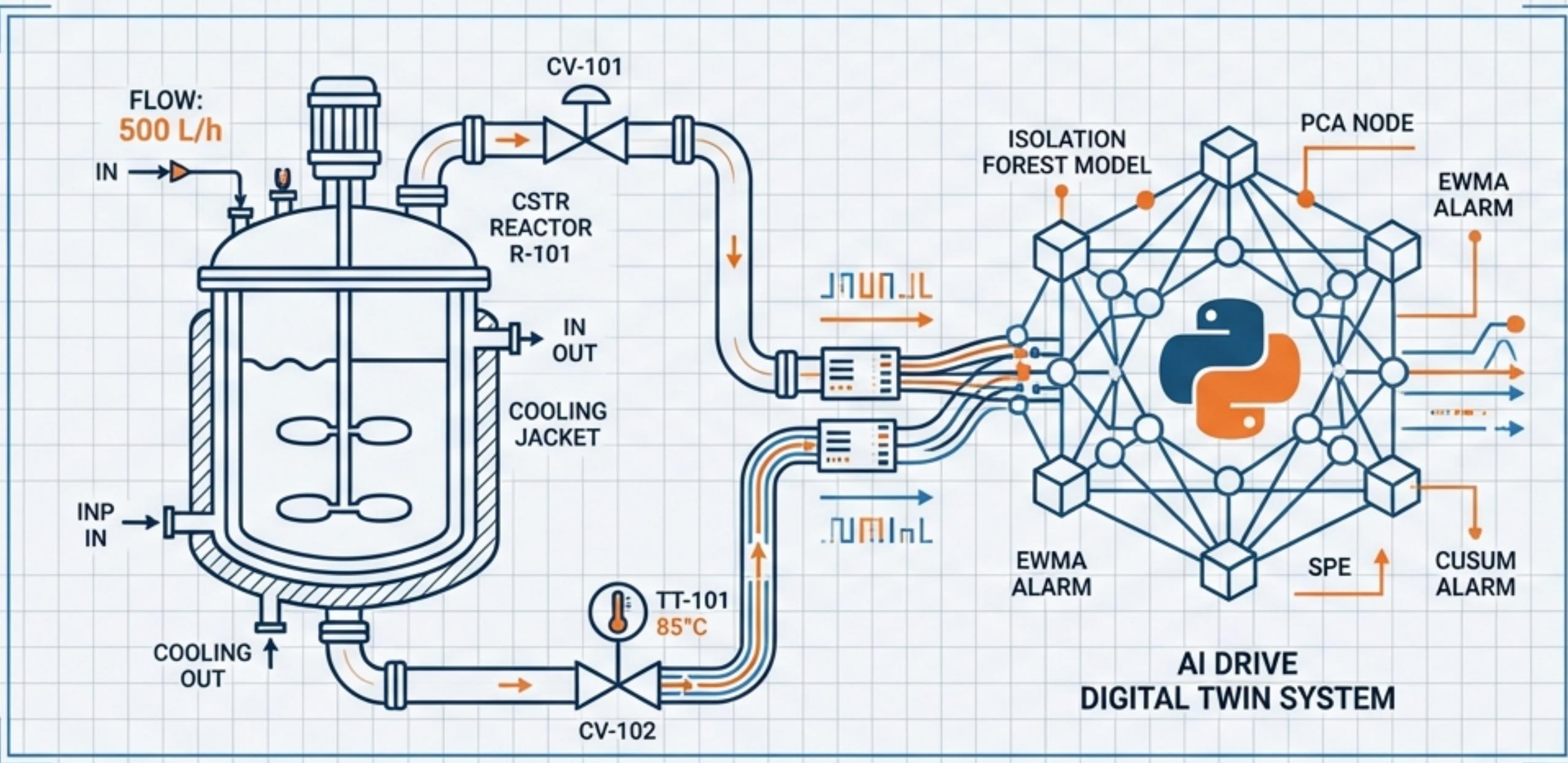


# Unit 09 | 製程安全與異常偵測實戰手冊

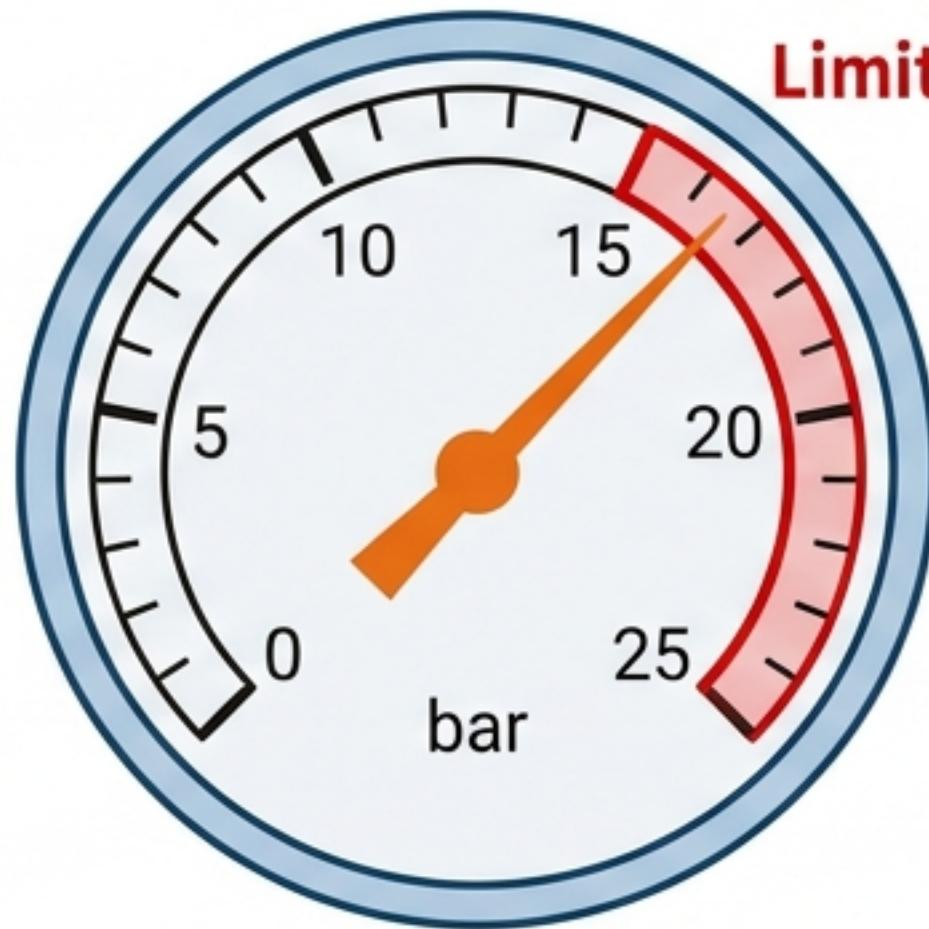
## 從傳統 DCS 警報到 AI 驅動的智慧監控



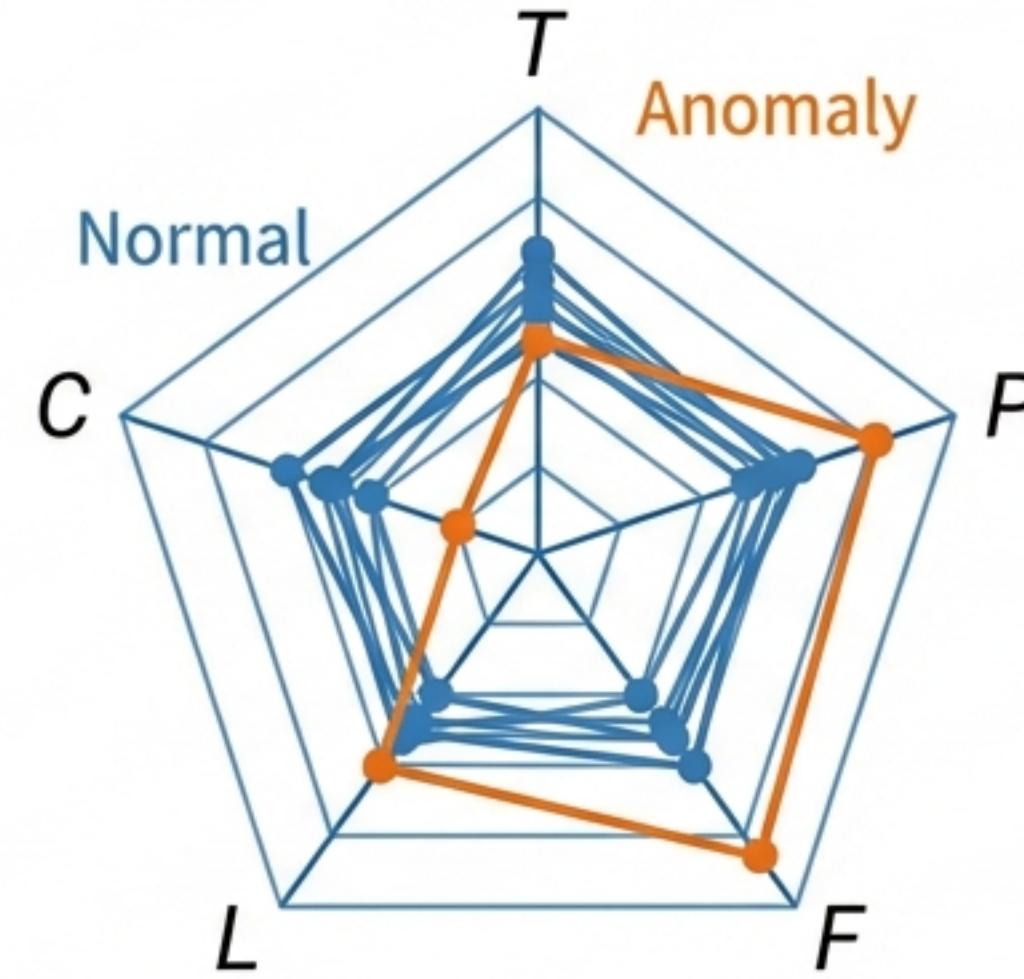
- Isolation Forest  
(孤立森林)  
Noto Sans TC Regular  
Roboto Mono
- PCA / MSPC  
( $T^2$  & SPE)  
Noto Sans TC Regular  
Roboto Mono
- Alarm Management  
(EWMA / CUSUM)  
Noto Sans TC Regular  
Roboto Mono

