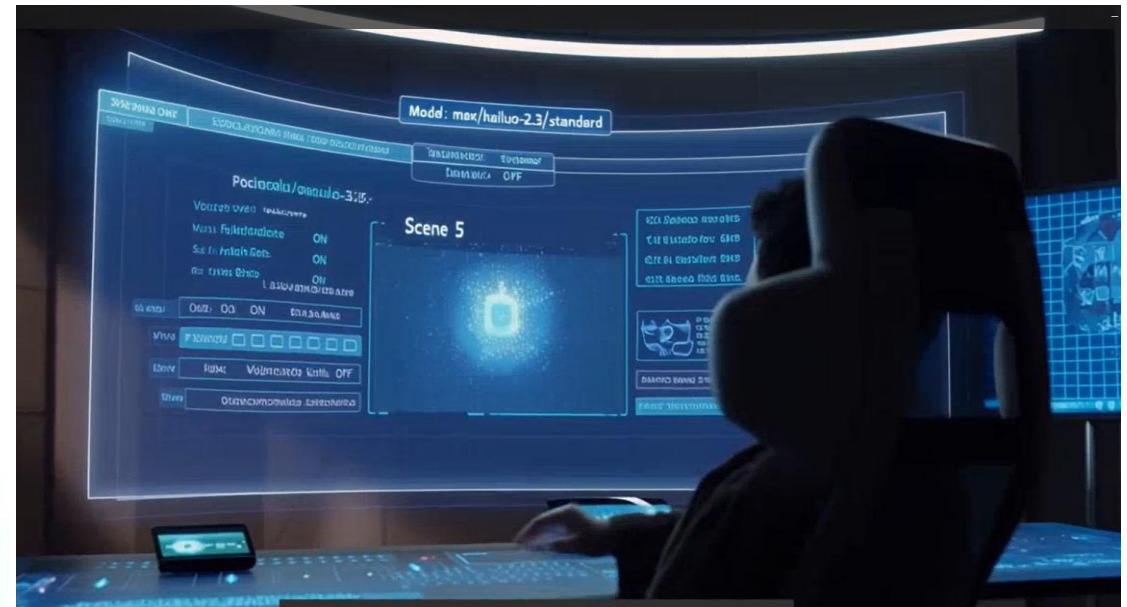




114年南科節水節能推動輔導計畫

Digital Water 數位水務新進程 -- 從自動化、智慧化到自主化

工研院材化所水科技組
羅英維 博士/技術經理/環工技師
2026/09/10



Why Smarter Water Treatment? And Where Are We Going?



- 進流水質(污染物)變異性大且成分複雜。
- 進流量變化大。
- 處理流程複雜，由數個單元操作所組成。
- 以人工經驗操作為主，傳承不易，且容易發生人為失誤。
- 目前數據運用率相對很低，幾乎沒有資料庫功能。

