

半導體製造廠 - 節能經驗分享

Li Der Chen

July. 28. 2022

簡報大綱



一 半導體製造業 - 廠區電力供應系統與耗電模式

二 節能策略與方向分享

三 節能具體方法

四 節能案例分享 - 導入 IE 4.0

五 節能案例分享 - Other



一、半導體製造業 - 廠區電力供應系統與耗電模式



半導體製造廠 - 電力供應系統與耗電模式

- 廠區電力供應系統與耗電模式：共計6大廠務設施及 FAB 內數千台生產設備。

半導體製造廠區電力供應系統

6大廠務設施



冰水供應系統



潔淨室空調系統



空壓機供應系統



水處理系統



化學/氣體供應系統



製程廢氣處理系統

FAB 生產設備



潔淨室生產區



潔淨室生產機台

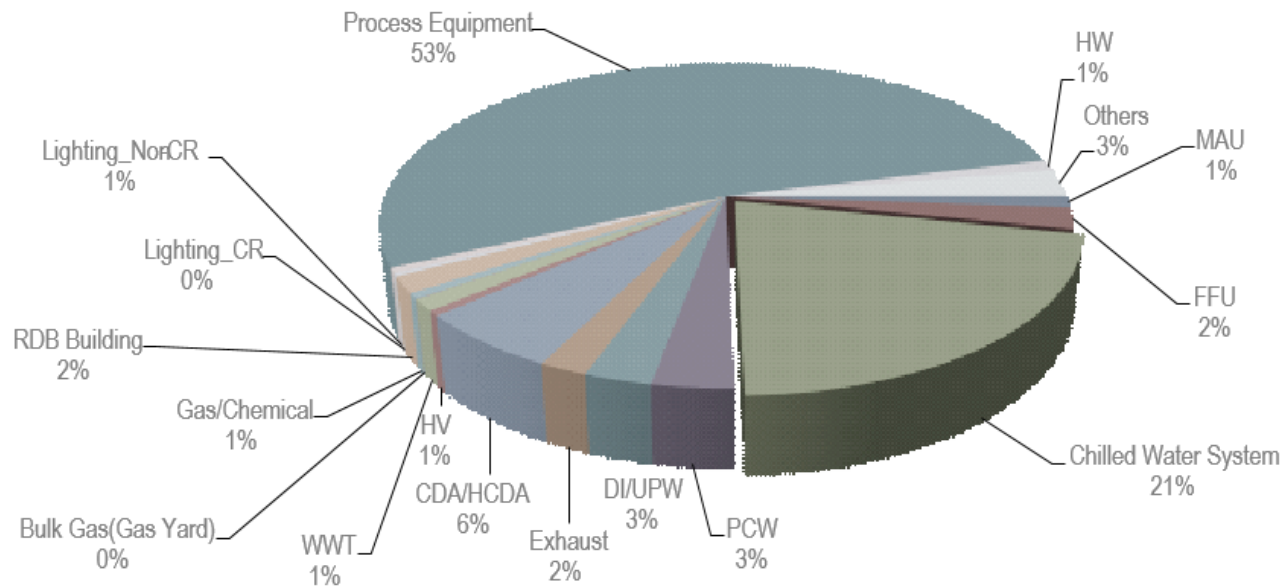


潔淨室附屬設備



半導體製造廠 - 電力供應系統與耗電模式

■ 廠區電力供應系統與耗電大餅圖



二、節能策略與方向分享

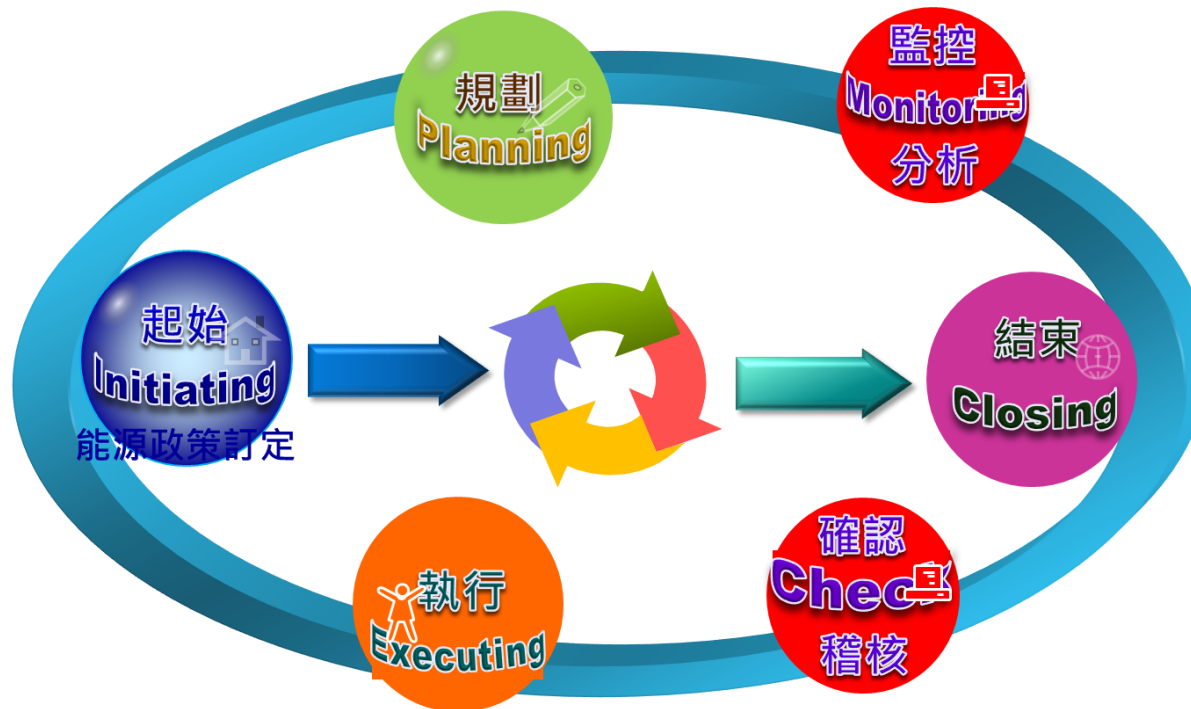


節能策略與方向

■ 節能策略

➤ ISO 50001 能源管理系統觀念

- 能源盤查、降低耗能的量、提升耗能的效率



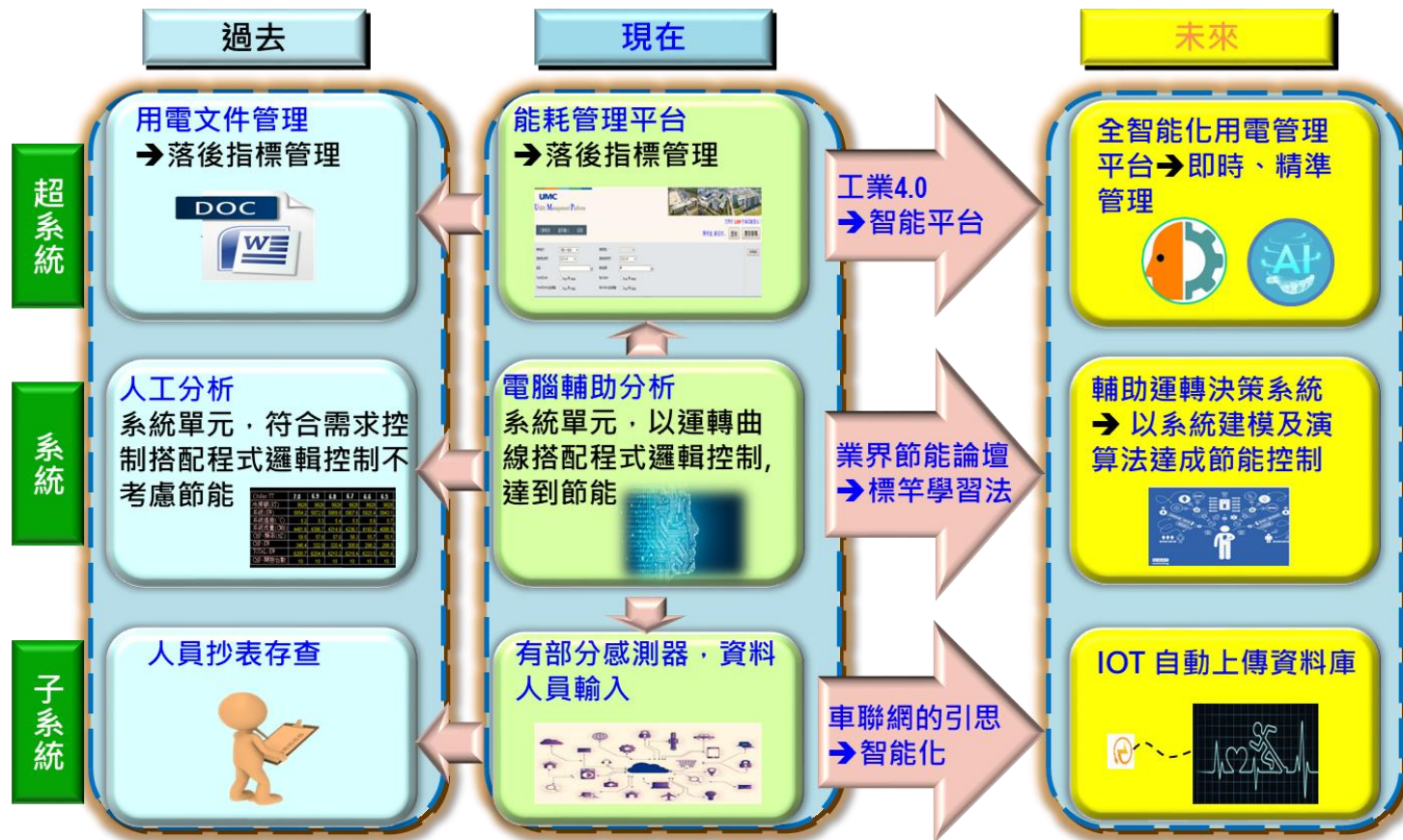
能源管理系統模式

節能策略與方向

■ 節能策略

➤ 工業 4.0 導入

- 清楚了解過去與現在用電狀況，規劃未來智能節電方向
- IoT, Big data, PHM, Machine learning [Chiller, 機台智能電表, CDA,..]