# 監控演進：為什麼傳統 DCS 警報不夠用？

## 傳統 DCS 警報 (Traditional DCS)



## AI 智慧偵測 (AI Detection)

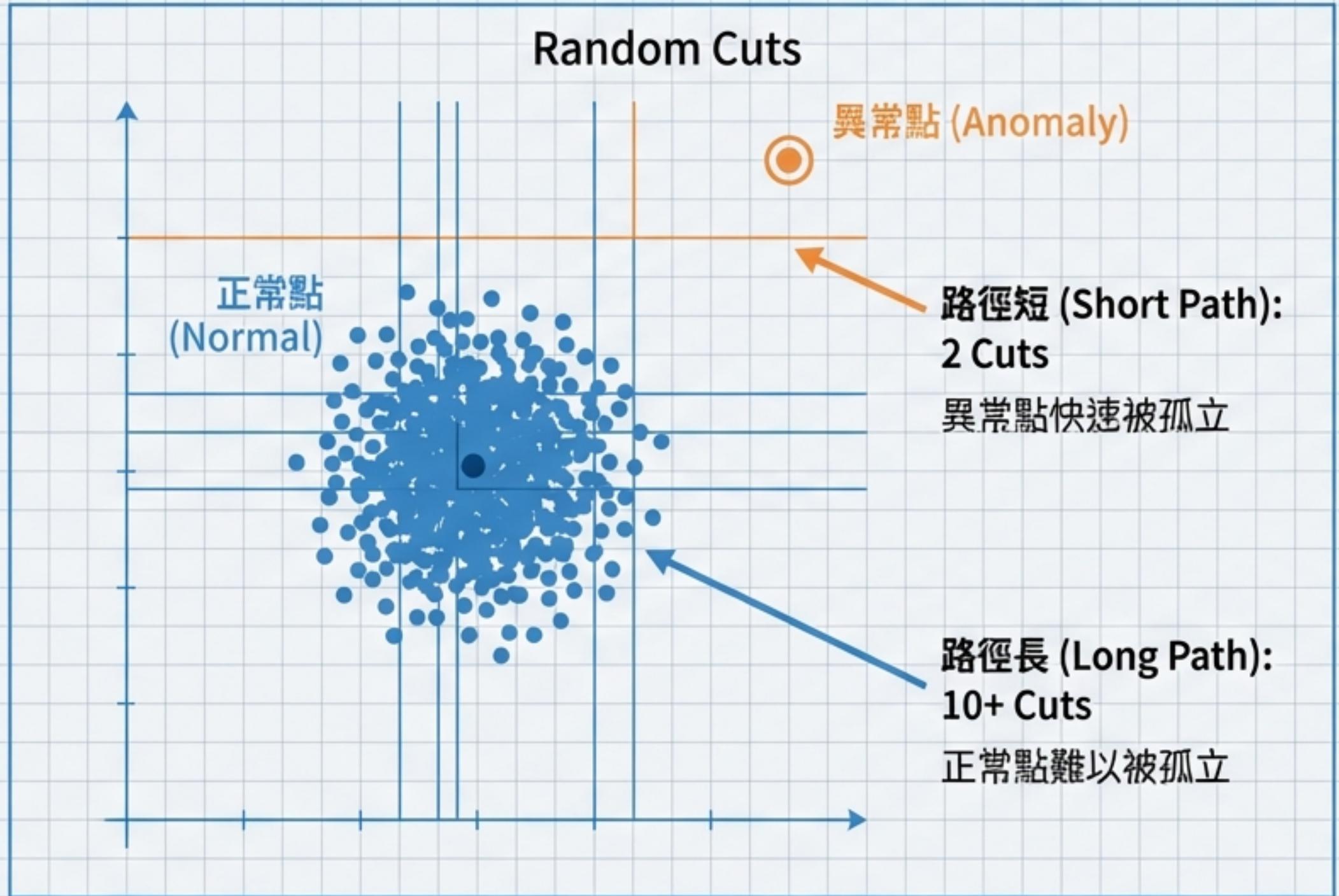


- 單變數閾值 (Univariate)：僅監控  $P > 15$  bar
- 反應滯後 (Reactive)：超標才響，設備已受損
- 盲點：無法察覺「變數間物理關聯」的異常

- 非監督式學習 (Unsupervised)：學習「正常長什麼樣子」
- 多變數關聯 (Multivariate)：偵測變數關係破壞
- 優勢：提早預警，捕捉隱形殺手

# 工具一：Isolation Forest (孤立森林)

核心邏輯：異常點通常是少數 (Few) 且疏離 (Different) 的



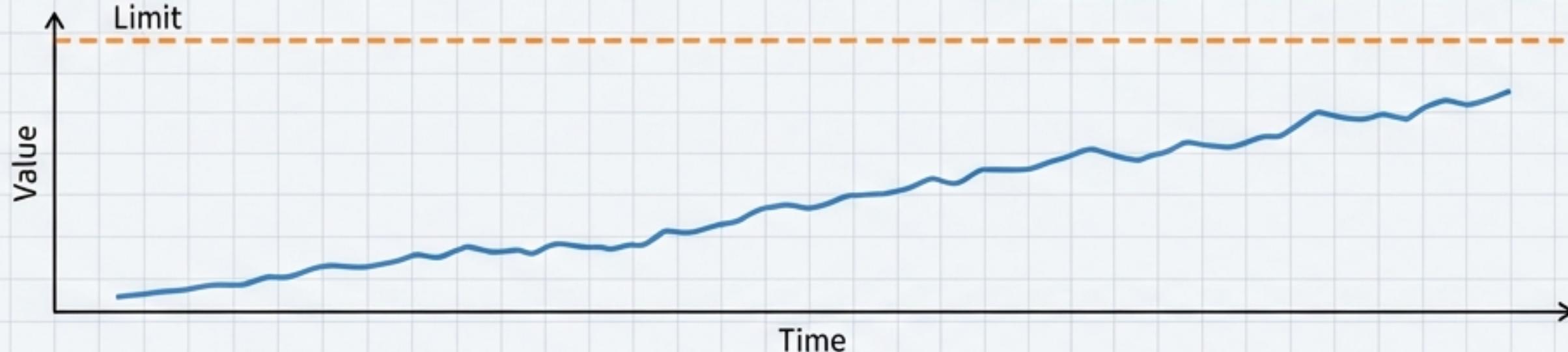
## 演算法特性

- 隨機切割 (Random Partitioning)：建立多棵隔離樹 (iTree)
- 路徑長度 (Path Length)：
  - 異常點 (Anomaly)：路徑短 ( $s \rightarrow 1$ )
  - 正常點 (Normal)：路徑長 ( $s \rightarrow 0$ )
- 效率：時間複雜度  $O(t \cdot \psi \cdot \log \psi)$ ，適合即時監控

# 解決盲點：如何偵測「漂移」與「波動」？

## Case A: 原始數據 (Raw Data Only)

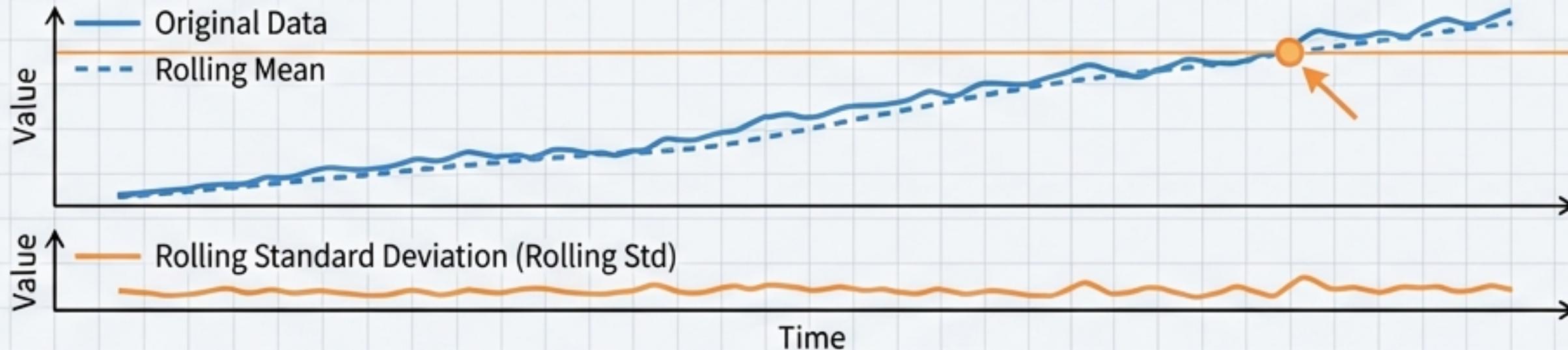
Model Status:  Normal (False Negative)



