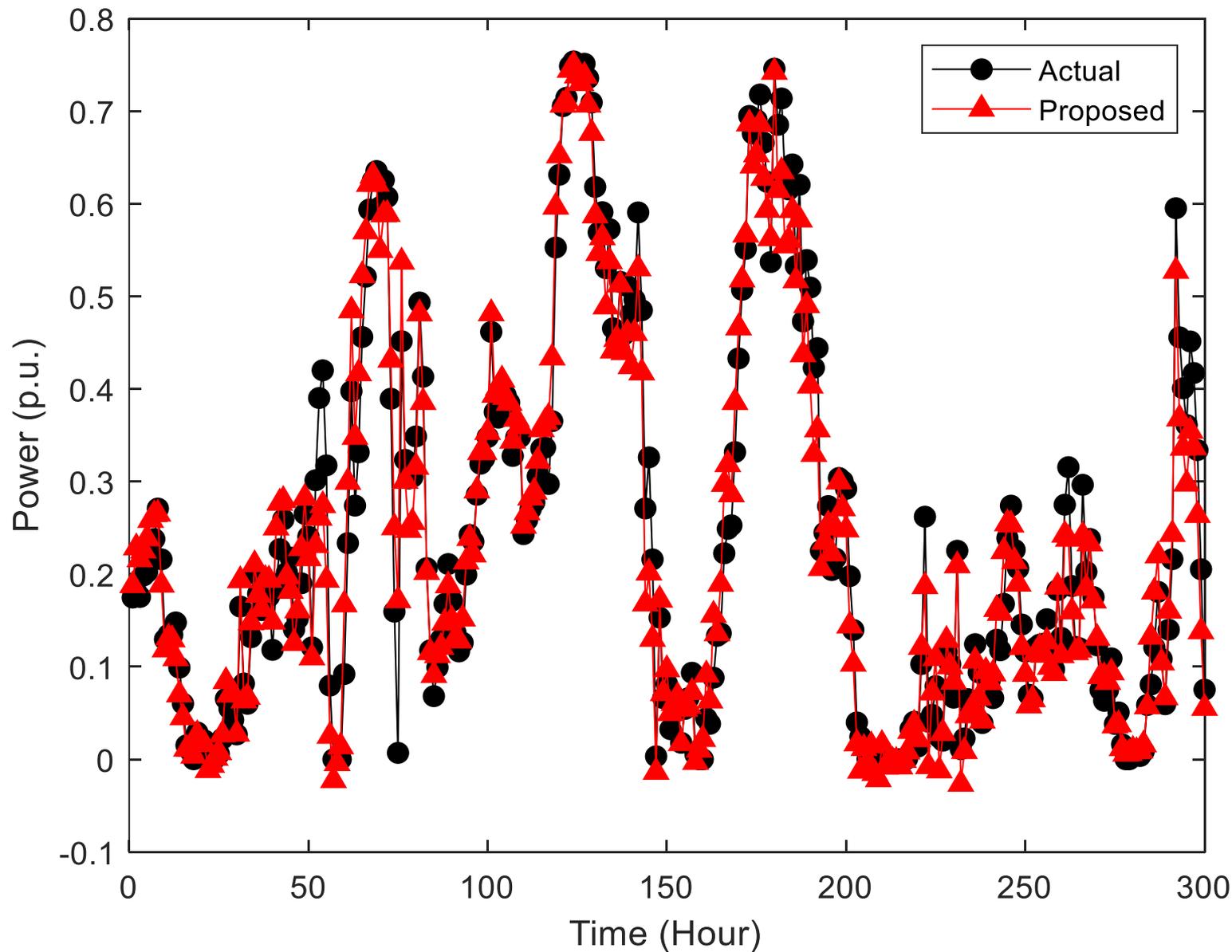
$$\text{SMAPE} = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|y'_t - y_t|}{|y'_t| + |y_t|}$$