自動化 Automation

規則, PID, PLC/SCADA



智慧化 Intelligence

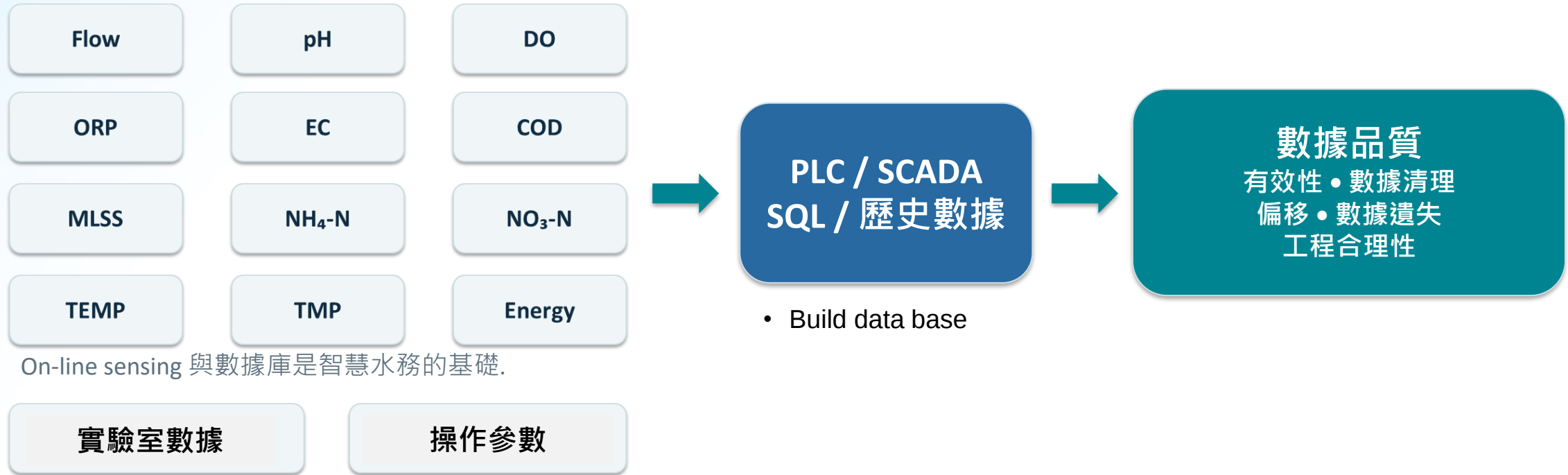
預測 & 最佳化



自主化 Autonomy

推理, 決策, 行動 & 學習

SENCE → PREDICT → OPTIMIZE → REASON → ACT → LEARN



Physical Process → Digital Representation → Trusted Data

感知層 – 傳感器

□ 水質分析儀器

- 電化學型 Electrochemical
- 離子選擇性電極 ISE
- 光學式 Optical sensor
- 化學分析儀 Analyzer



手持式 Sensor



□ 流量計 Flowrate Meter

□ 液位/泥位計

Water/Sludge Level Meter

□ 提高準確度

- Sensor 安裝位置
- 自動清潔
- 清潔維護 & 校正
- 降低干擾

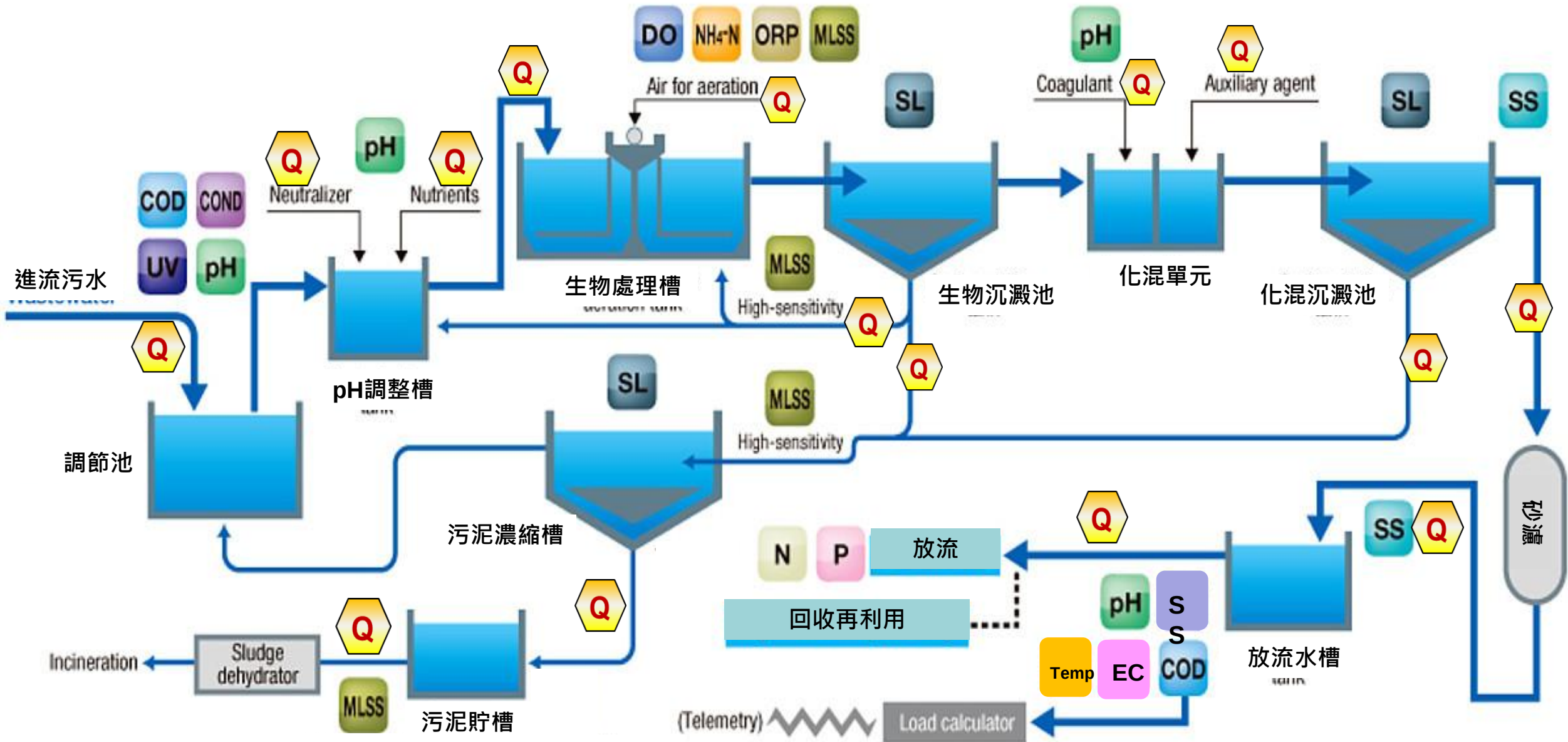


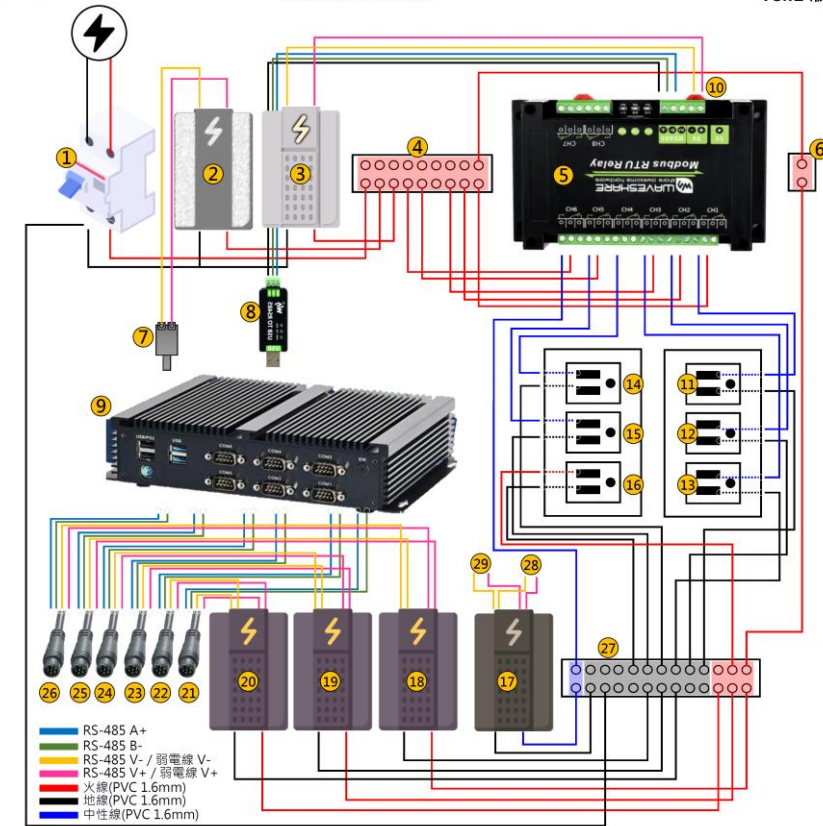
線上型傳感器



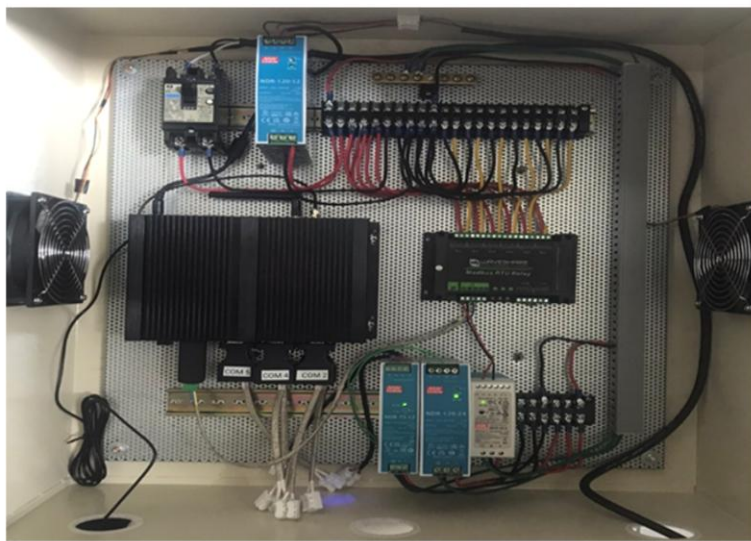
IoT Sensor

水處理常用的sensor及位置





- | | | |
|--------------------|--------------------|---------------|
| 1. 漏電斷路器(110V/20A) | 11. 抽水浦(1)插座 | 21. COM1轉接頭 |
| 2. IPC電供器(12V/10A) | 12. 抽水浦(2)插座 | 22. COM2轉接頭 |
| 3. 繼電器電供器(5V/6A) | 13. 抽水浦(3)插座 | 23. COM3轉接頭 |
| 4. 火線端子盤 | 14. 抽水浦(4)插座 | 24. COM4轉接頭 |
| 5. Modbus IO繼電器 | 15. 清洗機插座 | 25. COM5轉接頭 |
| 6. 火線延長端子 | 16. 一般電源插座 | 26. COM6轉接頭 |
| 7. IPC電源轉接頭 | 17. 電磁閥電供器(24V/5A) | 27. 端子盤(火/中性) |
| 8. 繼電器RS-485轉接頭 | 18. 感測器電供器(12V/5A) | 28. 電磁閥(1) |
| 9. IPC主機 | 19. 感測器電供器(12V/5A) | 29. 電磁閥(2) |
| 10. 繼電器電源供應 | 20. 感測器電供器(12V/5A) | |

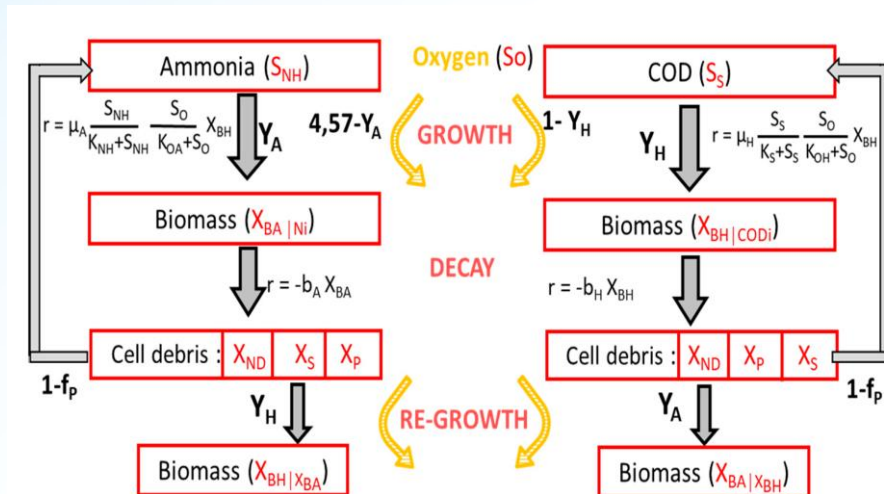






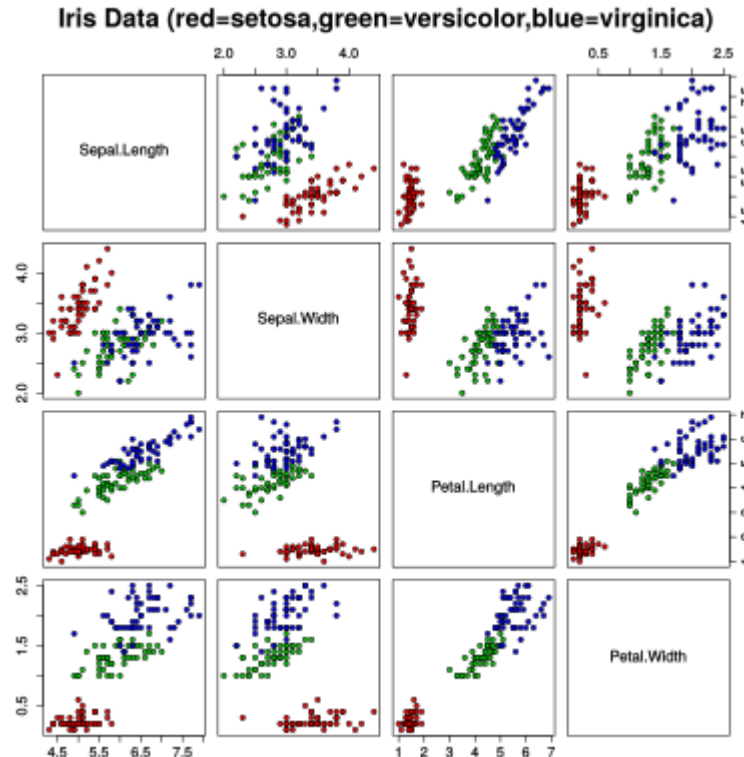
學理公式 vs 數據科學

理論模型



- 往往過度簡化
- 未能反應實際狀況
- 需要校正參數過多

數據科學模型(AI)