Isolation Forest 僅看單點數值，無法察覺漸進式漂移。

## Case B: 特徵工程 (Feature Engineering)

Model Status:  Anomaly Detected



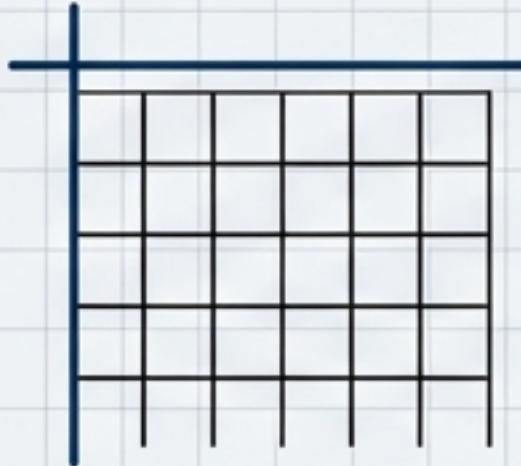
引入 Rolling Statistics (Mean/Std) 捕捉動態變化。

## 解決方案 (Solution) :

- Rolling Mean: 針對漂移 (Drift)
- Rolling Std: 針對波動 (Fluctuation)

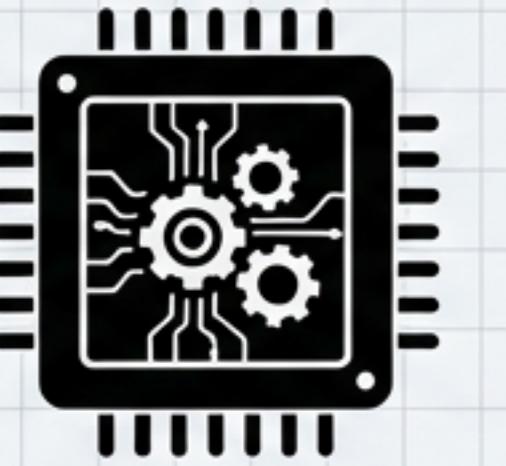
# 工具二：PCA/MSPC 多變數統計製程管制 從監控「變數」轉向監控「物理關聯」

## Input Data



$T_{in}$ ,  $P_{in}$ , Flow, Level....  
High Dimensionality

## PCA Model (降維)



Project to  
Normal Subspace

## Monitoring Metrics



$T^2$  (Hotelling's)

偏移程度

(Score Distance)



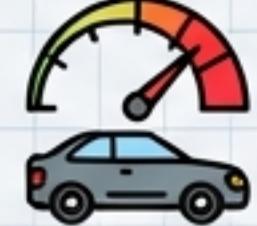
SPE (Residuals)

關聯破壞

(Residual Distance)

核心概念：化工廠變數高度連動 (Coupled)，單變數監控容易失效。

# 工程判讀： $T^2$ 與 SPE 代表什麼物理意義？

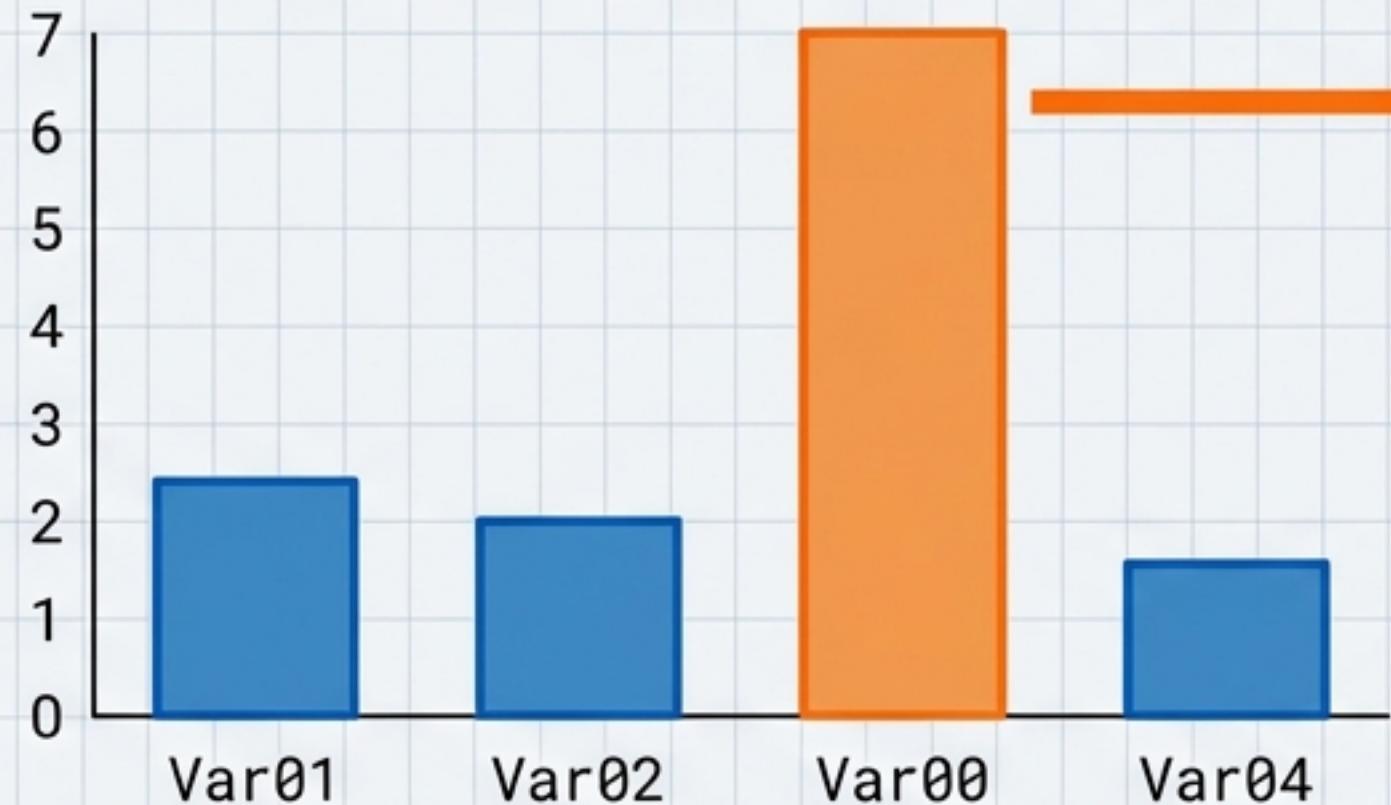
<p>1</p> <p><b>Low <math>T^2</math> / Low SPE</b></p>  <p><b>正常操作</b> (Normal Operation)</p>	<p>2</p> <p><b>High <math>T^2</math> / Low SPE</b></p>  <p><b>極端但合理的操作</b> 高負載運轉、接近邊界。變數關聯未破壞。</p>
<p>3</p> <p><b>High SPE</b></p>  <p><b>違反正常物理關聯 (Anomaly)</b> 感測器故障、反應失控、設備損壞。殘差大，需立即停機檢查。</p>	