對稱平均絕對百分比誤差

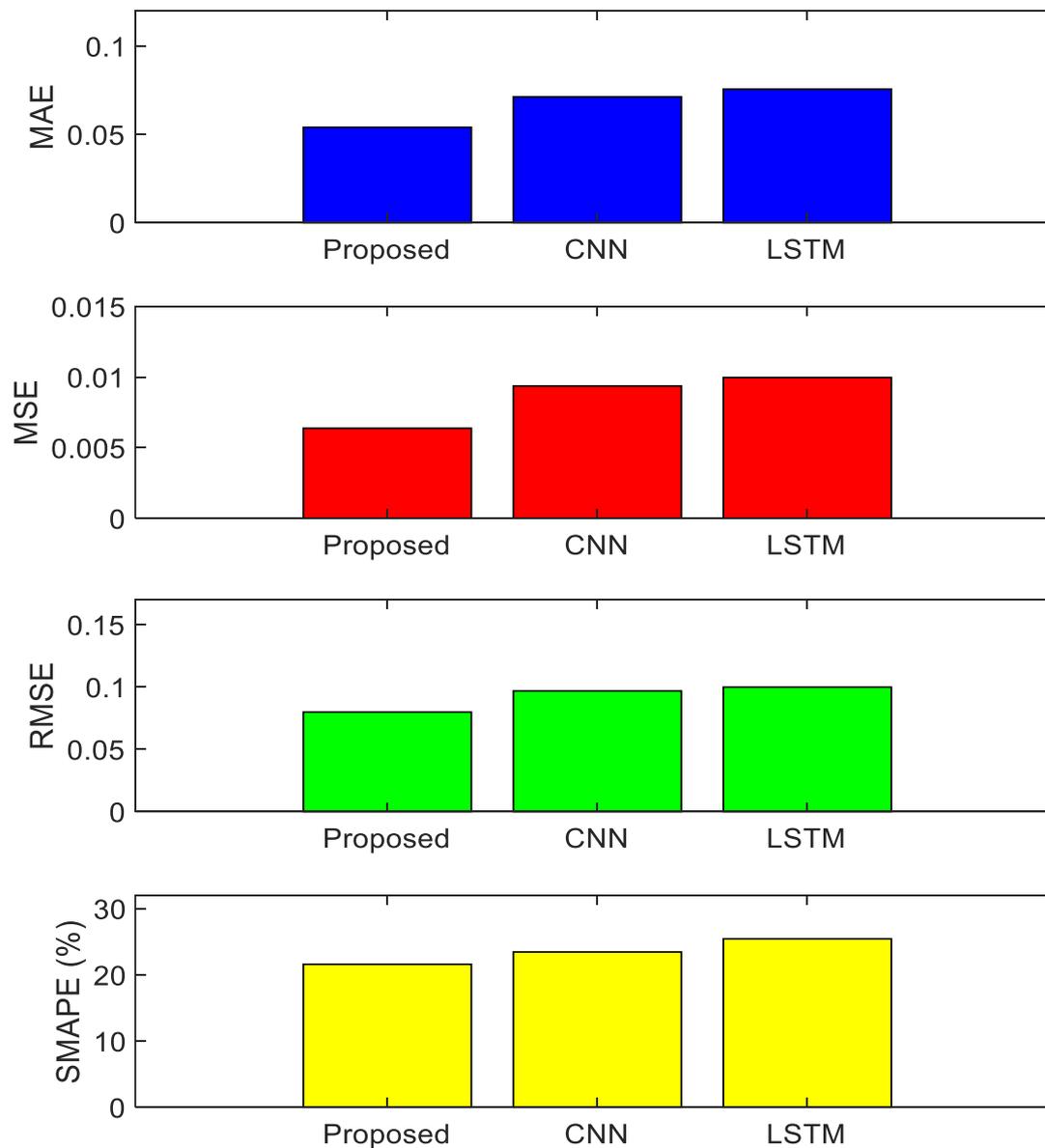
# 點預測結果



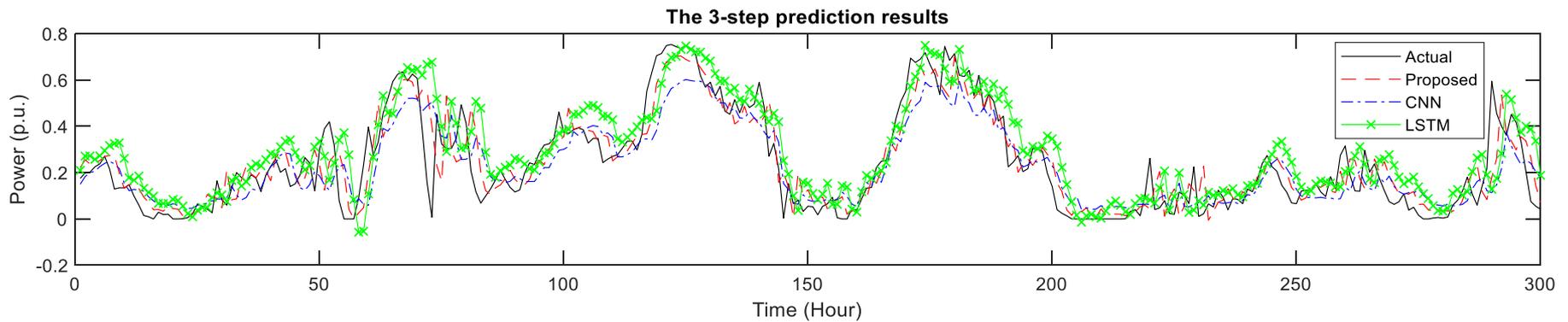