三、節能具體方法



節能具體方法

■ 節能方法

- 新設備效率佳設備導入 [高溫熱泵, Cooling tower, ECO UPS, 節能Chiller, IE4馬達]
- 新元件導入 [黃光 LED, Dry pump ERM, MAU節能濾網]
- 老舊效能低設備汰舊換新 [變頻空壓機, 外熱式 dryer, RO高壓泵, 節能 Dry pump]
- 運轉參數最適化調整 [VOC DOE, PCW HEX擴充/filter更換時機/運轉台數調整]
- 負載轉移 [高溫熱泵, PCW-R 預冷, 70T Hot DI降溫]
- 控制最適化 [高真空變頻控制]
- Recycle [MAU 熱回收, General exhaust heat recovery]
- Benchmarking, BKM

節能具體方法

■ 工業4.0的導入 & 持續推展--系統效率提升/最適化/智能化/機械學習/PHM

- 智能冰水控制系統
- **i-ECO Chiller System:** 產學合作, SMG 參與自主技術建立
- **i-ECO CDA System:** 產學合作, SMG 參與自主技術建立
- 製程生產機台智能電表(Wireless CT)
- 轉動機械 IOT meter PHM
- **LoRa wireless vibration**
- 智能水錶
- 空污 LoRa
- 雨水溝閘門管理
- On-Semi leak sensor

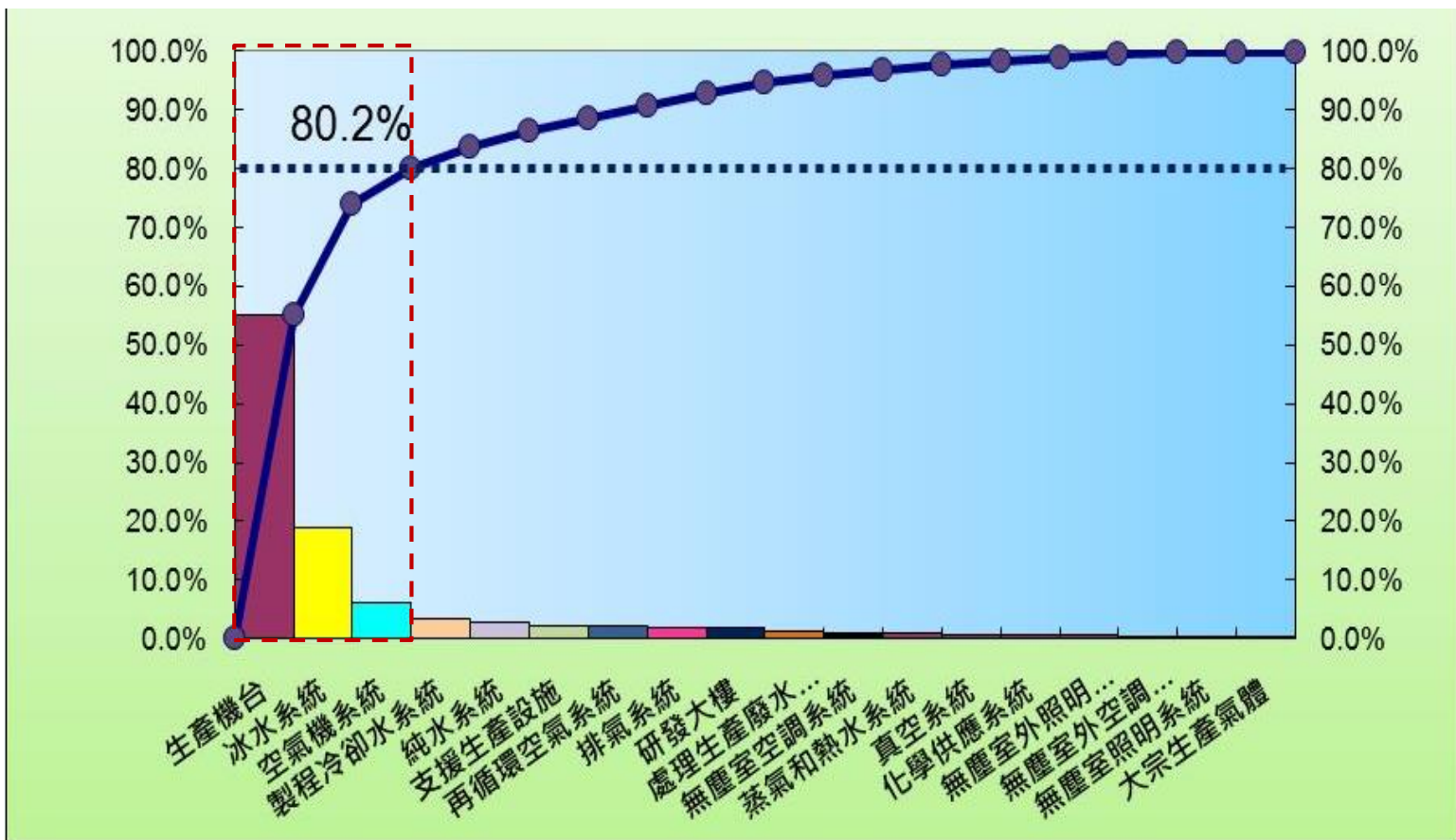
四、節能案例分享

- 工業 4.0 智能節電平台



專案起始

- 藉由柏拉圖分析，統計出半導體廠三大耗電單元，作為節能優先導入對象，分別為：生產機台、冰水系統及空壓機等3大系統。



© Copyright 2013 UMC Corporation. All Rights Reserved.

專案起始

- 冰水系統及空壓機系統，執行多年節電改善後，已面臨瓶頸，藉由參與業界節能論壇，期導入智能節電技術和設施，擴大效益

業界節能論壇

- ◆ 冰水系統
 - ✓ 冷卻水塔最佳化運轉
 - ✓ 選用高效率設備
 - ✓ 冰水系統最佳化運轉
 - ✓ 冰水主機最佳負載分配
 - ✓ 冰水技術運轉操作節能
 - ✓ 空氣線圖運用節能
 - ✓ 水系統最佳化運轉參數分析
- ◆ 壓縮空氣系統
 - ✓ 外熱式乾燥機濕度再生
 - ✓ CDA 變頻式空壓機節能

標竿學習指標

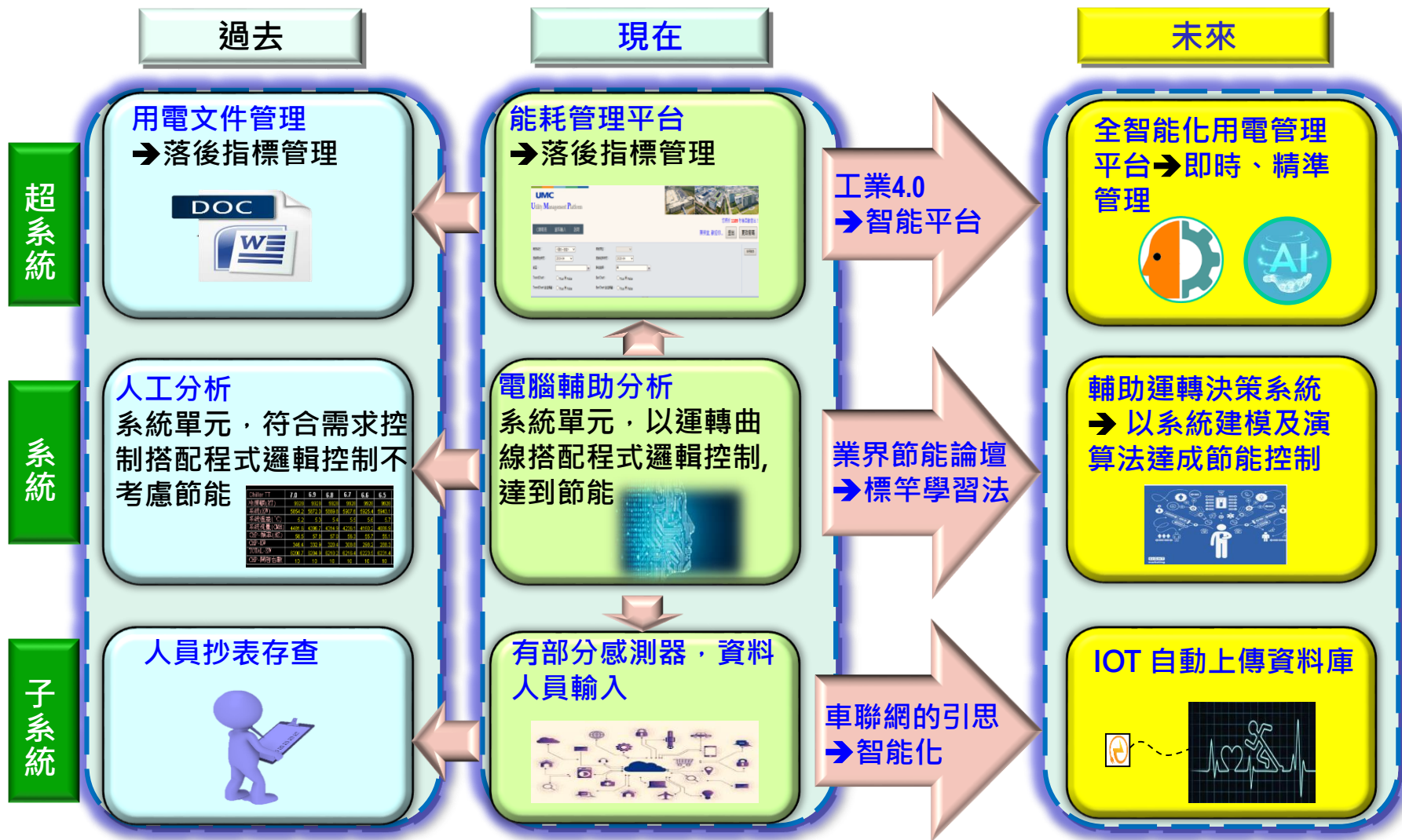
- ◆ 既有技術是否與論壇技術完成相同?
- ◆ 不完全相同下，是否已經利用該技術之學術理論。
- ◆ 已有優於廠務論壇之技術內容