- 黑盒子，往往無法解釋
- Garbage in garbage out
- 系統偏移而不自知

混和模型

理論模型



數據科學模型

- 將兩種模型透過整合式學習(ensemble learning)予以整合
- 將數據模型與理論模型之間的殘差進行修正
理論引導人工智慧模型

from Automation to Intelligence

從自動化到智慧化

- 智能化比自動化更高階，能根據很多種不同的情況做出不同的反應，並有記憶及學習的功能；而自動化相對要簡單的多，一般只會對幾種情況作同樣的反應，多用於重複性的工作。
- 利用 online sensor 測得水質的狀況，加上操作參數、實驗室數據、專家經驗等，經過智能化軟體運算，及時校正 PLC 所設定的數值，使處理單元在優化的條件下操作。



可用來控制的設備：

- 抽水機、鼓風機 – VFD變頻器
- 加藥機 – 電磁式或變頻馬達
- 控制閥電動驅動器

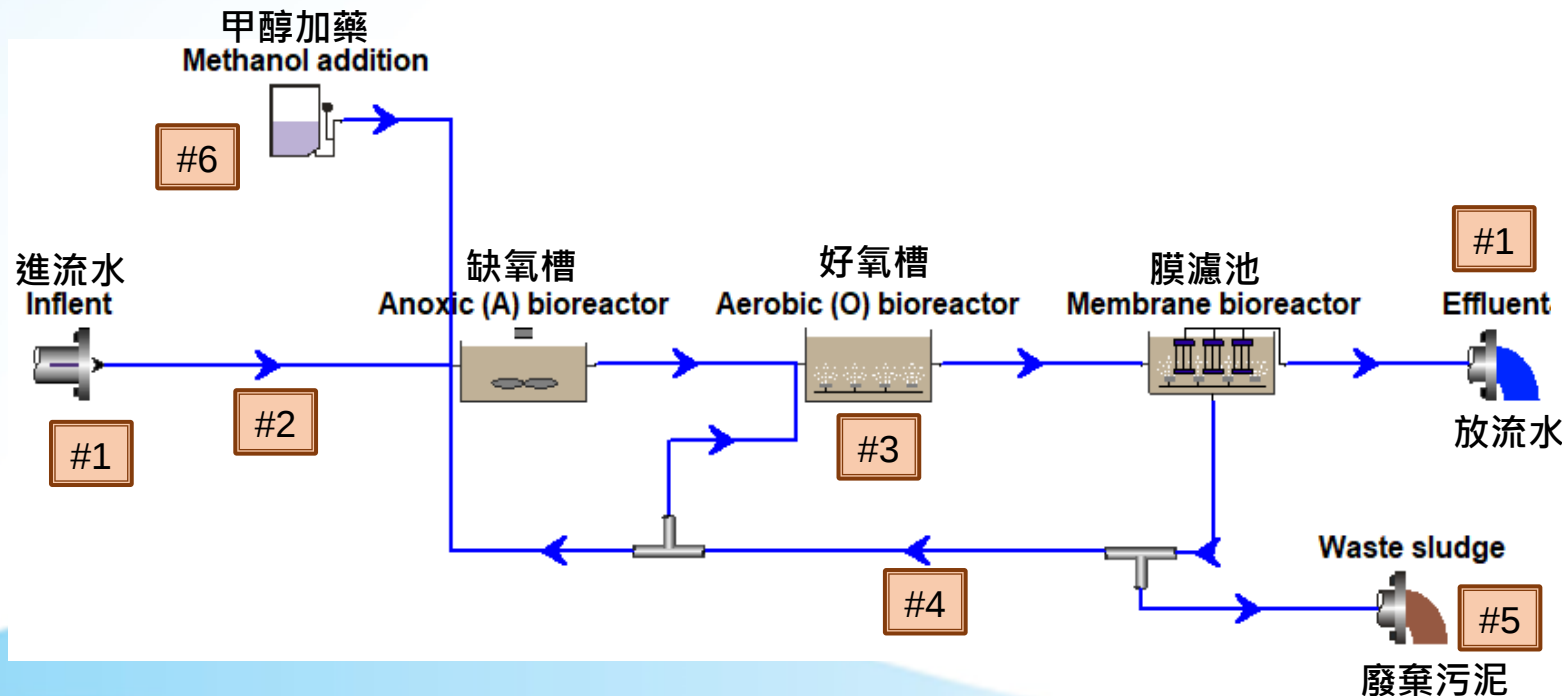
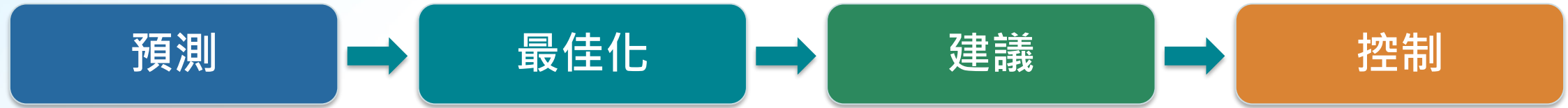


實際運用及實績



- Prediction 模擬預測
- Early warning 預警
- Smart control 智慧控制
Multi-parameter Optimization 多參數最佳化

- 自主即時控制
- 人機協作



Item	Description of smart control solution
# 1	進出流水預測
# 2	智慧分水
# 3	精準曝氣
# 4	硝化液迴流
# 5	MLSS 及廢棄汙泥控制
# 6	智慧碳源管理

Sense → Predict → Optimize → Act (Human-AI Collaboration)

Qin

NH₃

COD

第三組數據趨勢圖 (LSTM)



第四組數據趨勢圖 (XGBoost)



第一組數據趨勢圖 (LSTM)



第二組數據趨勢圖 (XGBoost)