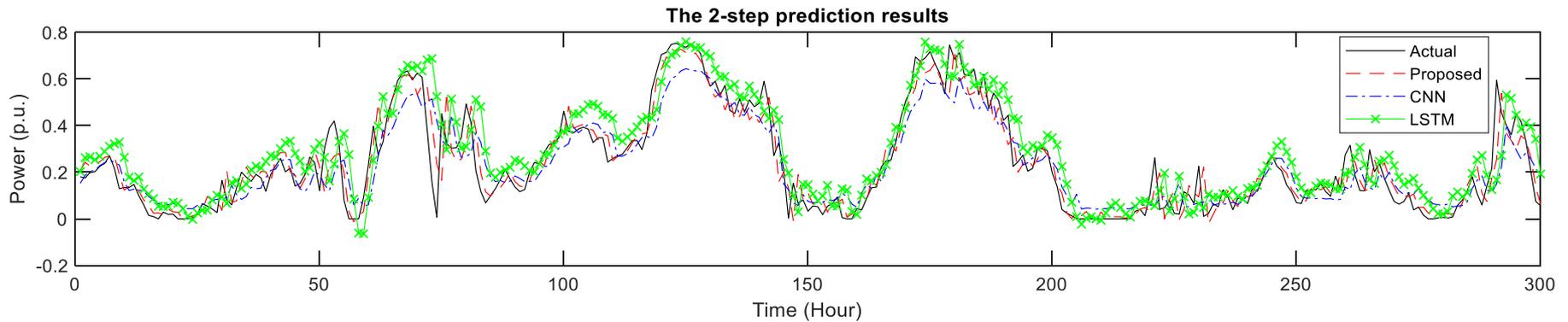
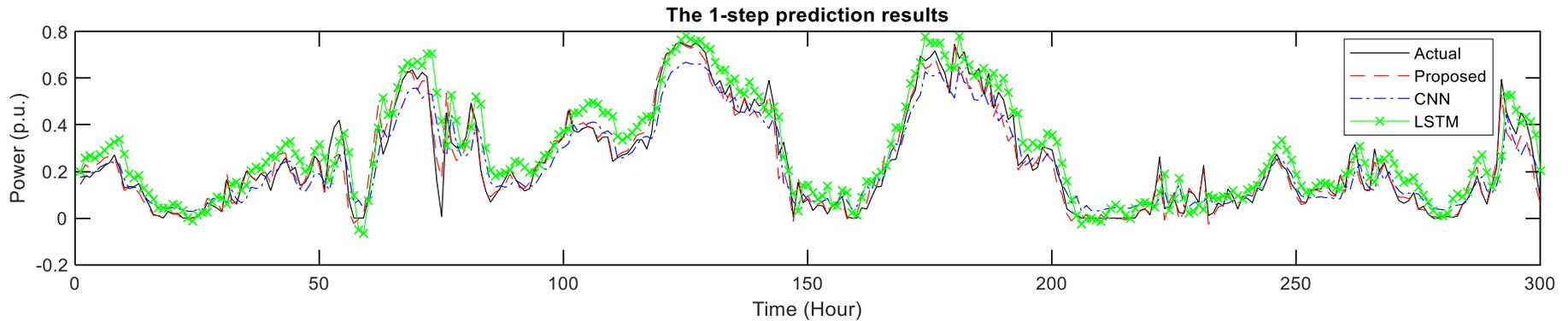
# 所提模型點預測結果