由傳統朝向智能化

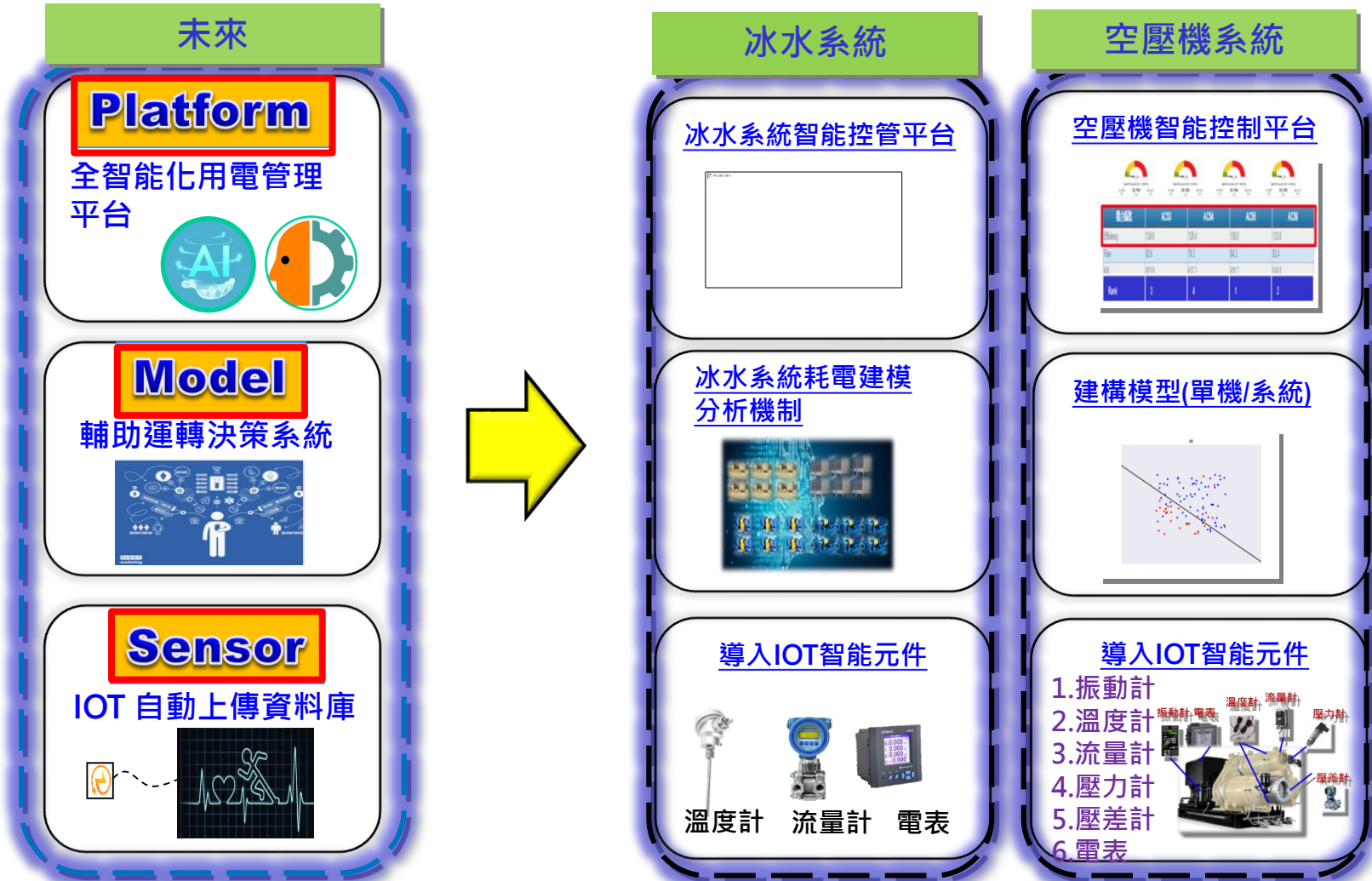
專案起始

- 運用阿舒勒的九螢幕透視法，清楚了解過去與現在用電狀況，規劃未來。



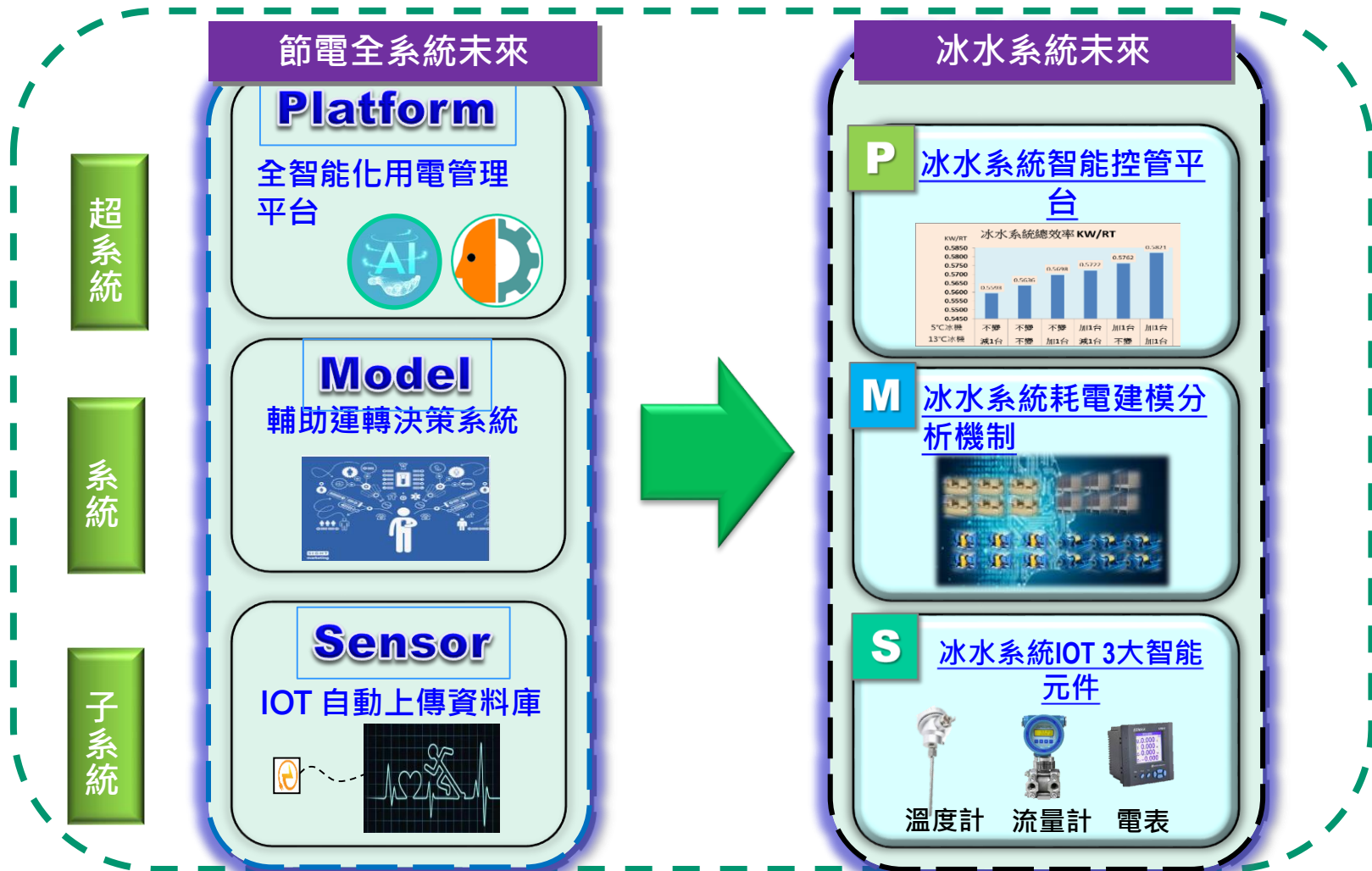
專案規劃

- 以九螢幕透視法發展未來系統，從Sensor、Model到Platform的節電架構(SMP)，展開冰水系統、空壓機系統功能需求



專案執行(1) - 冰水系統智慧化控管平台

- 對策執行以PDCA手法，經由SMP三步驟，開發冰水子系統智慧化控管平台及冰水全系統智慧化控管平台

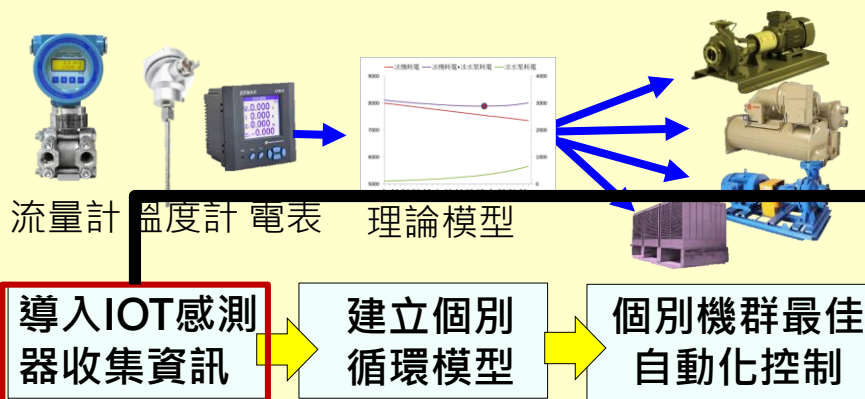


專案執行(1) - 冰水系統智慧化控管平台

- 配置運轉最佳組合分為二階段，冰水子系統(個別機台)智慧化管理平台 & 全系統智慧化管理平台的核心
 - ✓ 建立即時的最佳化自動化控制基礎(個別機台最佳設定)
 - ✓ 以個別機台導入的IOT感測器，建立大數據資料庫，再以大數據分析建立系統耗電模型，並模擬系統最小耗電的組合，最後回饋給子系統(個別機台)控制