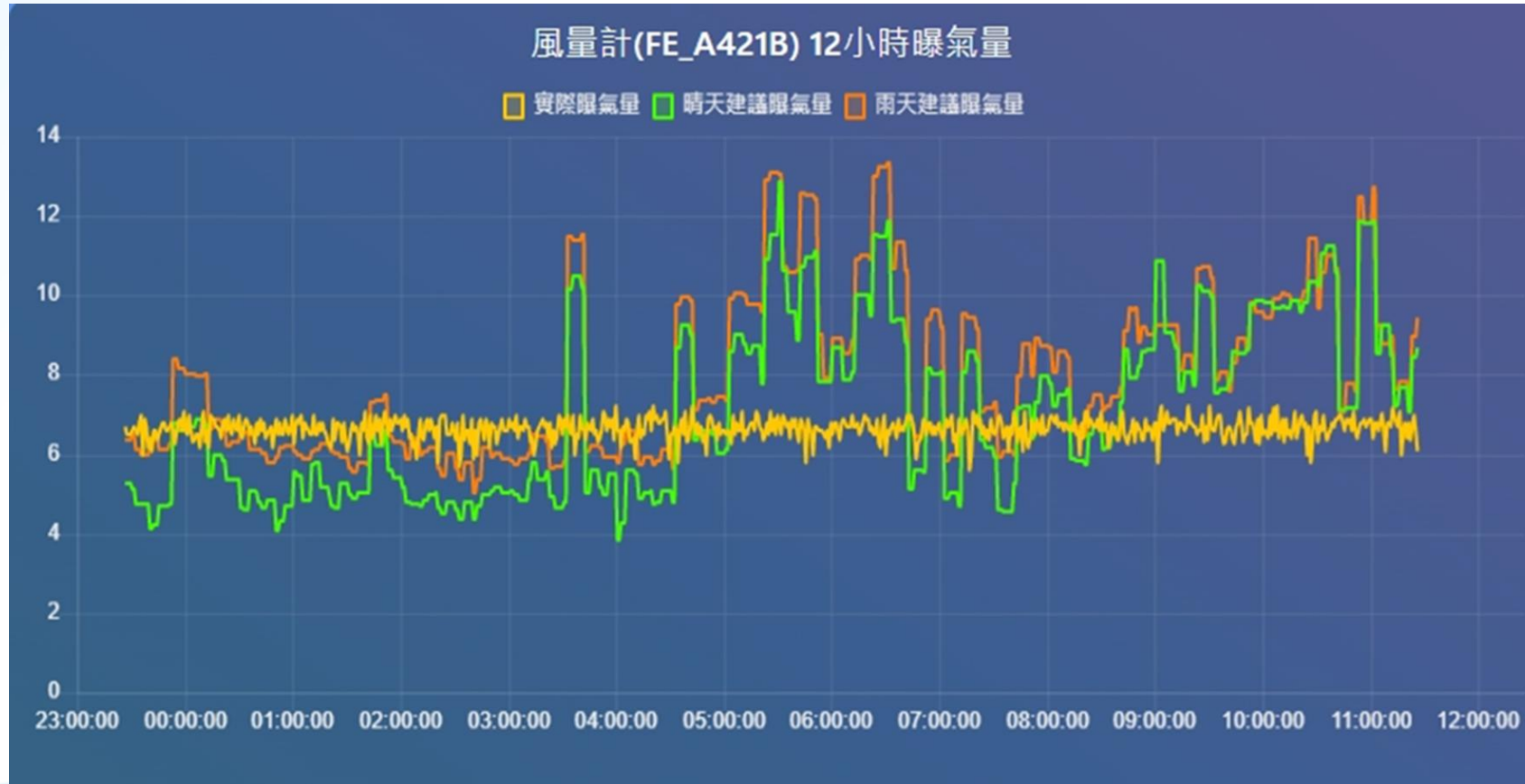
上班日

非上班日



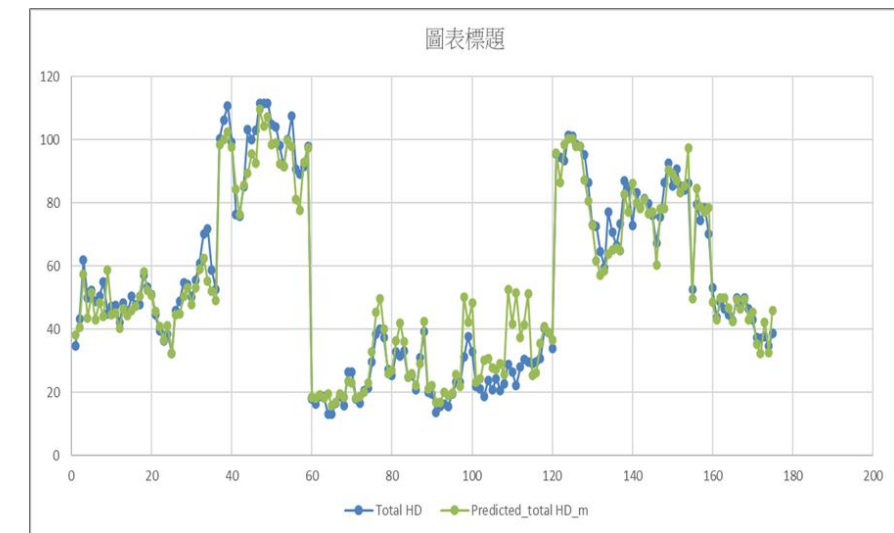
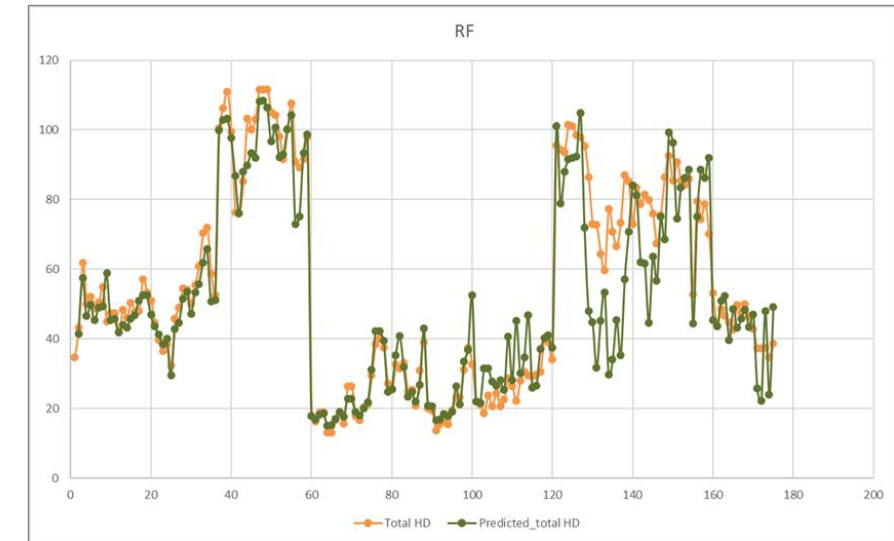
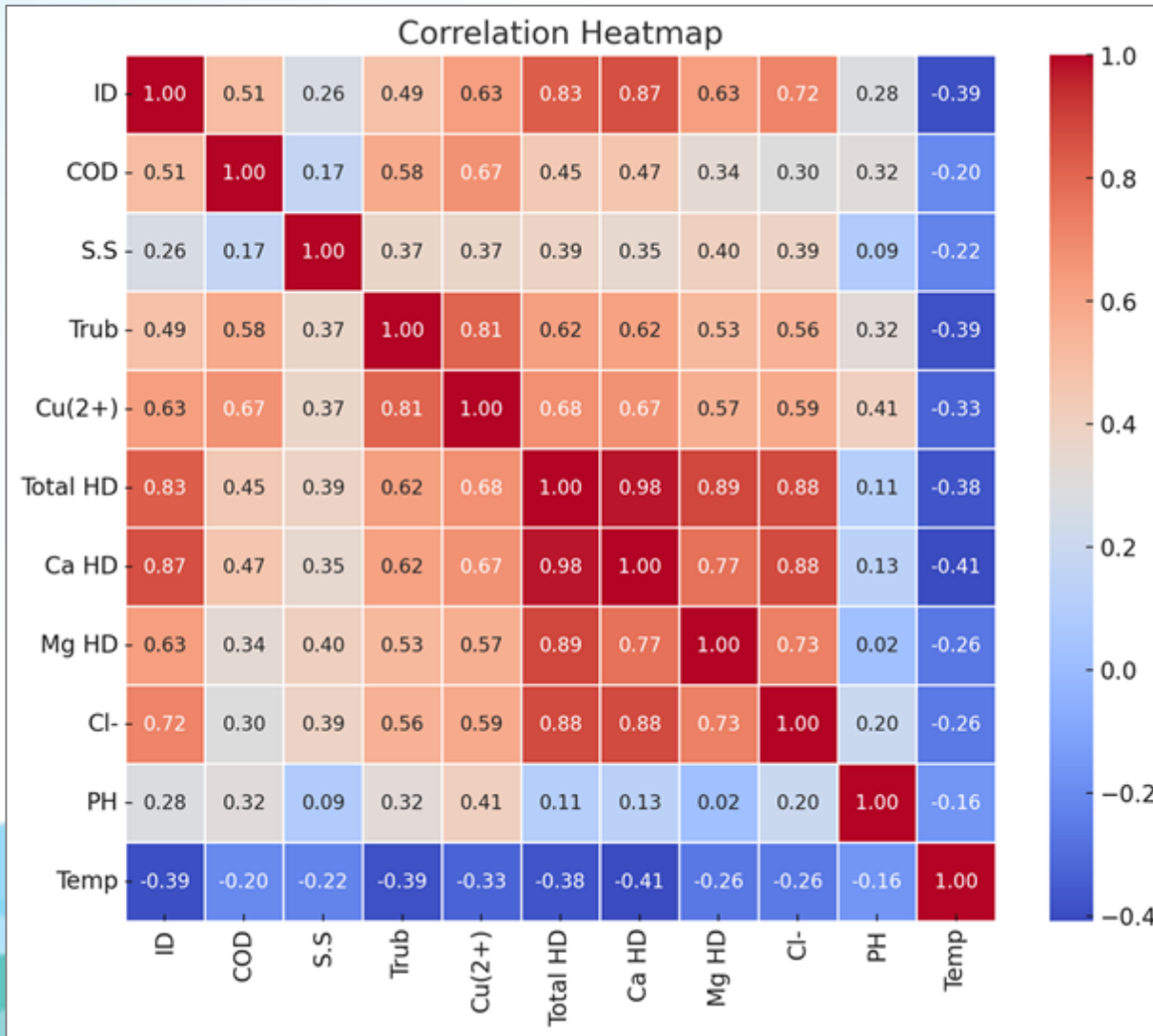
- LSTM用於多參數預測單一參數；X-Gboost 則用於單一參數自回歸預測。
- 兩者都有良好的表現，而X-GBoost 的表現明顯更優於LSTM。