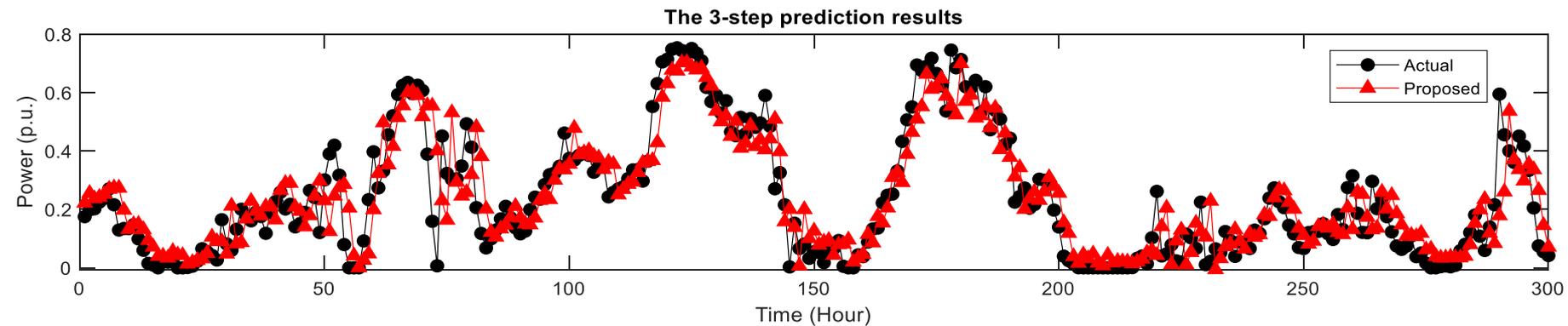
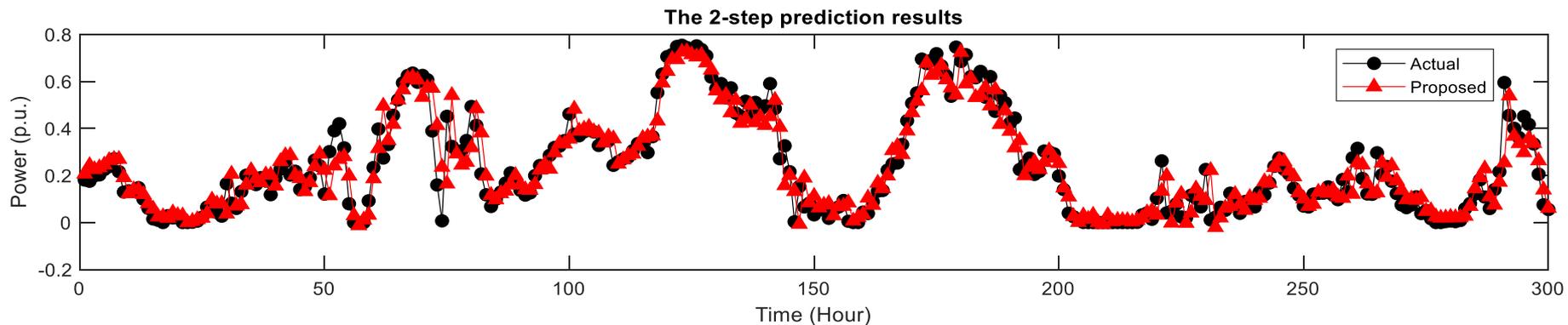
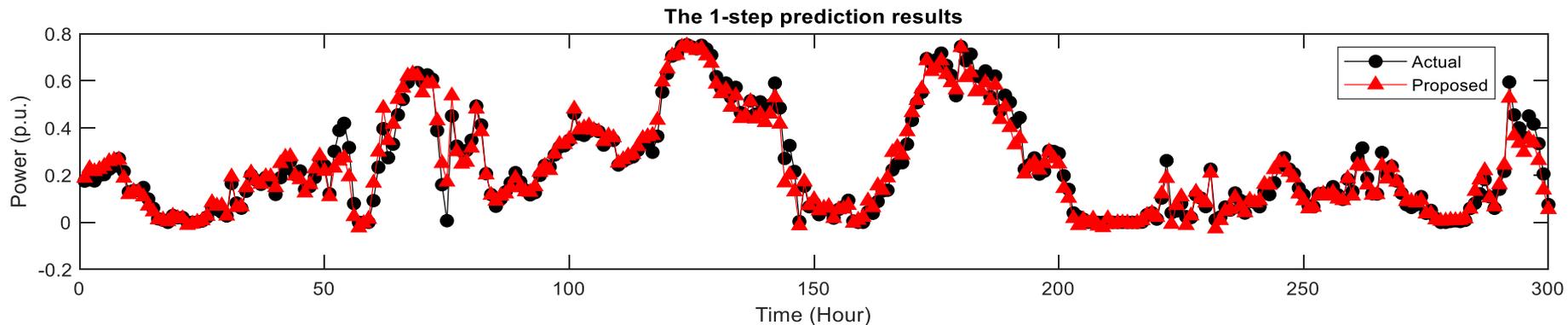
# 點預測評估指標比較