**Key Takeaway**

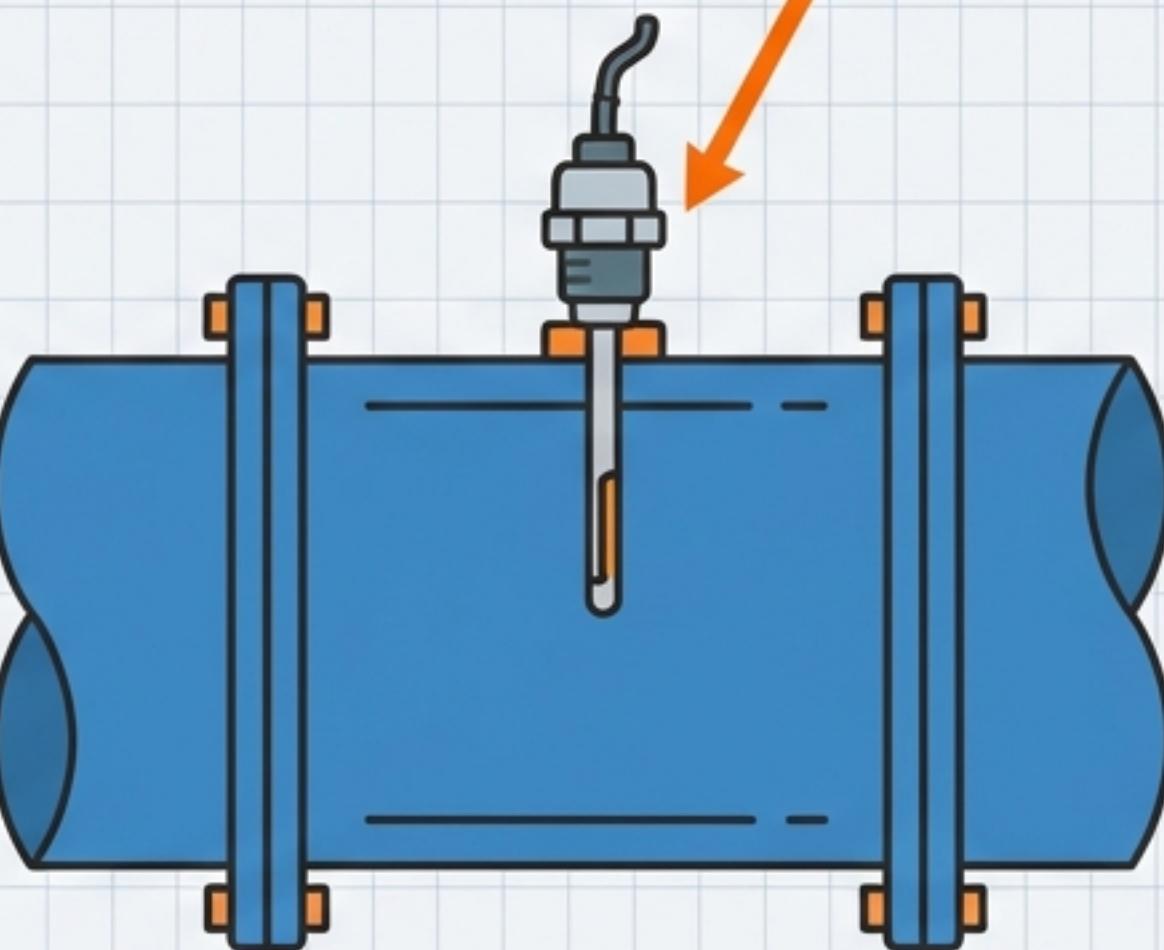
SPE 的飆高通常代表更嚴重的製程異常或儀表故障，是安全監控的首要指標。

# 故障診斷：誰是罪魁禍首？(Contribution Plot)

Variable Contribution to SPE

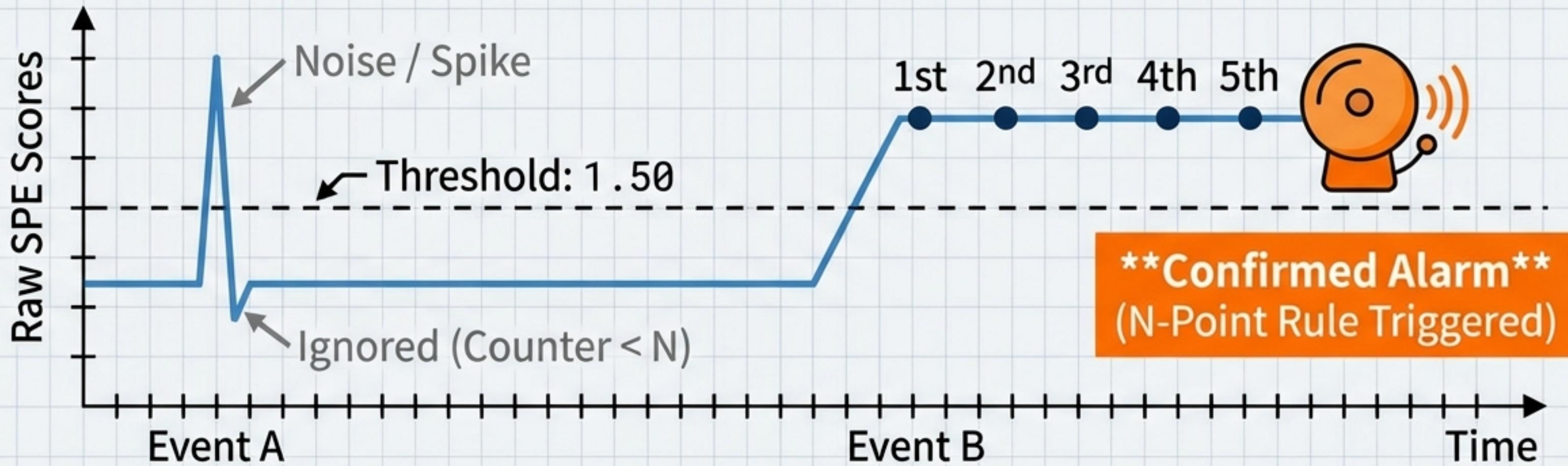


Var00: Reactor\_Temp\_Sensor  
(TT-101)