曝氣量預測 Feed-forward control

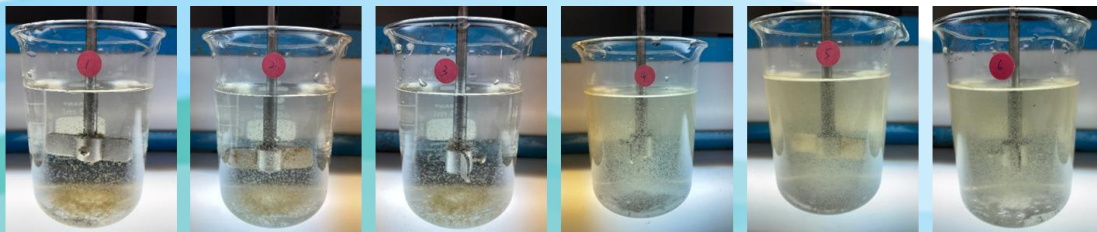
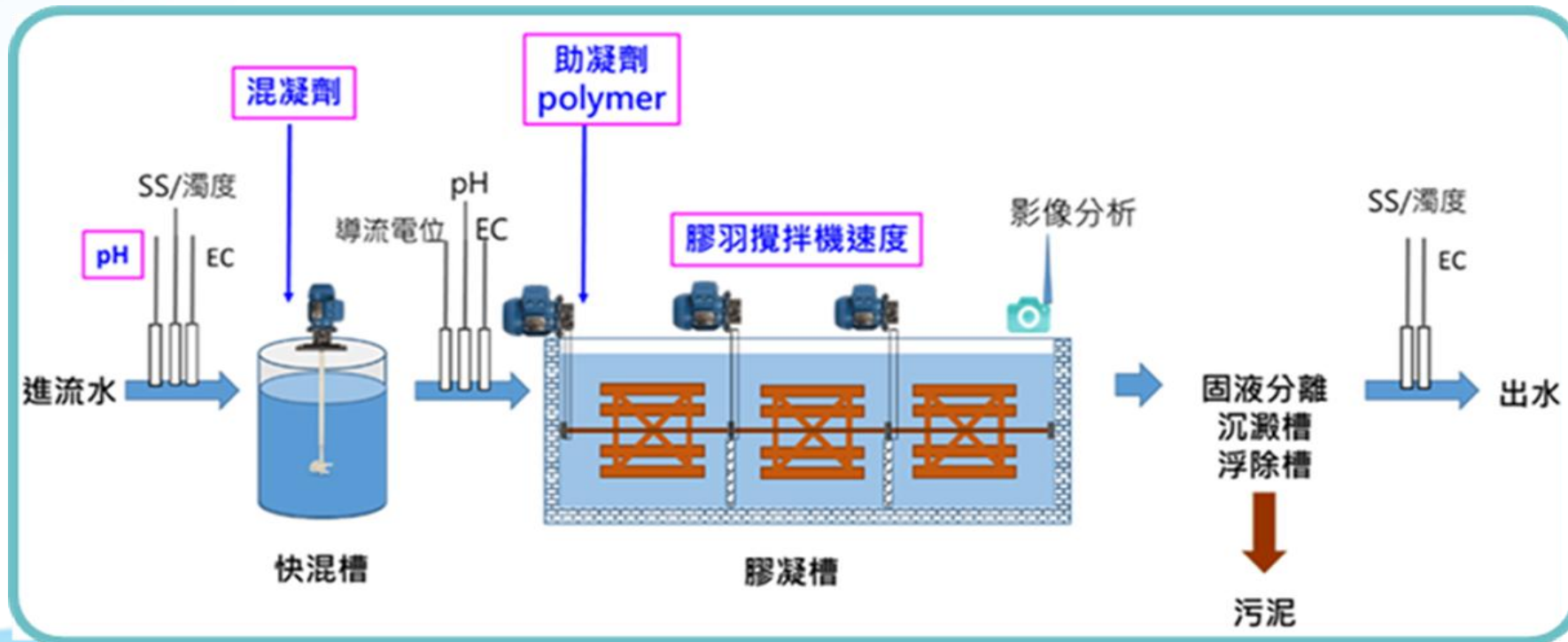


- ◆ 由XGB模型預測得 Q_{in} , COD, NH_3-N 三項主要的曝氣影響因子，帶入曝氣量計算學理公式，得出建議曝氣量，可工作污水處理廠操作調整曝氣量之依據。
- ◆ Feed-forward control 取代 feed-back control。

Soft sensor – 不直接量測，以其他senor的數據來推求該項目的數值



化學混凝過程中使用大量藥劑並形成大量污泥。本單元可調整的操作參數包括：pH、混凝劑加藥量、助凝劑加藥量、攪拌速度等。膠羽的外觀及大小可透過影像辨識技術來辨識其膠凝程度及沉降特性，作為調整膠凝操作的依據。

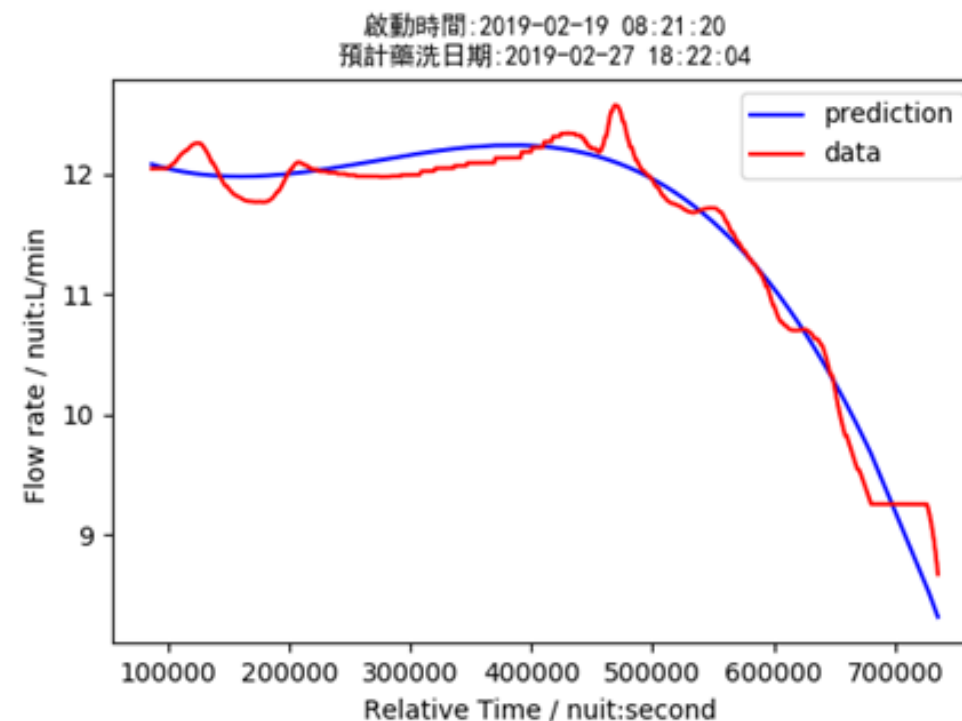


特色：

1. 學理(Jar test)引導數據科學(Data science)混合模型
2. 導入膠羽影像分析
3. 最佳多參數組合搜尋

薄膜過濾

- 以進出流水質、壓損及產水量，以每一個cycle實際膜堵塞狀態，預測藥洗時機，取代一般以固定時間為程序控制的做法。
- 配合操作壓力的調整，以減少能源消耗。



永康再生水廠第二階段擴廠，加設RO模組。(南市水利局網站)

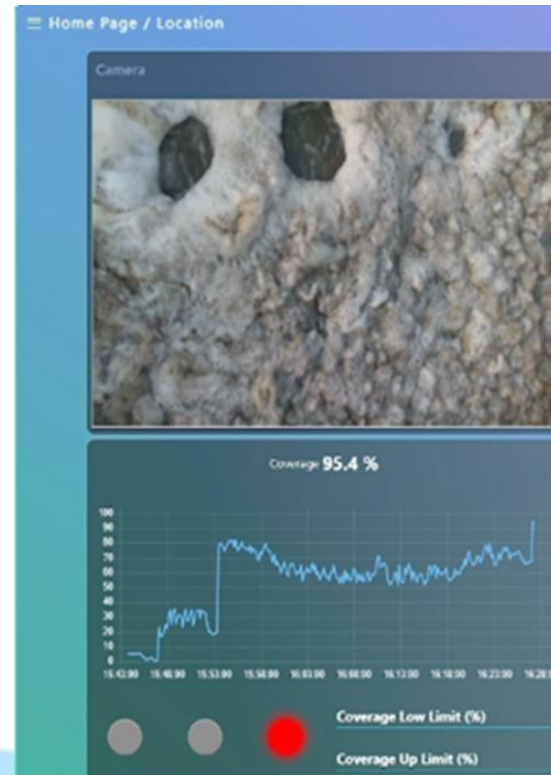
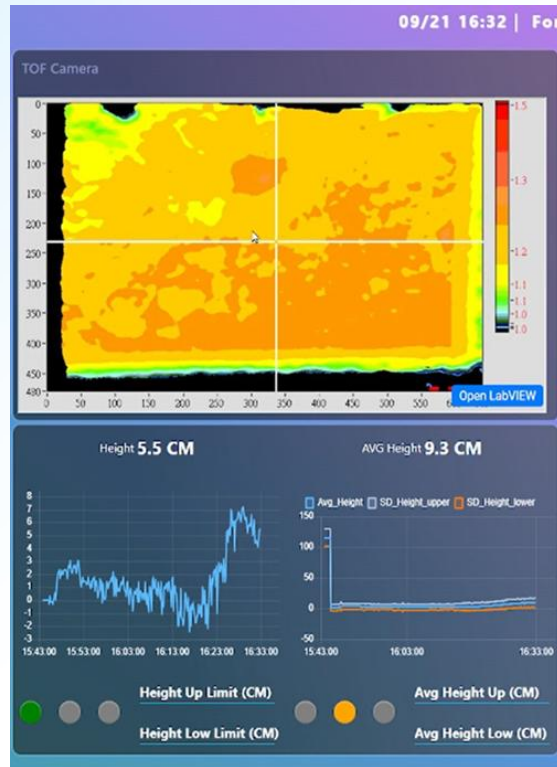