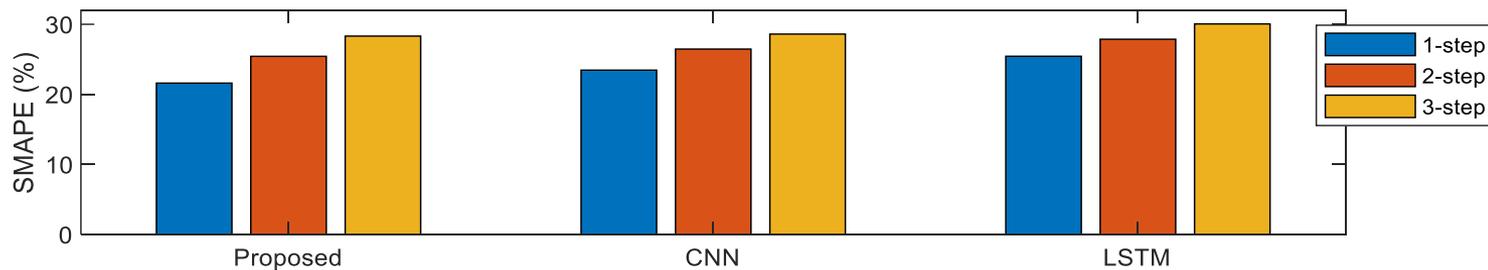
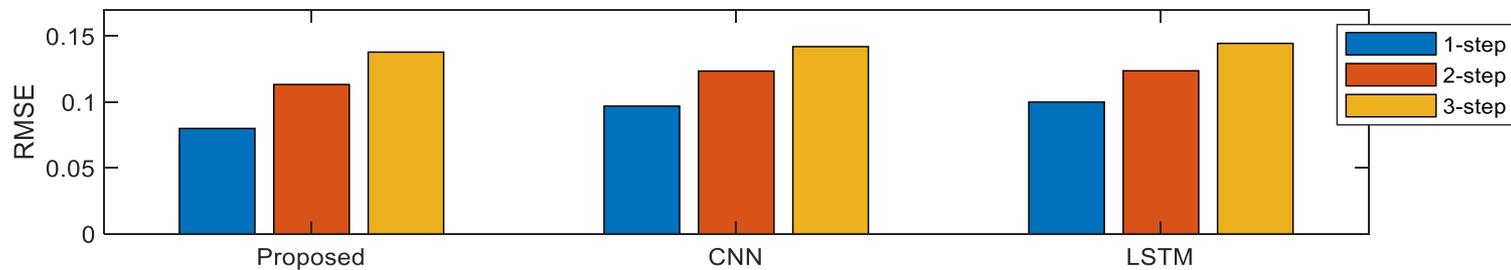
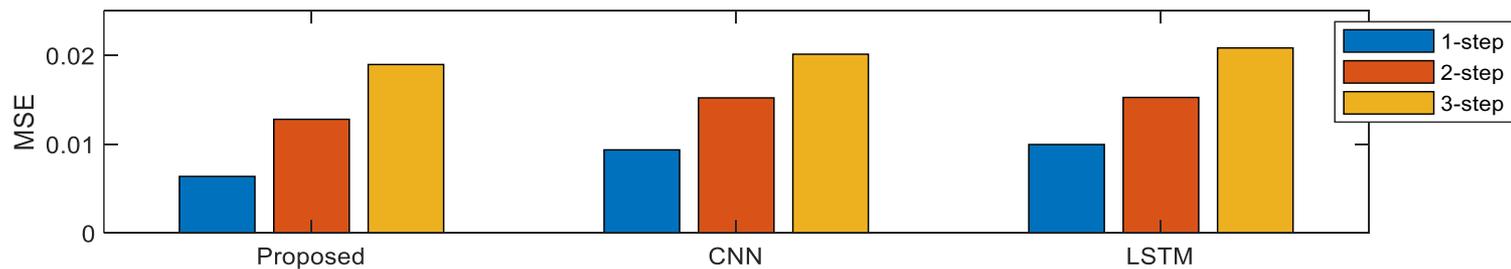
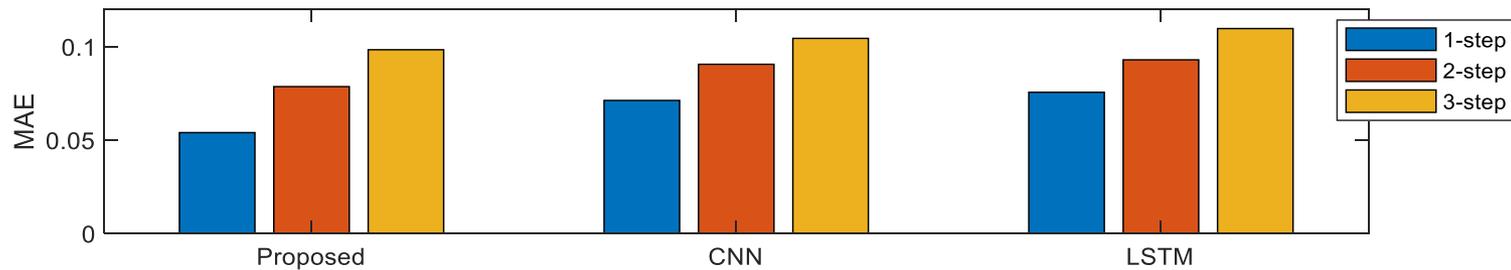
# 多步點預測結果