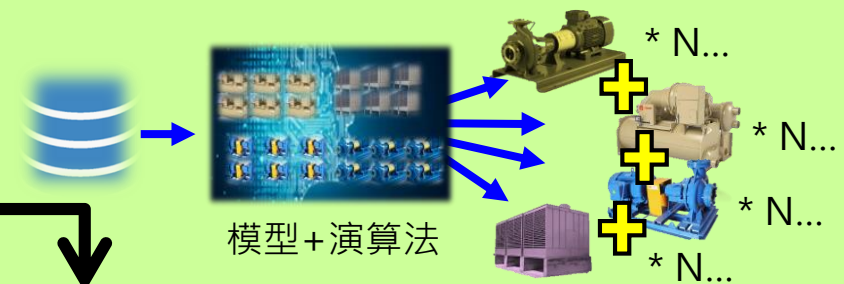
1. 冰水子系統智慧化管理平台

發展即時的個別機台最佳化自動化控制



2. 冰水全系統智慧化耗電管理平台

在 S2 基礎上，以大數據分析找出總和最佳解後回饋優化設定參數

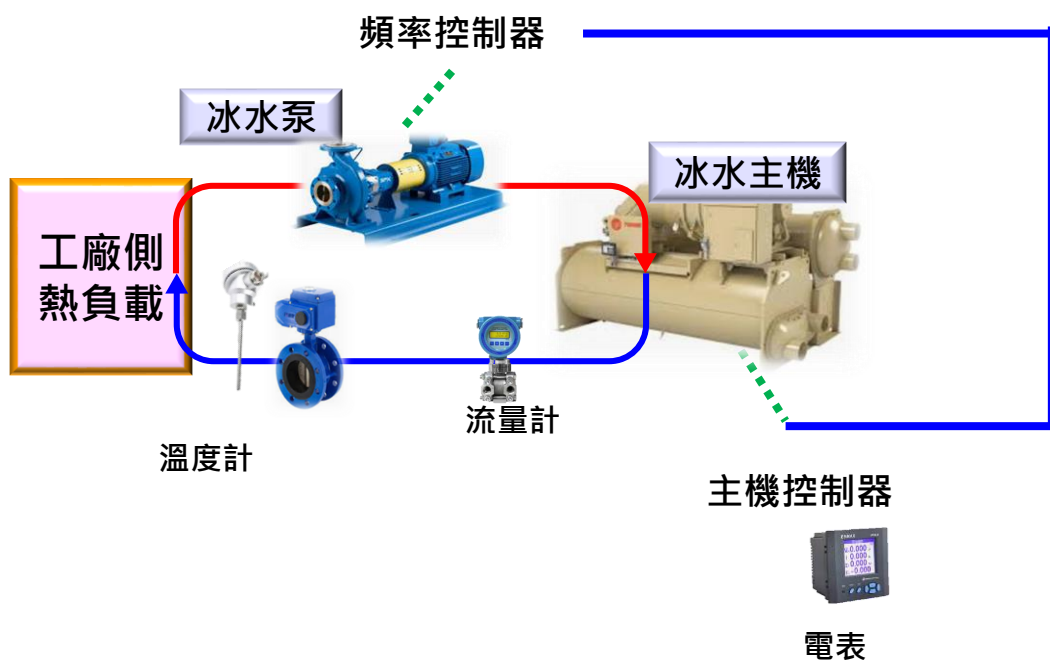


回饋子系統控制

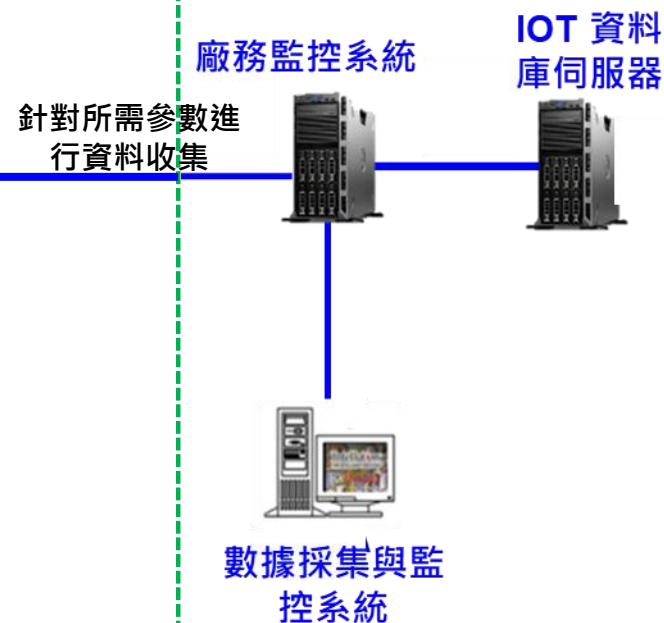
專案執行(1-1) - 冰水子系統智慧化控管平台

- **S** 導入智能元件：收集即時運轉資料。
 - ✓ 針對**冰機負載平衡**部分，於冰水系統建置 **IoT 感測器**及**資料收集系統**，並開始收集即時運轉資料。

冰機負載平衡-智能元件(IOT感測計)

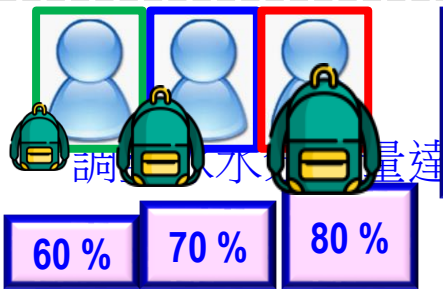


資料收集系統



專案執行(1-1) - 冰水子系統智慧化控管平台

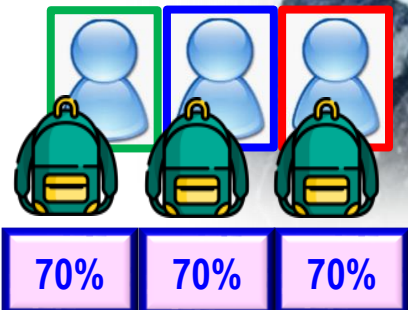
- S 導入智能元件：收集即時運轉資料。
 - ✓ 針對冰機負載平衡部分，於冰水系統建置 IoT 感測器及資料收集系統，並開始收集即時運轉資料。



行李重量不均，人員背負不是在最佳狀態



GOAL



負載平均化，讓每人背負最佳重量



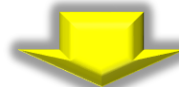
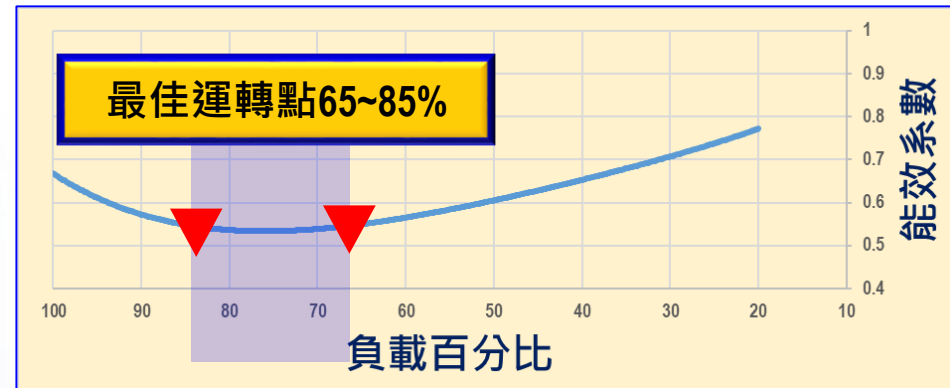
冰機1 : 60%