數位化智慧管理

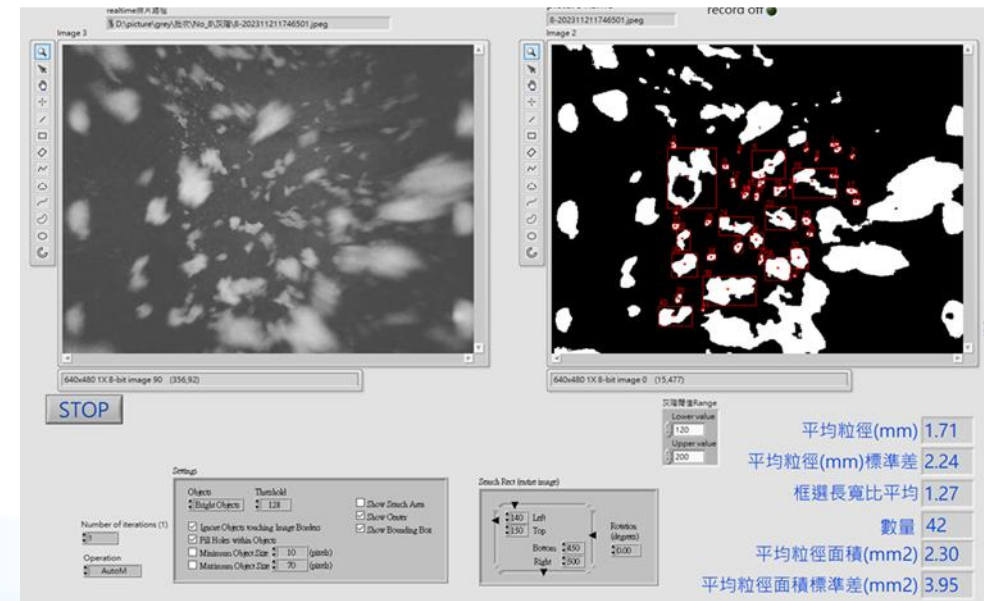
數據分級呈現

19

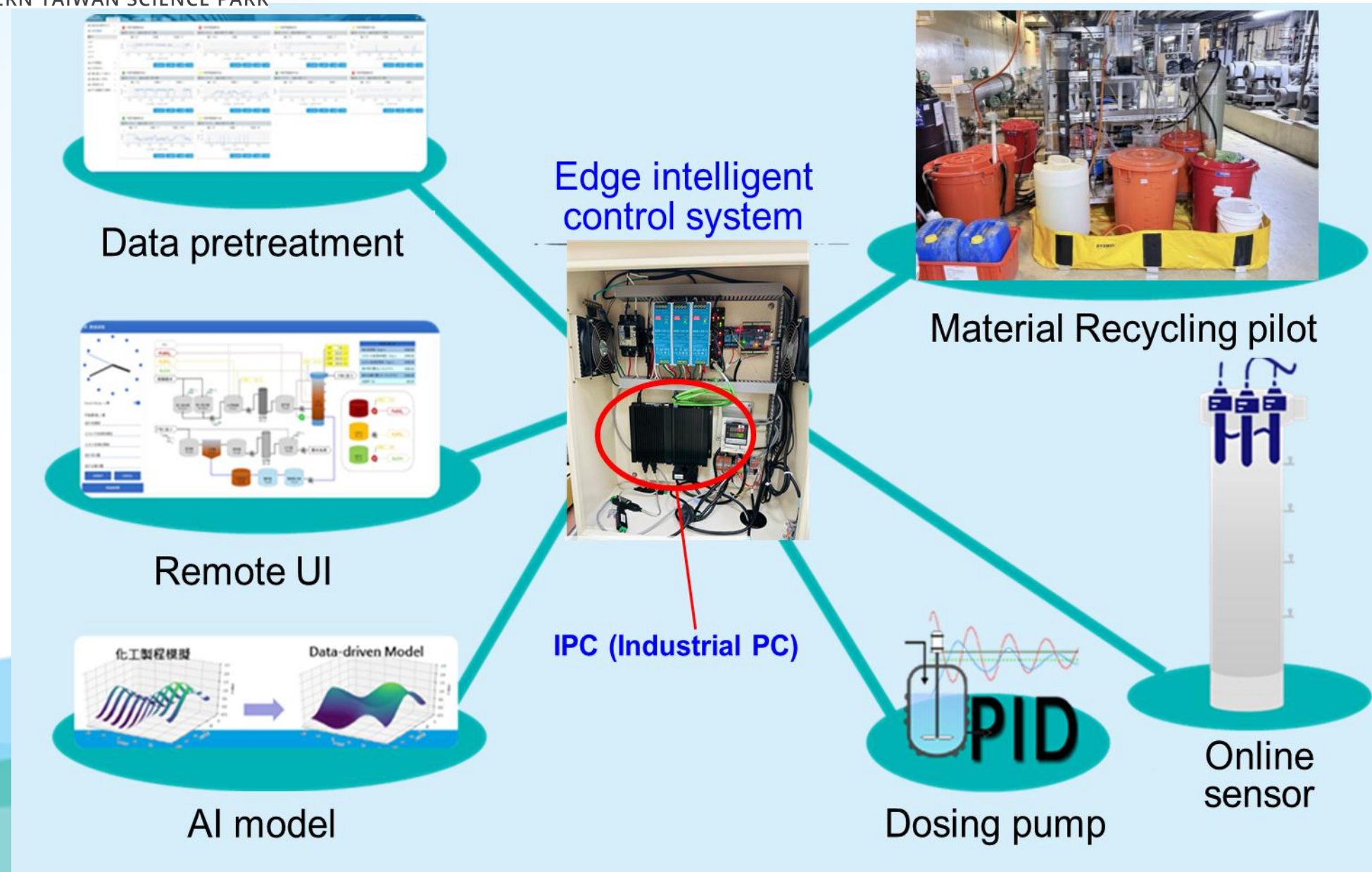
- 工程儀錶板 Engineering Dashboard
- 操作介面 Operation User Interface
- 管理階層儀錶板 Management Dashboard
- 大眾資訊揭露 Public Information disclosure
- 數據查詢及報表列印