1. 告警觸發 (High SPE)
2. 計算貢獻值 ( $\text{Contribution}_{-j}^{\text{SPE}} = e_j^2$ )
3. 鎖定 Top 1 變數 (Var00)
4. 現場排查：檢查 TT-101 溫度感測器

# 告警管理：拒絕「狼來了」(Alarm Flooding)

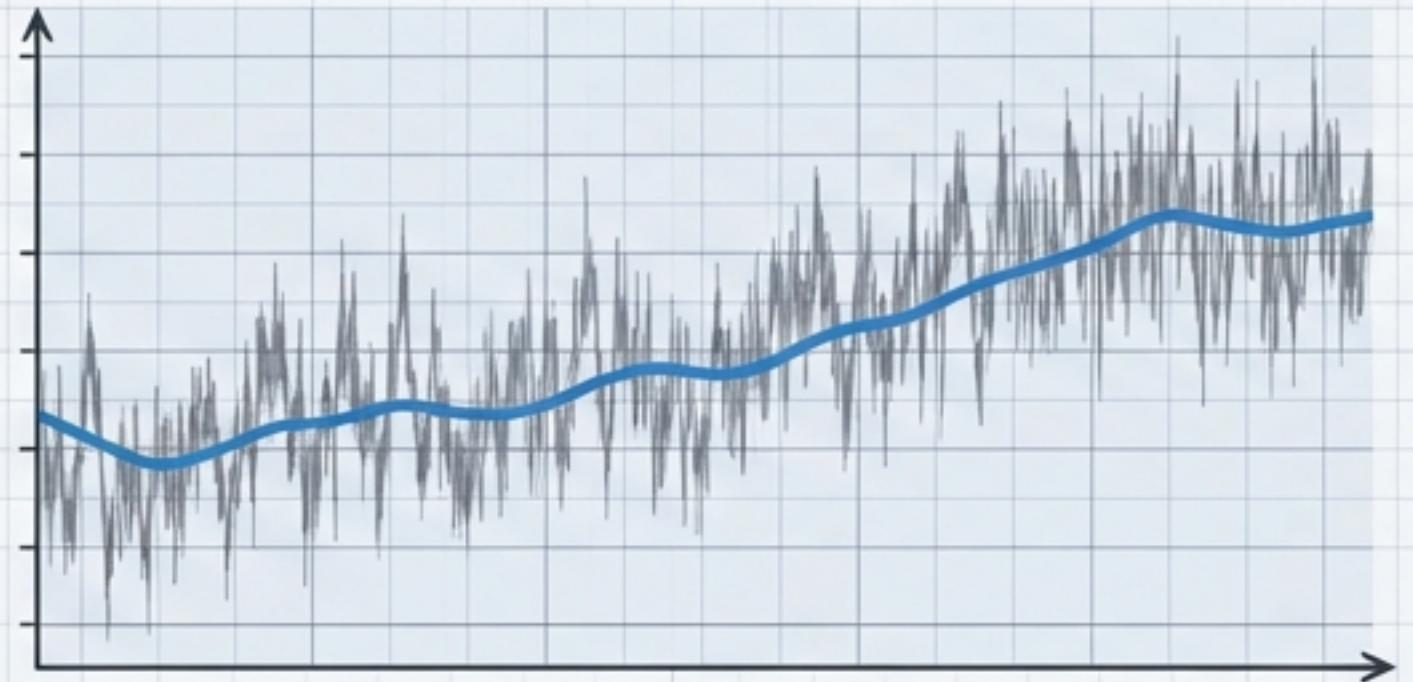


策略：連續 N 點超標規則 (N-Point Rule)

- 邏輯: 只有當連續 N 點 (e.g., N=5) 超標才告警
- Trade-off: 犧牲微小延遲 (Delay) 換取高可靠性 (Reliability)

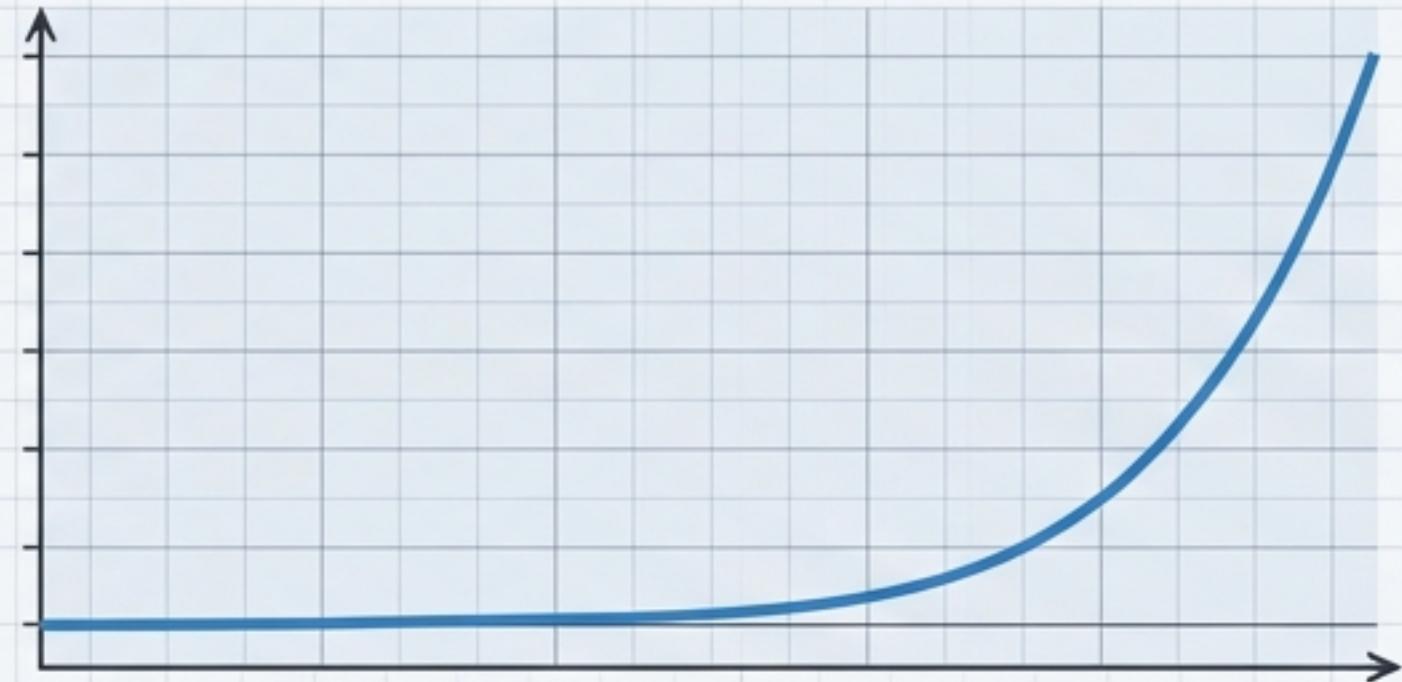
# 進階偵測：捕捉微小漂移 (EWMA & CUSUM)