冰機2 : 70%



冰機3 : 80%



冰機1 : 70%

冰機2 : 70%

冰機3 : 70%

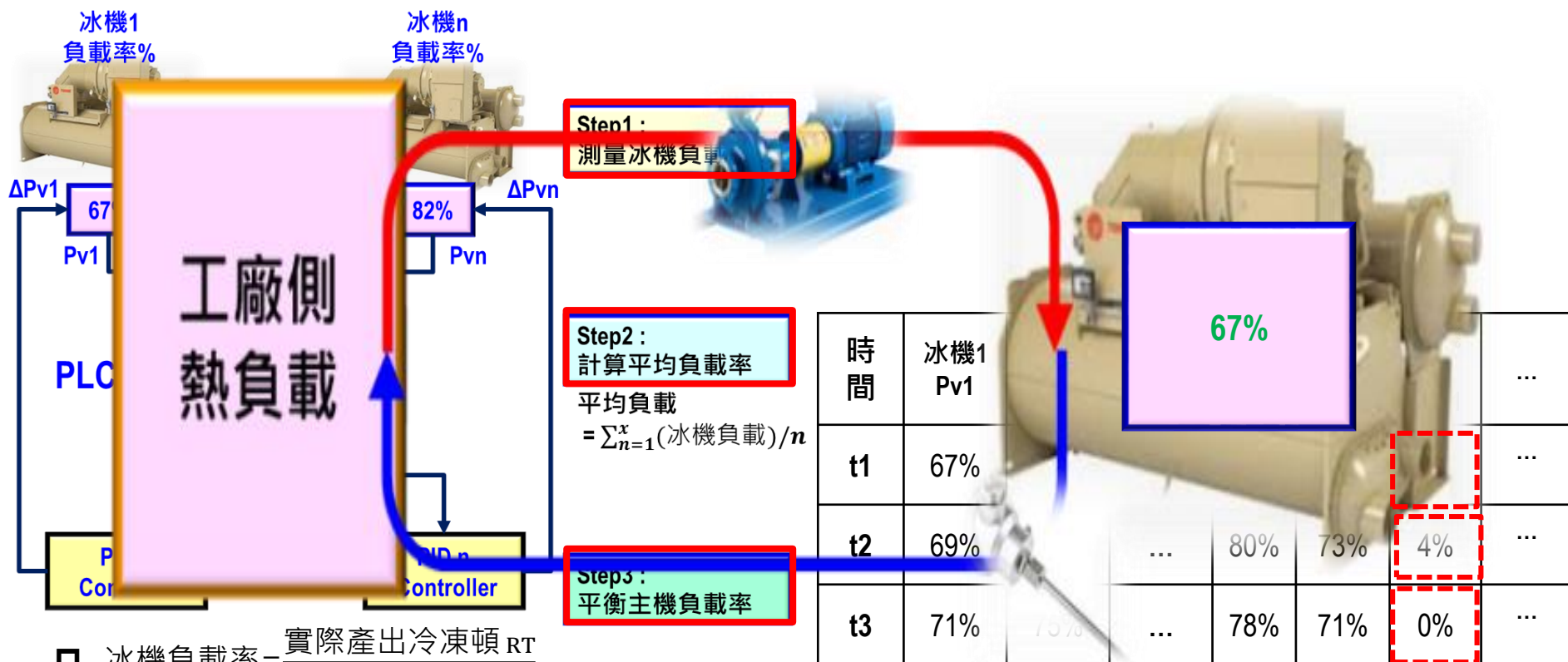
冰機平衡調整

專案執行(1-1) - 冰水子系統智慧化控管平台

■ M 建立冰水系統耗電模型

✓ 以三個步驟建立數學模型，達成冰水主機負載平衡

1. 測量冰機負載率 2. 計算平均負載率 3. 平衡主機負載。



❑ 冰機負載率 = $\frac{\text{實際產出冷凍噸}_{RT}}{\text{冰機額定冷凍噸}_{RT}}$

❑ PID Controller: 比例控制器

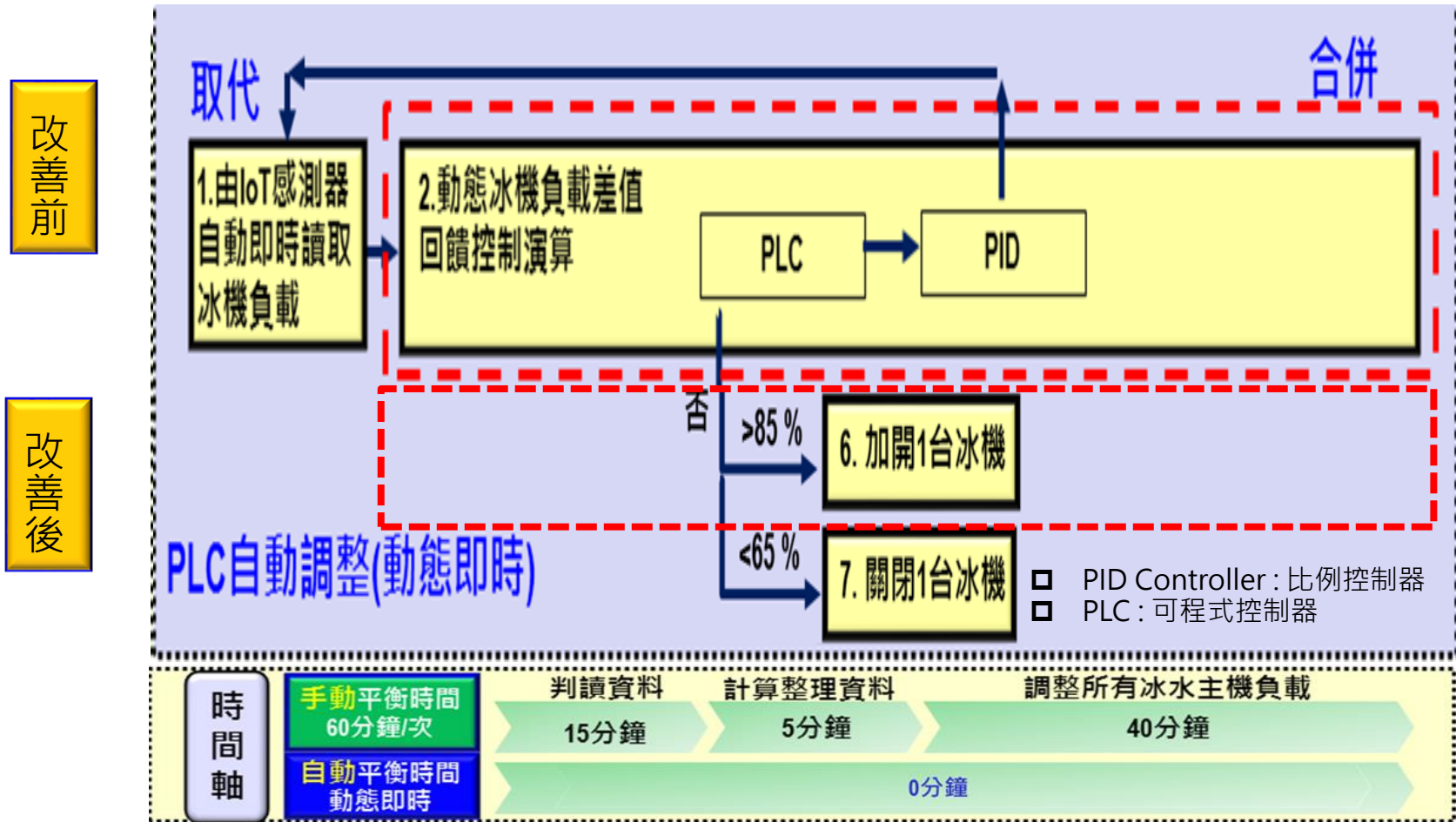
❑ PLC: 可程式控制器

❑ 以冰機1為例，當t1時冰機1 Pv1(67%)低於平均負載(74%)時，增加Pv1負載直到 $\Delta Pv1 = 0\%$

專案執行(1-1) - 冰水子系統智慧化控管平台

■ P 建置冰水系統智能控管平台:

- ✓ 將人員手動操作冰機負載平衡流程程式化，即時保持在最佳平衡設定，以達到最佳節電效果



專案執行(1-1) - 冰水子系統智慧化控管平台

■ P 建置冰水系統智能控管平台:

- ✓ 依據上述流程發展動態冰機負載差值回饋控制演算及圖形控制系統，以方便人員可視化管理

可視化管理系統 (情境模擬)

Step1. IoT測量相關參數

NO.	CHP-21	CHP-22	CHP-23
Loading	78.8 %	82.3 %	82.5 %

NO.	CHP-24	CHP-25
Loading	79.7 %	72.5 %

1-1. IoT儀器即時量測負載

平均 Loading	79.0 %
------------	--------

1-2. 計算平均負載

- (Case A: 實際負載 > 平均)
- (Case B: 實際負載 < 平均)
- (Case C: 提醒開關病機)

Step2. 動態冰機負載差值回饋控制演算

CHP21_PID		Exit
PV	78.8 %	
PID-SP	79.0 %	
CV	0.1 Hz	

Case A: 78.8% < 平均 79.0% 調高冰水泵頻率

CHP22_PID		Exit
PV	82.3 %	
PID-SP	79.0 %	
CV	-1.0 Hz	

Case B: 82.3% > 平均 79.0% 調低冰水泵頻率

COP_LOAD_ALARM	
目前冰機負載已高於(低於)設定值,請安排切換冰機!	