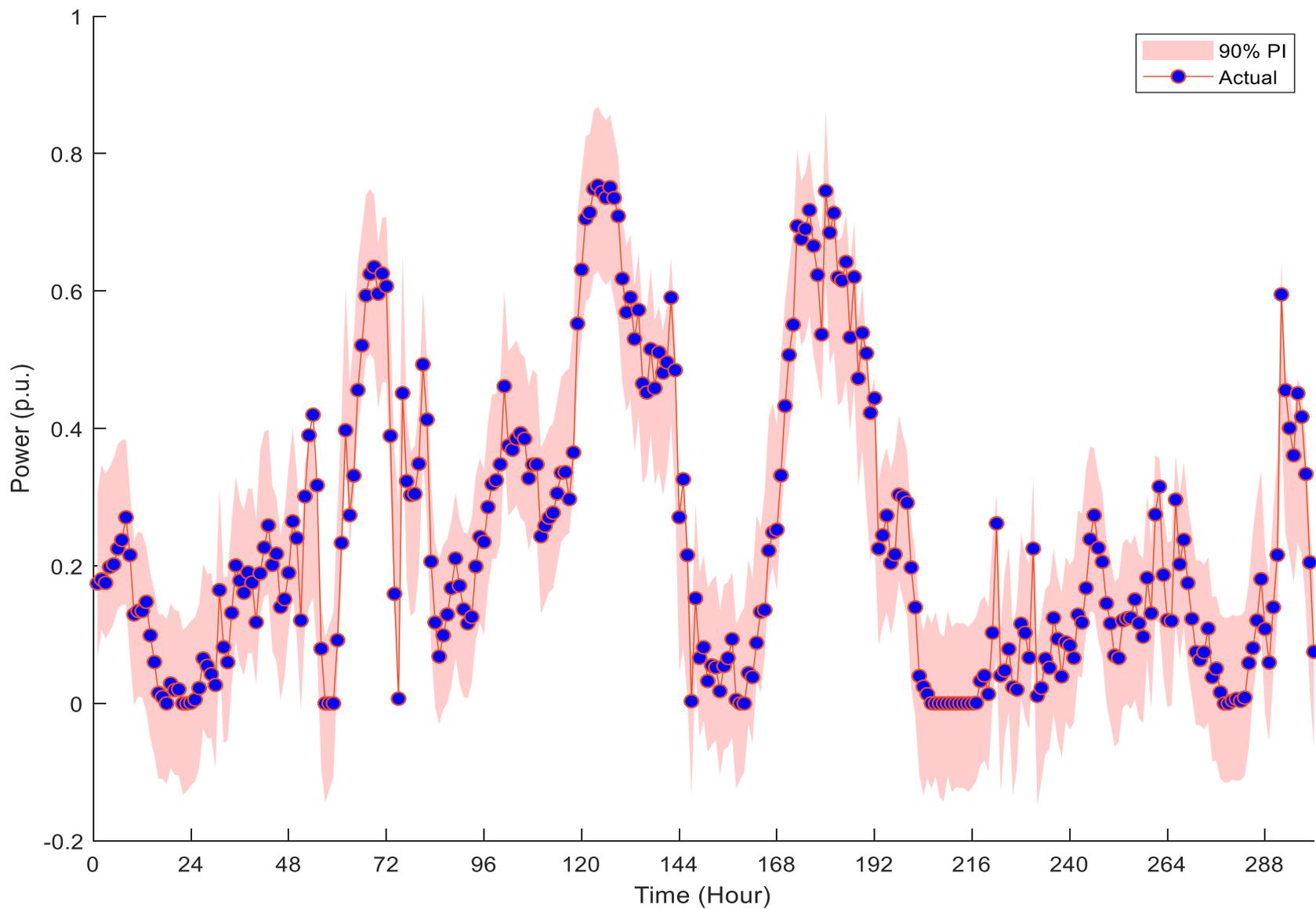
# 所提模型多步點預測結果



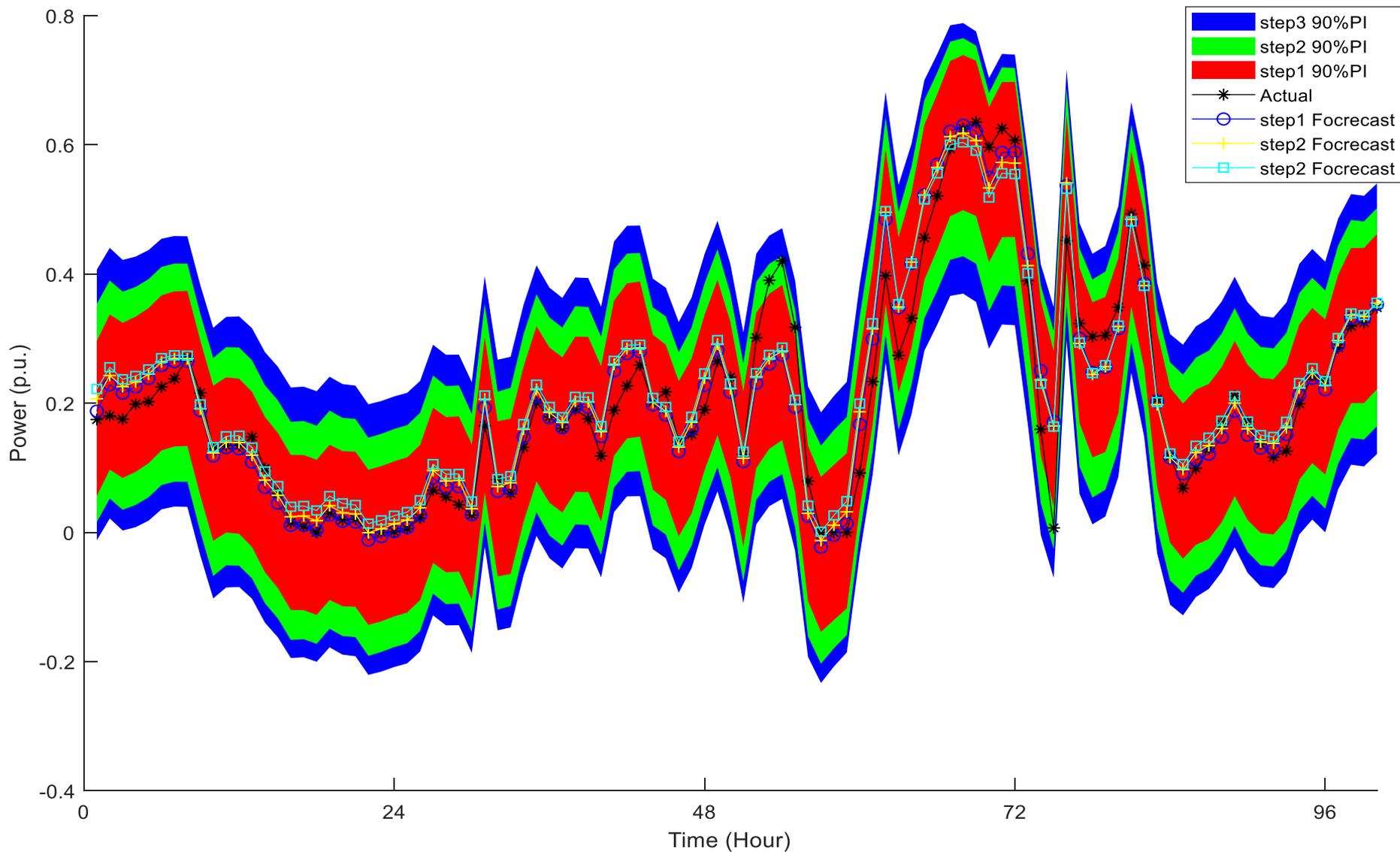