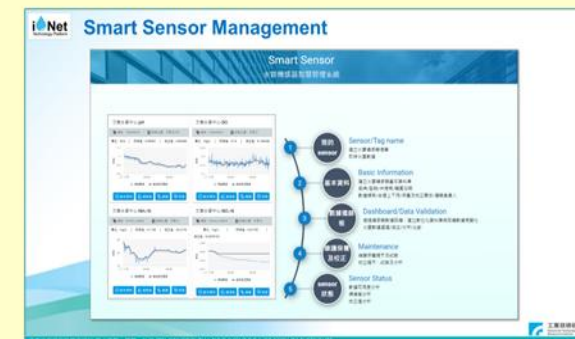
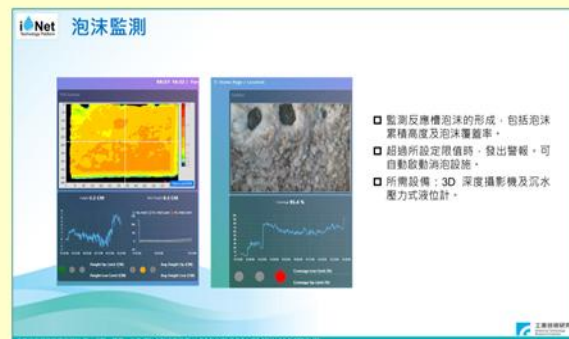
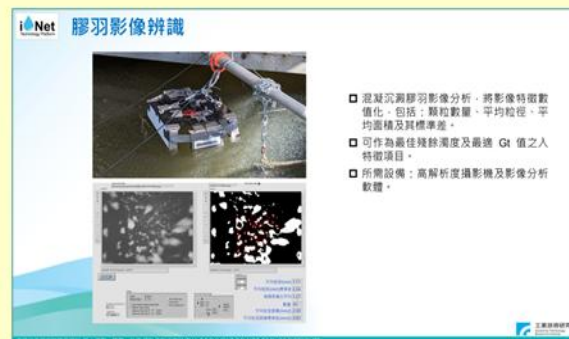
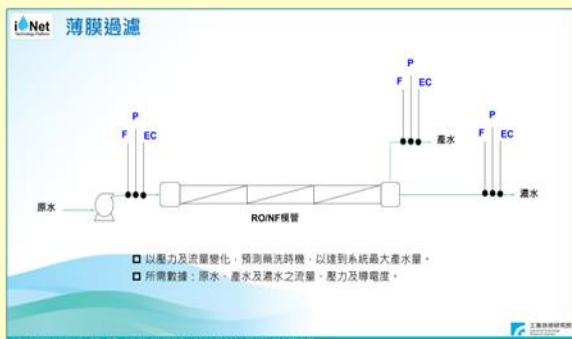
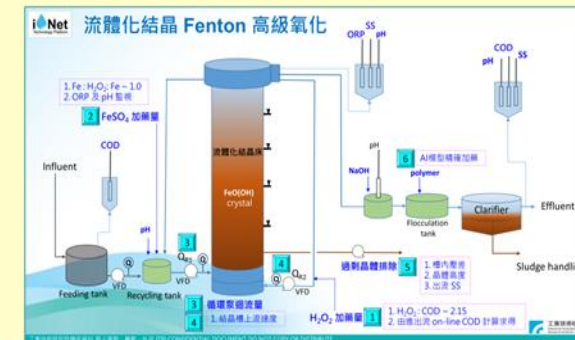
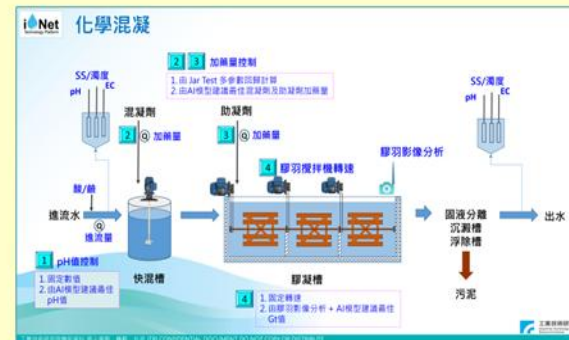
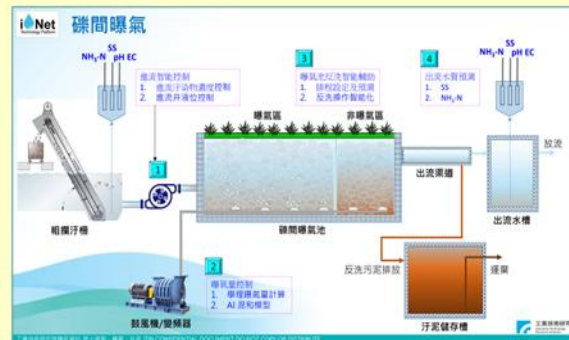
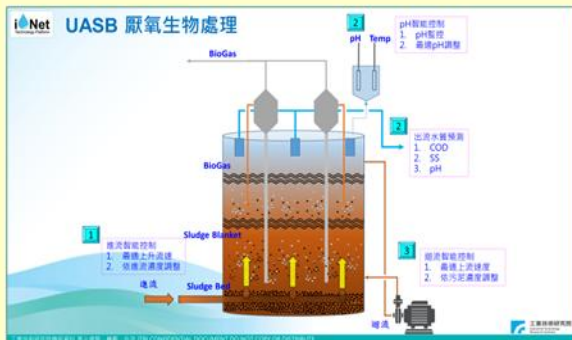
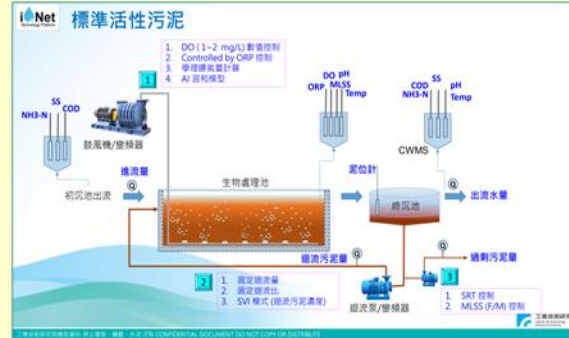
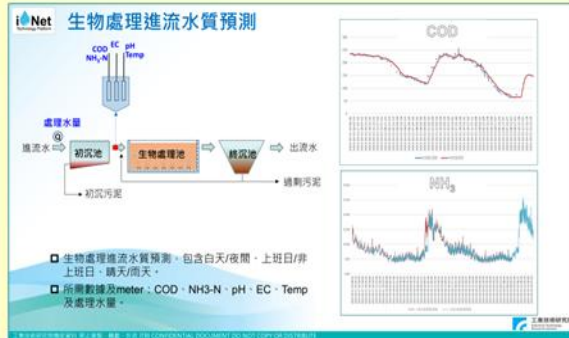
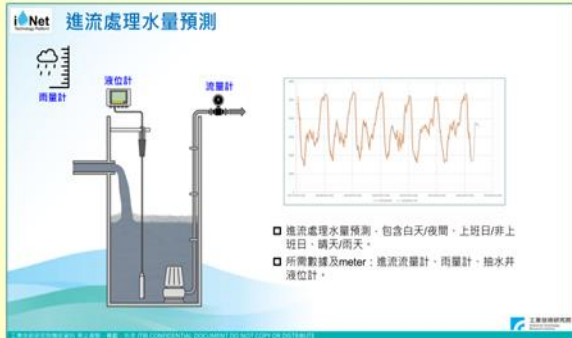


泡沫影像辨識



膠羽影像辨識





科學園區：

- ❑ 新竹科學園區污水處理廠生物除氮系統及混凝沉澱智能化
2025環境部淨水永續獎(智慧低碳下水道組)
2024台灣水務發展協會金質獎
- ❑ 台南科學園區污水處理廠生物除氮系統智能化
- ❑ 中科后里園區污水處理廠生物除氮系統及混凝沉澱智能化
- ❑ 銅鑼科學園區高導廢水處理智慧化提昇

自來水：

- ❑ 南部自來水淨水場混凝沉澱加藥智慧化提升
- ❑ 輸水管線聲源測漏 (材化所結構及設備完整性研究組)

民生污水處理廠：

- ❑ 竹東水資源回收中心污水處理智能化

工業廢水：

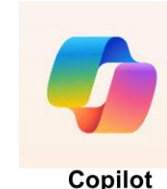
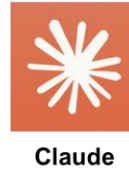
- ❑ 工業廢水回收設施智能化
- ❑ 北部石化廠污水處理水質預測及預警系統
- ❑ 南部面板廠厭氧生物處理水質預測及智能化操作