Case C: 最佳溫度範圍外，系統提醒開關冰機

Step3. PLC動態即時客製化泵浦頻率

CHP-21	-0.0 HZ	49.9 HZ
CHP-22	-1.0 HZ	48.9 HZ
CHP-23	-1.0 HZ	48.9 HZ

3-1. 動態即時客製化每台泵浦頻率

專案執行(1-1) - 冰水子系統智慧化控管平台

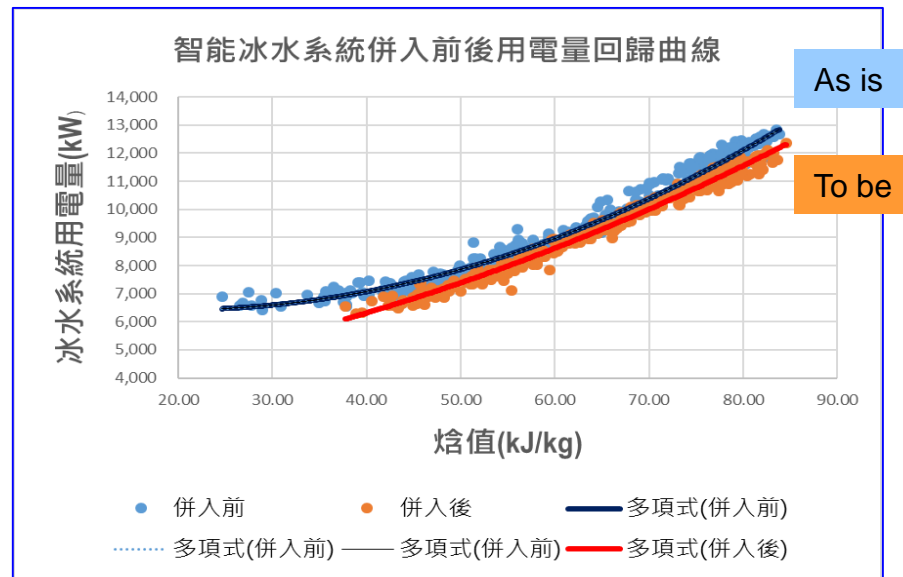
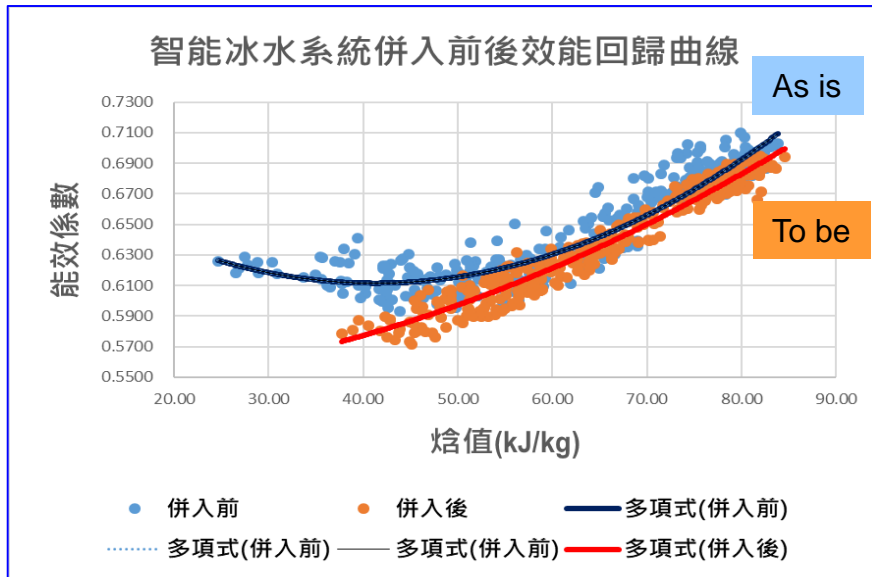
- 導入後系統效能提升、耗電量降低，證實整體冰機系統確實更加節能
- 冰水子系統節電875.0萬度/年，人工時減少9.5工時/月。

效能值kW/RT

同條件下效能變佳(望小)

耗電量kW

同條件下耗電量變少(望小)



效能提升

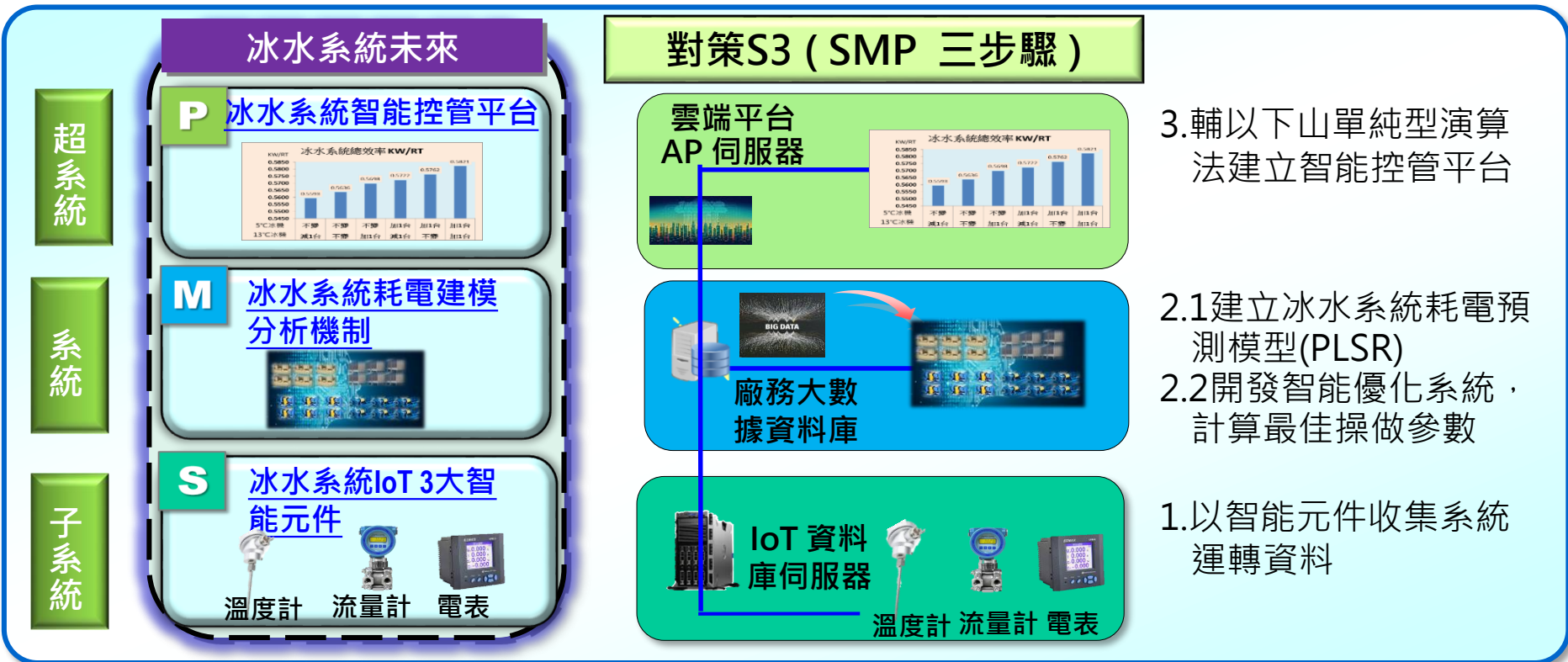


耗電量降低



專案執行(1-2) - 冰水全系統智慧化控管平台

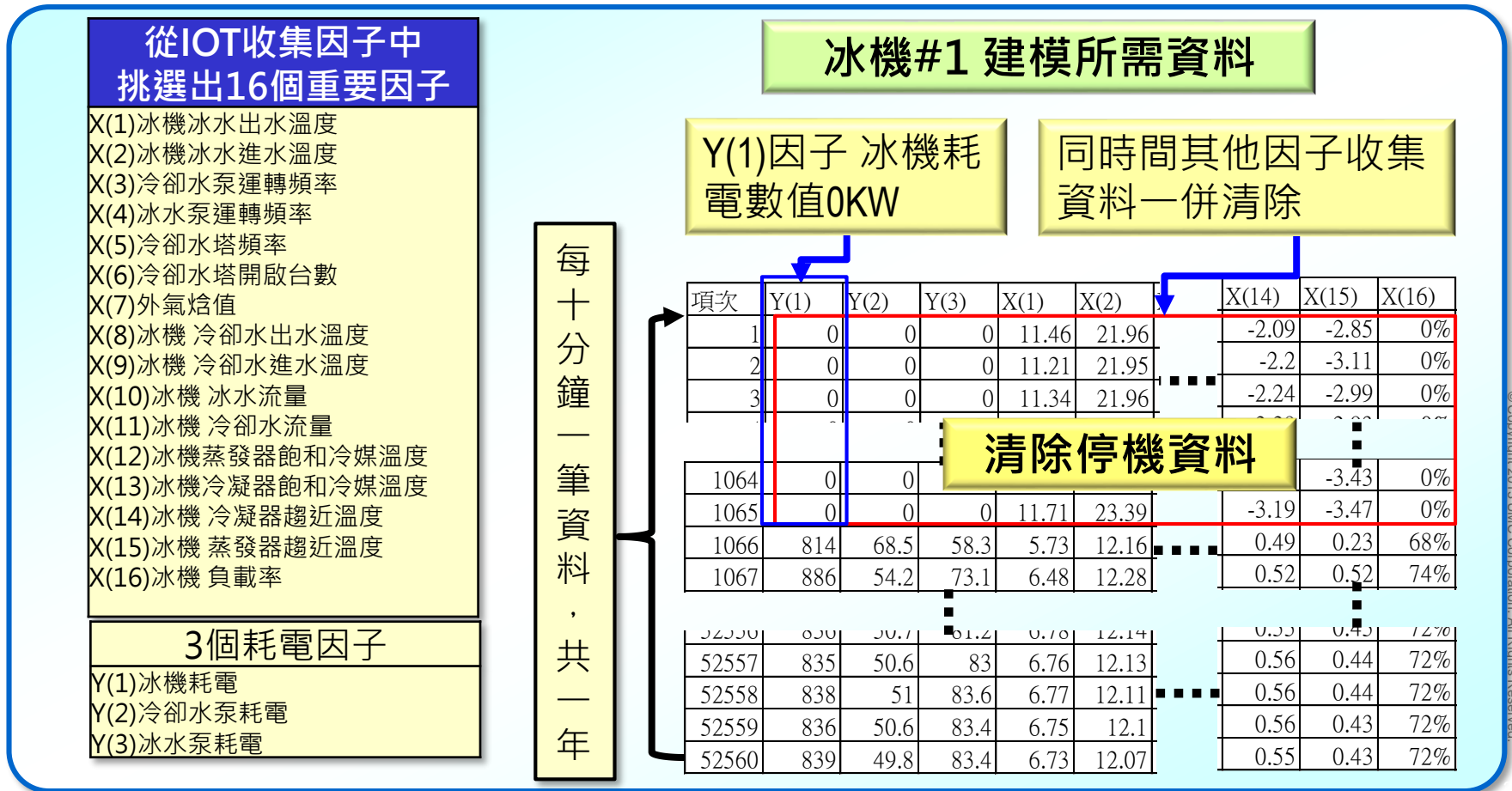
- 以PDCA手法，經由SMP三步驟導入S3冰水全系統智能控管平台
- 以智能元件收集運轉資料，用PLSR建立運轉模型，並輔以下山單純型演算法建立智能控管平台