# 多步點預測評估指標比較



# 概率預測結果

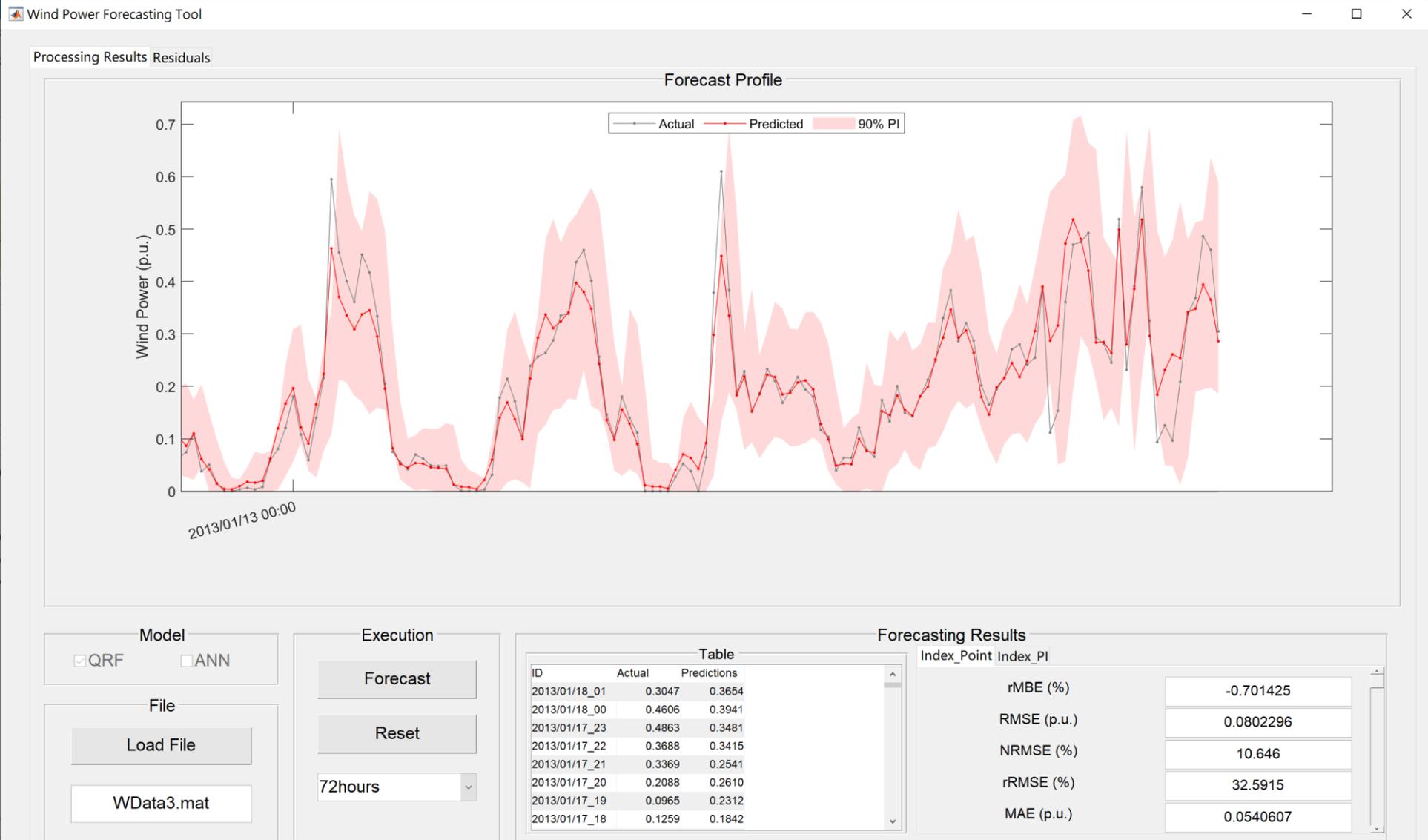


# 多步概率預測結果