EWMA (指數加權移動平均)



- 原理: 累積「與目標值的偏差」，積少成多
- 適用: 微小均值偏移 (e.g., 感測器老化)

CUSUM (累積和)

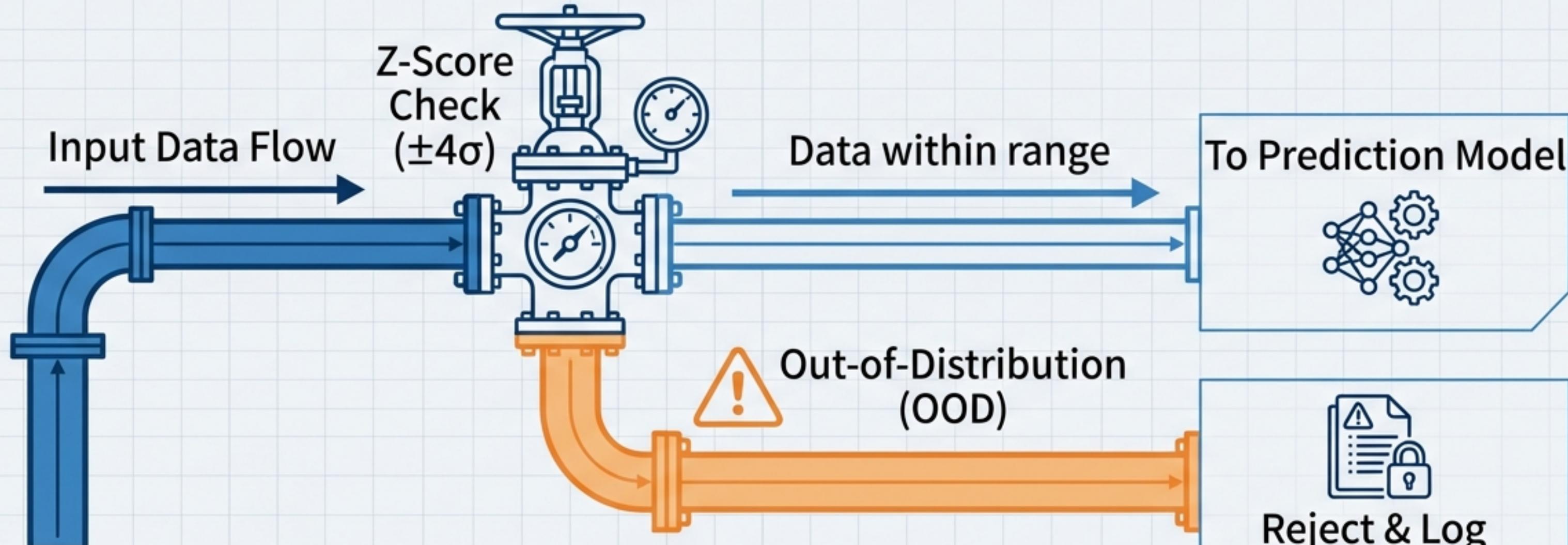


- 原理: 累積「與目標值的偏差」，積少成多
- 適用: 細微均值偏移 (e.g., 感測器老化)

這兩種方法能偵測到原始 SPE 看不出來的隱形異常。

# 第一道防線：OOD Gate (輸入驗證)

避免 GIGO (Garbage In, Garbage Out)



- Input Drift: 原料切換或極端操作 → 觸發 OOD (攔截)
- Residual Drift: 設備異常 → 觸發 SPE (偵測)

# 實戰儀表板：操作員視角

Process Health Monitor - Unit 09

**ALARM** 

T<sup>2</sup> SPE



SPE

Diagnosis / Contribution

- ! 1. Var00 (Temp) - 45% [CRITICAL]
- 2. Var03 (Flow) - 12%
- 3. Var08 (Press) - 8%