偏最小平方法：PLSR (Partial Least Squares Regression) · 下山單純型演算法: Nelder-Mead method

專案執行(1-2) - 冰水全系統智慧化控管平台

- S 以專家判斷法挑出 IoT 收重要因子，並刪除無效停機資料，提供建模所需數據

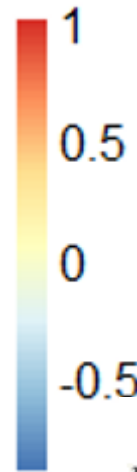
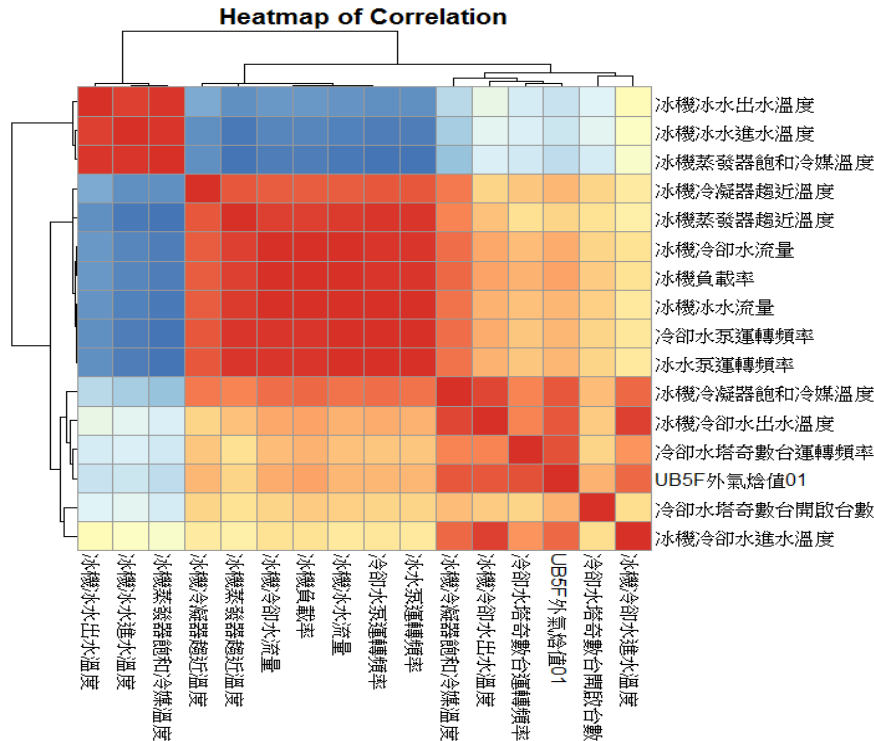


專案執行(1-2) - 冰水全系統智慧化控管平台

■ M1建立冰水系統耗電預測模型：

- ✓使用皮爾森積差相關分析(Pearson Correlation) 冰機的16個因子具高度相關，可能造成「共線性問題」(Multicollinearity)

皮爾森積差相關分析: 16個因子高度相關
相關係數以顏色表示，顏色越深相關性越高



皮爾森 相關係數	代表意義
0.3以下	低相關
0.3~0.7	中等相關
0.7以上	高度相關

$$r(x, y) = \frac{COV(x, y)}{S_x S_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

r為相關係數，COV為共變數

專案執行(1-2) - 冰水全系統智慧化控管平台

■ M1建立冰水系統耗電預測模型：

- ✓ 評估可處理「共線性問題」的4種分析方法，評鑑選取最高分PLSR建立冰水系統耗電模型

比較項目 預測模型	自動 特徵 轉換	適合 多因子 (具維度 縮減能力)	特徵 萃取 能力	模型 自由度	模型 解釋性	誤差 極小化	總分
主成分分析 (PCA)	3	5	3	1	3	1	16
典型相關分析 (CCA)	5	1	1	1	1	1	10
偏最小平方法 (PLSR)	3	5	5	5	3	5	26
倒傳遞類神經網 BPN	1	1	5	5	1	5	18

勝

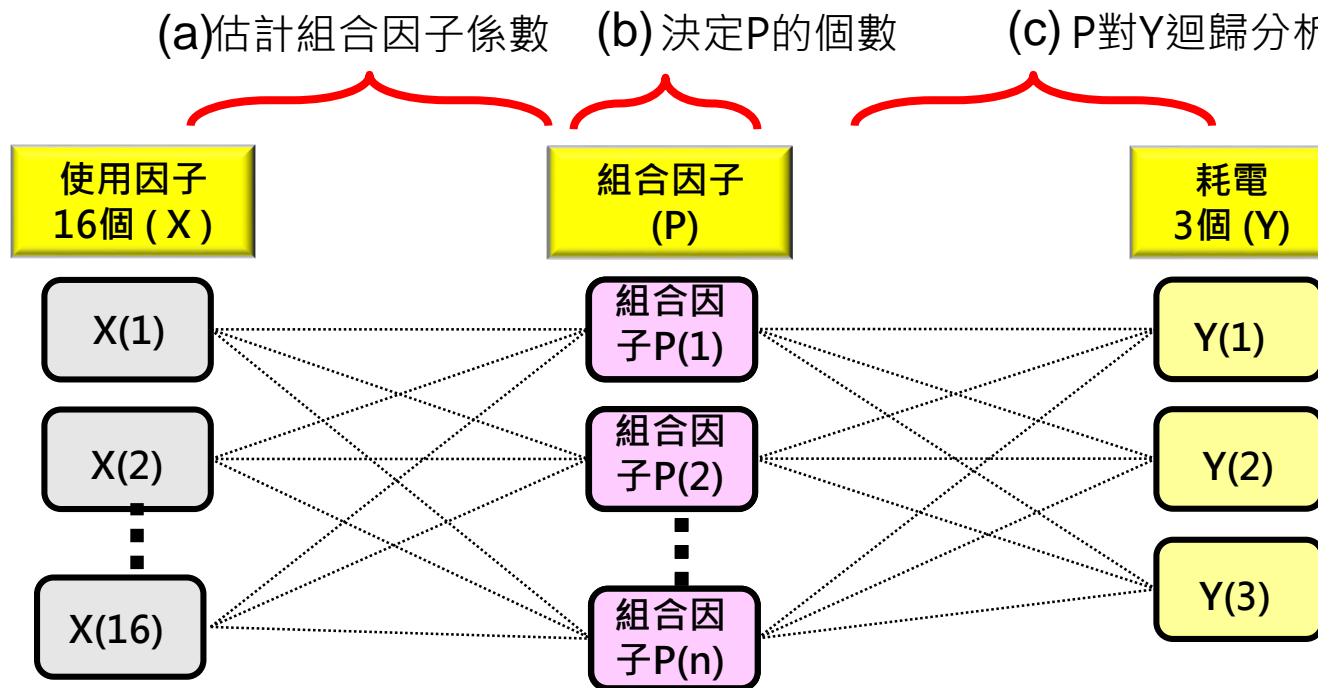
針對各項目給予適用性評價，最適合(5分)、較不適合(1分)

專案執行(1-2) - 冰水全系統智慧化控管平台

■ M1 建立冰水系統耗電預測模型：

- ✓ 評估可處理「共線性問題」的4種分析方法，評鑑選取最高分PLSR建立冰水系統耗電模型

PLSR 模型架構，以冰機#1為例 (包含冰機、冷卻水泵、冰水泵)



專案執行(1-2) - 冰水全系統智慧化控管平台

- **M1** 以單建立冰水系統耗電預測模型：
 - ✓ 機耗電模型組成冰水系統耗電模型，冰水系統耗電等於所有設備耗電總合

冰水系統耗電模型
= 各單機模型相加

冰機#1模型數學式 $Y = XB_{PLSR\#1}$



冰機#2模型數學式 $Y = XB_{PLSR\#2}$



冰機#15模型數學式 $Y = XB_{PLSR\#15}$

冰水系統耗電 = 所有設備耗電總合

$$Y_{\#1}(1) + Y_{\#1}(2) + \dots + Y_{\#15}(2) + Y_{\#15}(3)$$

$$\begin{pmatrix} Y_{\#1}(1) \\ Y_{\#1}(2) \\ Y_{\#1}(3) \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} X_{\#1}(1) \\ X_{\#1}(2) \\ \vdots \\ X_{\#1}(16) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_{PLSR\#1} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} Y_{\#2}(1) \\ Y_{\#2}(2) \\ Y_{\#2}(3) \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} X_{\#2}(1) \\ X_{\#2}(2) \\ \vdots \\ X_{\#2}(16) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_{PLSR\#2} \end{pmatrix}$$



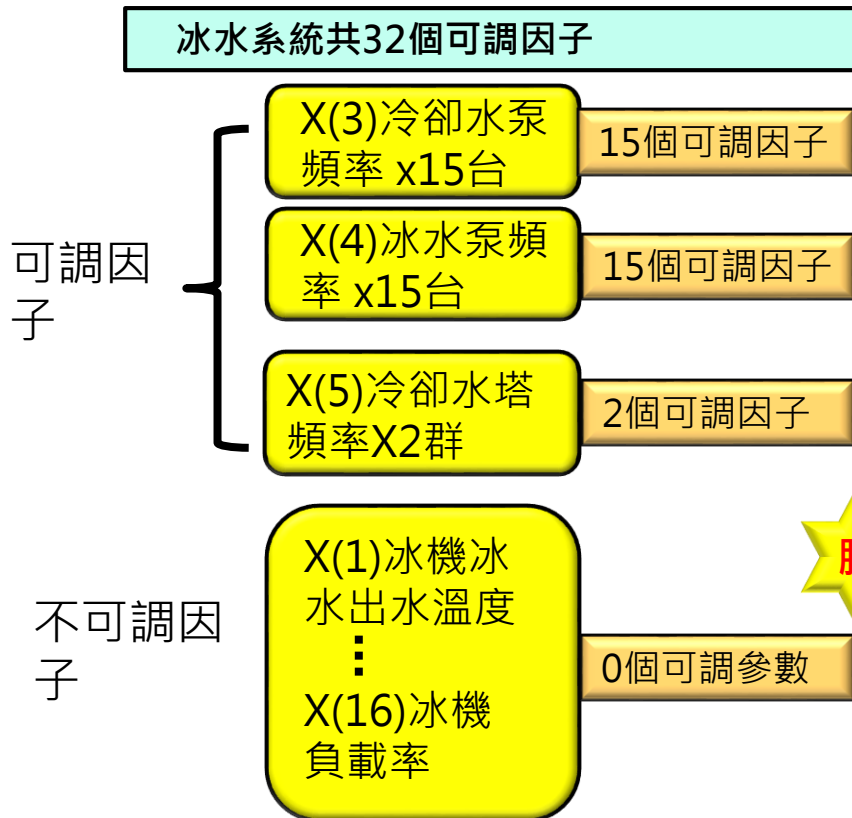
$$\begin{pmatrix} Y_{\#15}(1) \\ Y_{\#15}(2) \\ Y_{\#15}(3) \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} X_{\#15}(1) \\ X_{\#15}(2) \\ \vdots \\ X_{\#15}(16) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_{PLSR\#15} \end{pmatrix}$$