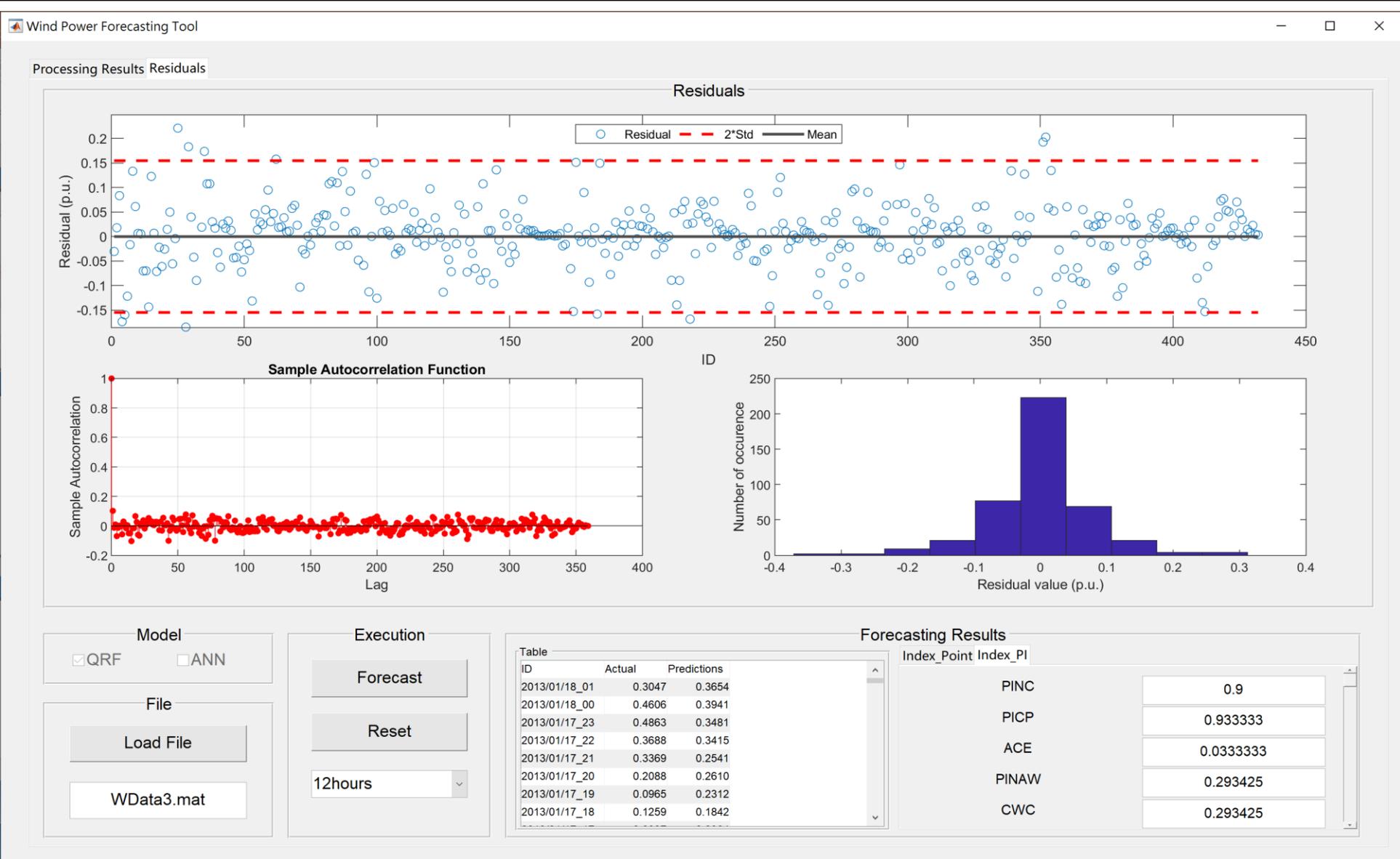


# 再生能源與負載 預測系統

# 研究團隊自行開發之預測系統(1/2)



# 研究團隊自行開發之預測系統(2/2)



**Thank You!**