System Messages

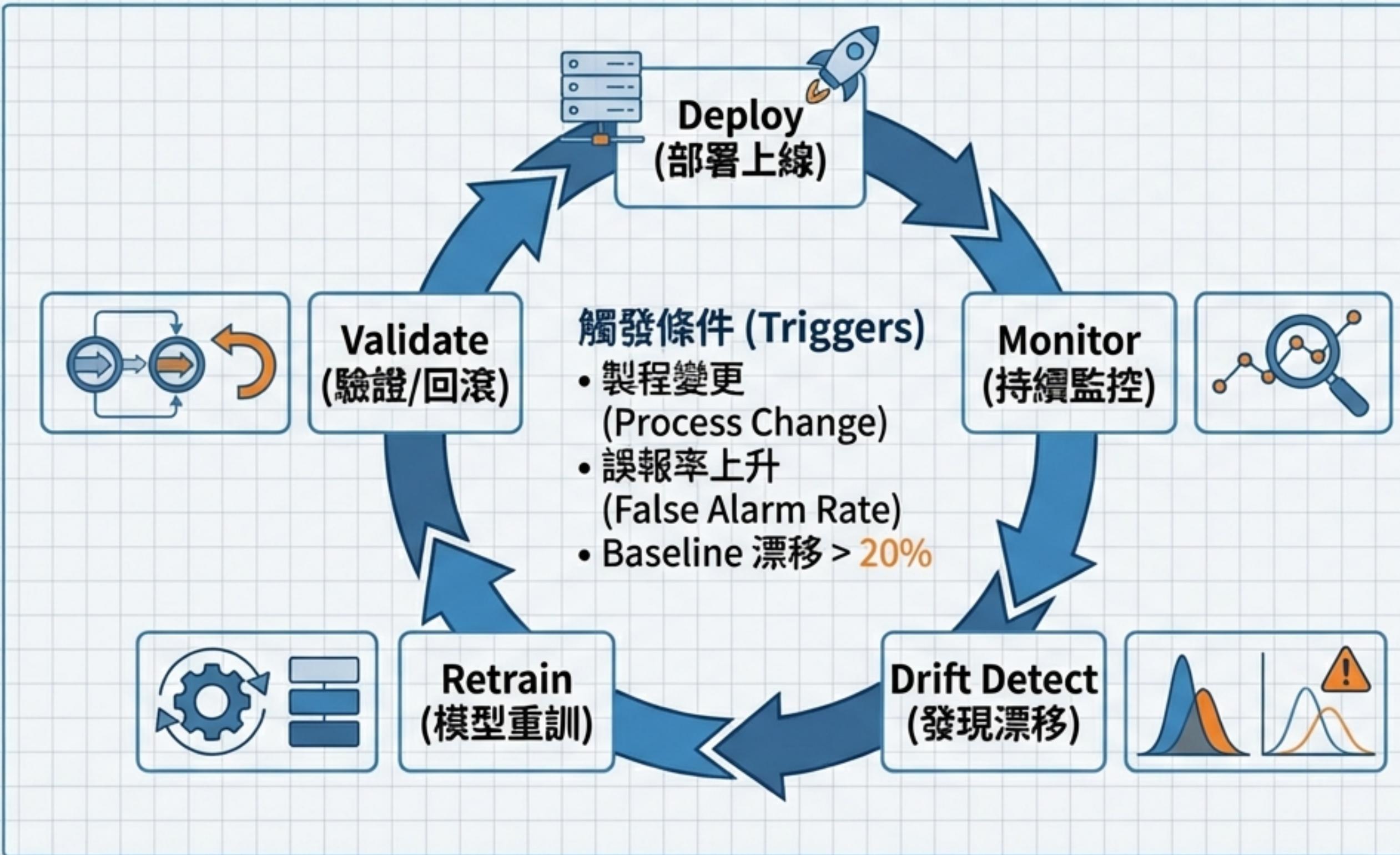
[14:02:15] SPE > Threshold (Counter: 1)

[14:02:20] SPE > Threshold (Counter: 5) -> ALARM TRIGGERED

# 應變 SOP：告警響應流程



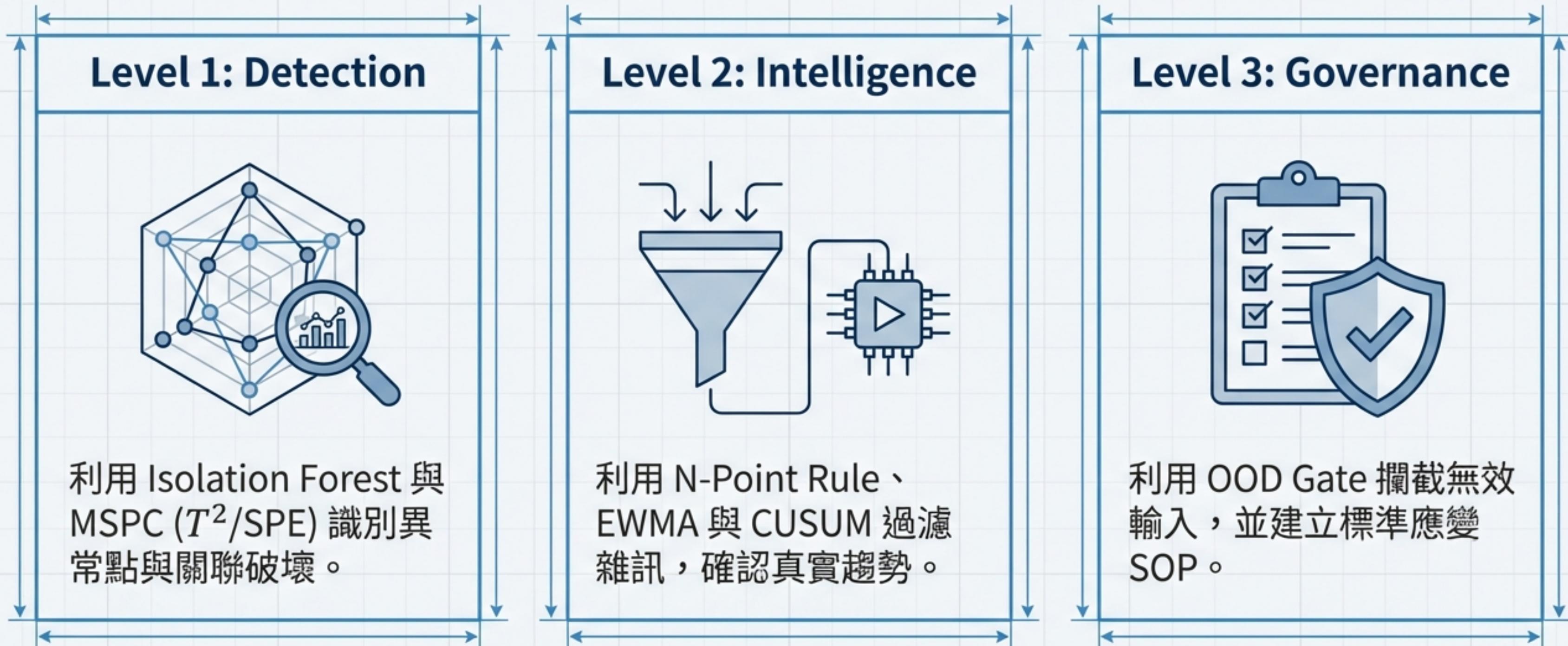
# 模型維護與生命週期管理



## ⚠ 版本控制 (Version Control)

新模型需經 Shadow Mode 平行測試，若表現不佳即刻 Rollback。

# 總結：多層次製程安全防護網



「在安全場域，交付的不是模型分數，而是完整的監控策略。」

# 下一步 (Next Steps)

Containment Area

實作練習：

開啟 Unit09\_Process\_Safety\_Anomaly\_Detection.ipynb 進行數據模擬與模型訓練。