環境水體監測：

- ❑ 台灣智慧水聯網



- ❑ 30 餘年技術研發及產業服務經驗
- ❑ 12 項核心技術
- ❑ 200 餘項專利
- ❑ 服務國內外廠商逾 200 家

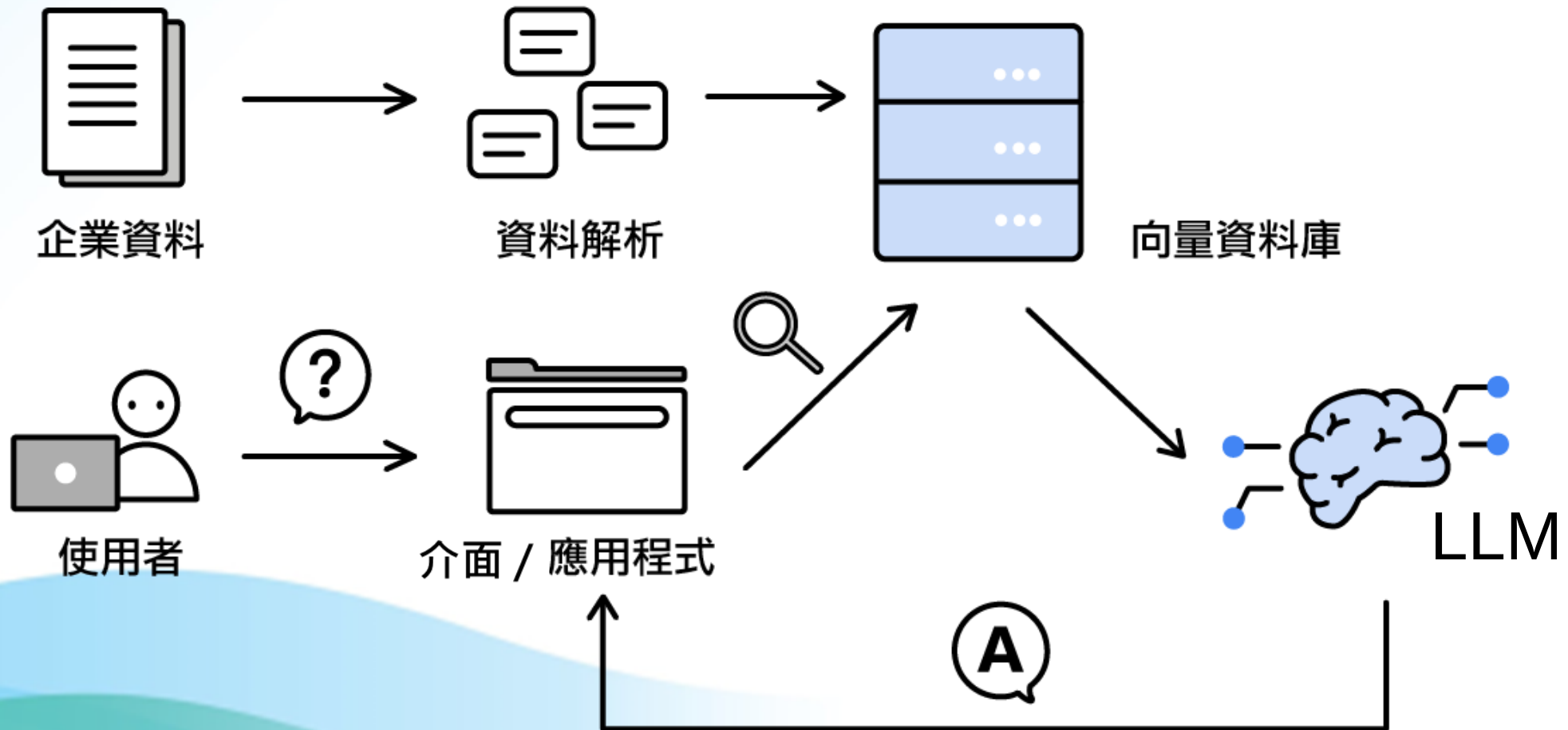


LLM vs LRM



大型語言模型 LLM (Large Language Model)
大型推理模型 LRM (Large Reasoning Model)

RAG檢索增強生成 (Retrieval-augmented generation)





從 Data-Driven Models 到 Knowledge-Driven Agentic AI

機器學習 (ML)

Data - Driven AI

Data
↓
ML / DL
↓
預測 & 最佳化

生成式 AI (GAI)

Knowledge - driven AI

公有 + 私有資料
↓
LLM + RAG
↓
背書 & 推理

AI 代理人

Agentic AI

觀察 • 計畫
工具/技能使用 • 決策
行動 • 驗證
學習 • 記憶

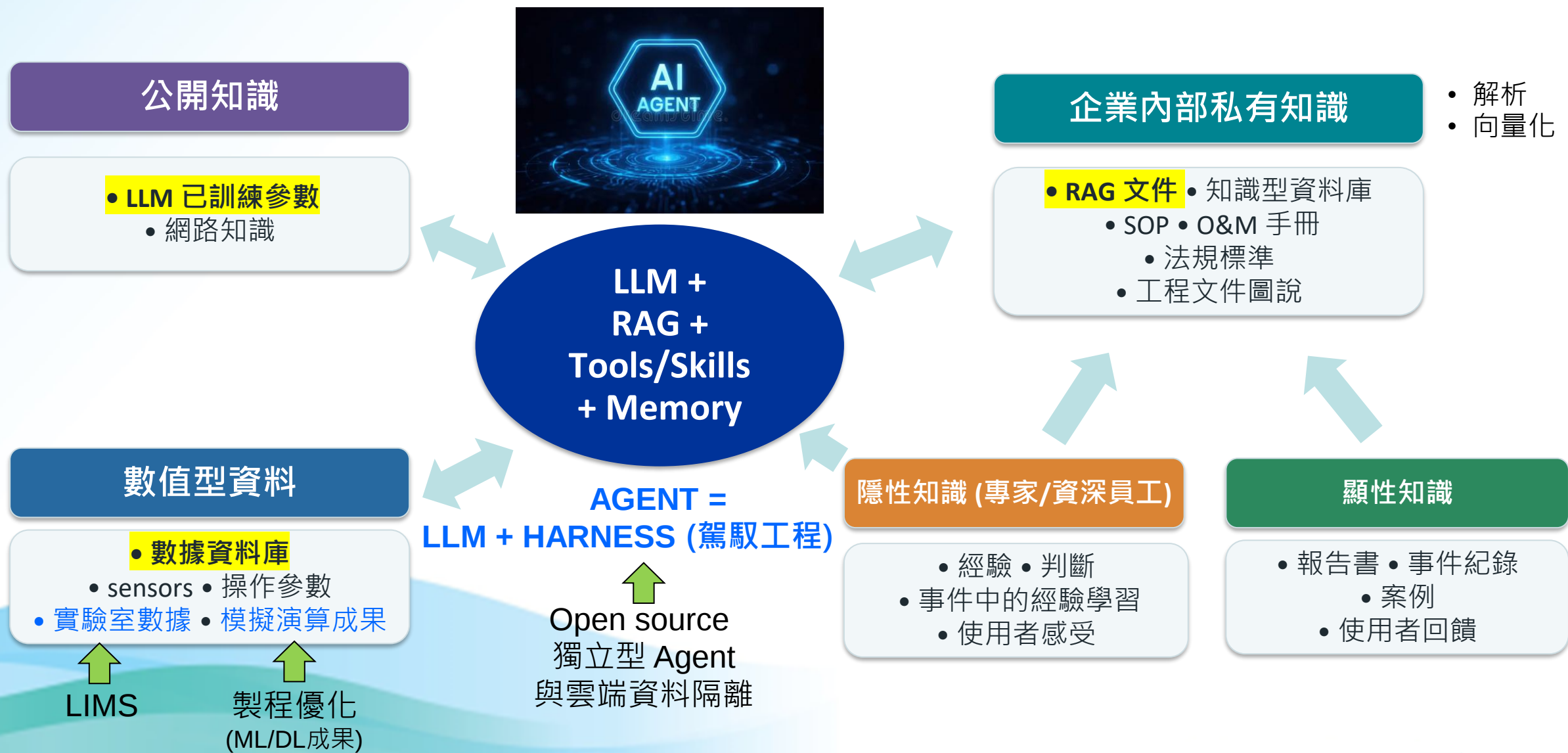
What is likely to happen?

Why is it happening?

What should I do —
and what did I learn?

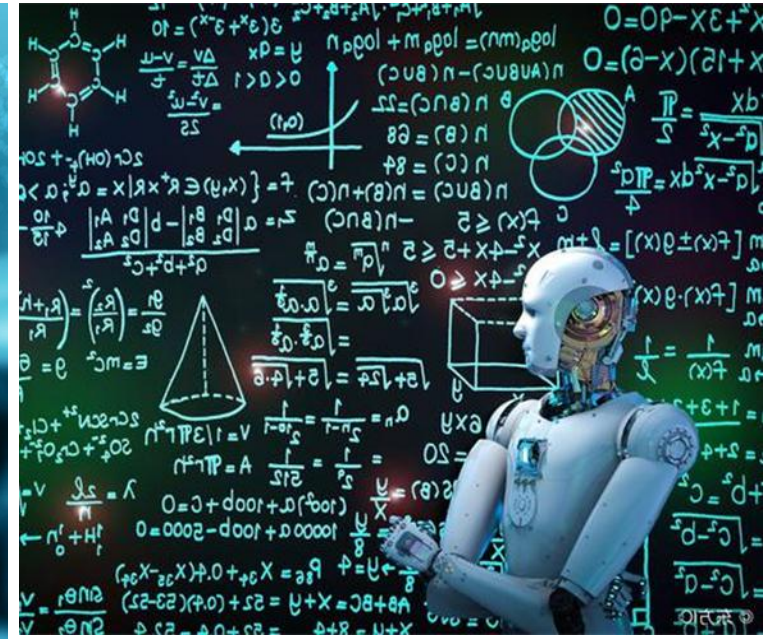
DATA → INFORMATION → KNOWLEDGE → REASONING → DECISION → ACTION → MEMORY

數據, 知識 與 記憶



Take Home Message

- 1 On-line sensor 及可靠的數據是智慧化的基礎。
- 2 混合模型結合了學理知識與機器學習的優點。
- 3 LLM + RAG 將數據與公開及私有知識連結起來。
- 4 AI Agent 將 LLM+RAG 加上駕馭工程，可整合 data driven model 及 knowledge driven model。
- 5 AI Agent 可進行數據庫巡檢、分析、推理、調查、行動，以及建立專屬記憶，為水務產業開創了一條從自動化邁向智慧化，並最終實現自主化的道路。



Thank You for Listening



創新水科技研發服務網

<https://www.itriwater.org.tw/>

羅英維 博士/技術經理/ 環工技師

TEL: (03)573 2688

email: waynelo.ubc@itri.org.tw