專案執行(1-2) - 冰水全系統智慧化控管平台

■ M2開發智能優化系統計算最佳耗電參數

- ✓以系統模型來模擬冰水系統的操作，可調因子共32個，考量時效，使用下山單純型演算法(Nelder-Mead Algorithm)開發智能優化系統。

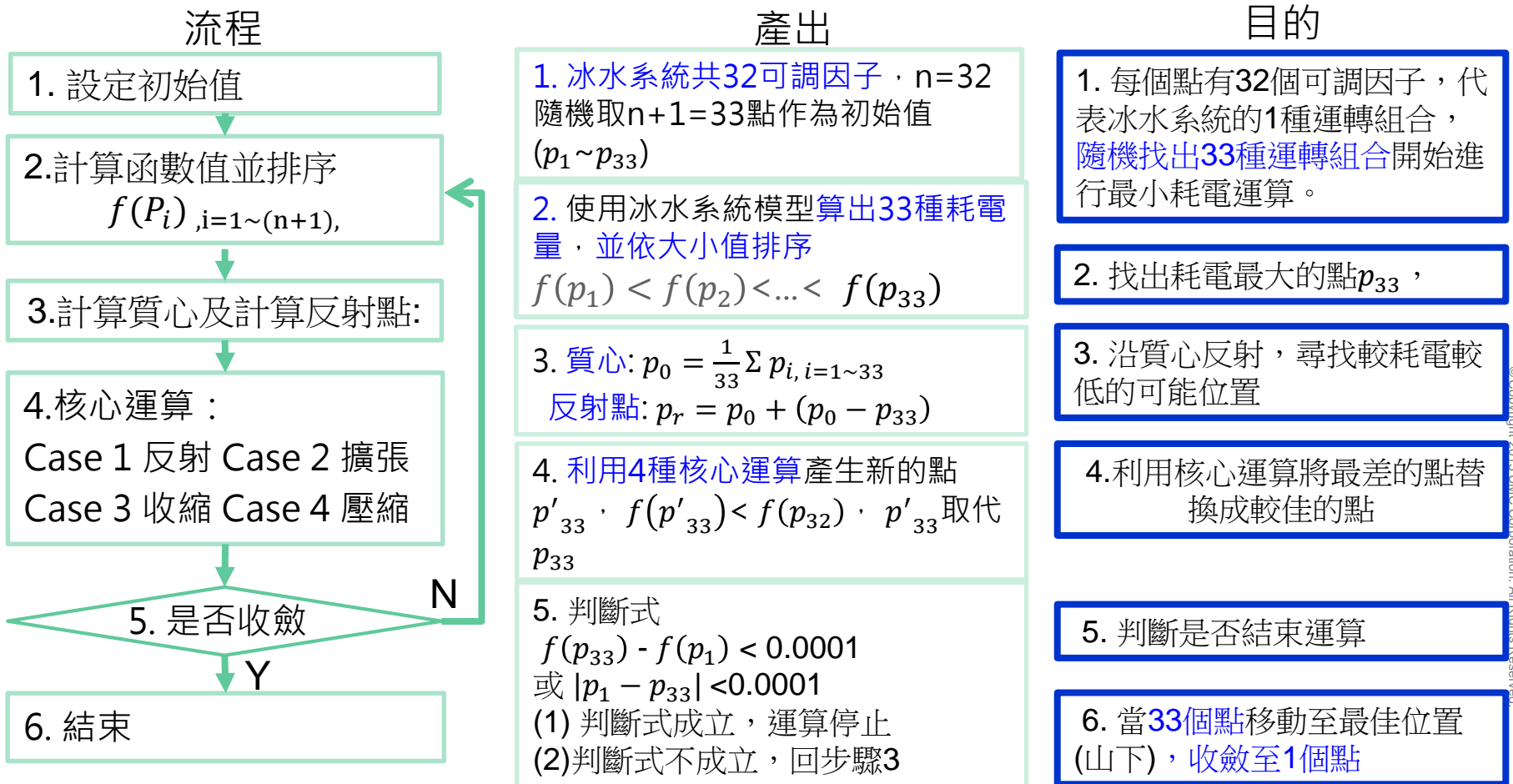


比較項目	最佳解位置	計算時間	收斂速度	目標函數自由度	計算執行難易	時效性	總分
預測模型							
窮舉法	5	1	1	5	5	1	18
下山單純型法	3	5	5	5	5	5	28
基因演算法	1	5	5	5	4	3	23

專案執行(1-2) - 冰水全系統智慧化控管平台

■ (M2)開發智能優化系統計算最佳耗電參數

- ✓ 下山單純型演算法運作方式: 於N維空間中以任意N+1個點計算，找出最小值方向，向最小值靠近。



專案執行(1-2) - 冰水全系統智慧化控管平台

■ P 建置冰水系統智能控管平台

- ✓ 以最節能運轉組合輸出輔助運轉決策報表，提供冰水主機切換建議及系統耗電預測。

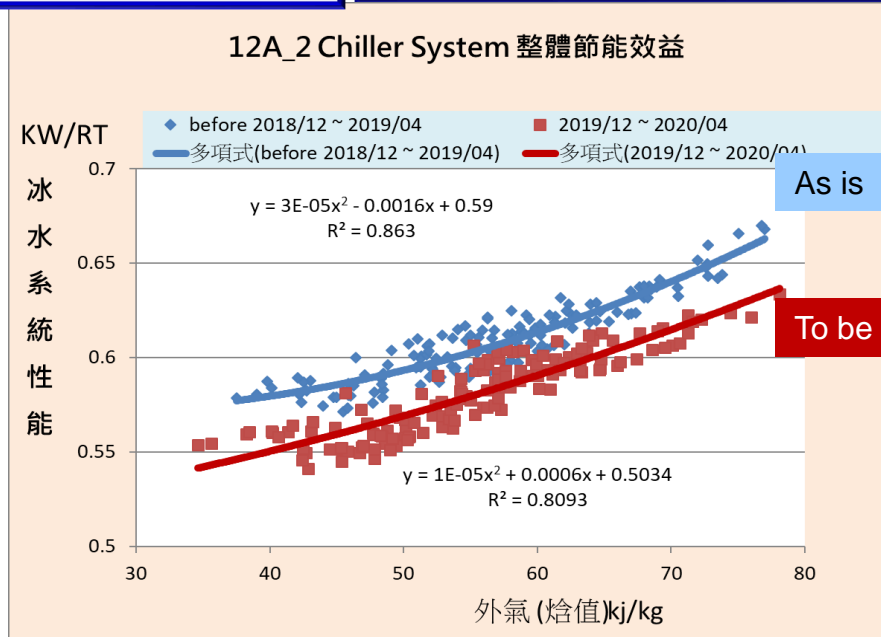


專案執行(1-2) - 冰水全系統智慧化控管平台

- ✓ 導入後系統效能提升、耗電量降低，冰水全系統節電206.2萬度/年
人工時減少15.0工時/月，證實整體冰機系統確實更加節能。

效能值kW/RT

同條件下效能變佳(望小)

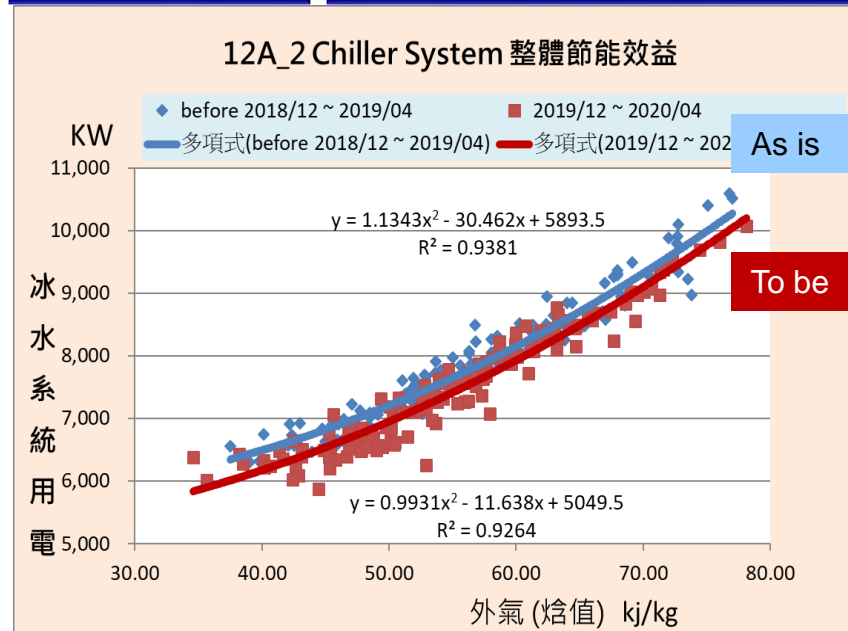


效能提升



耗電量kW

同條件下耗電量變少(望小)

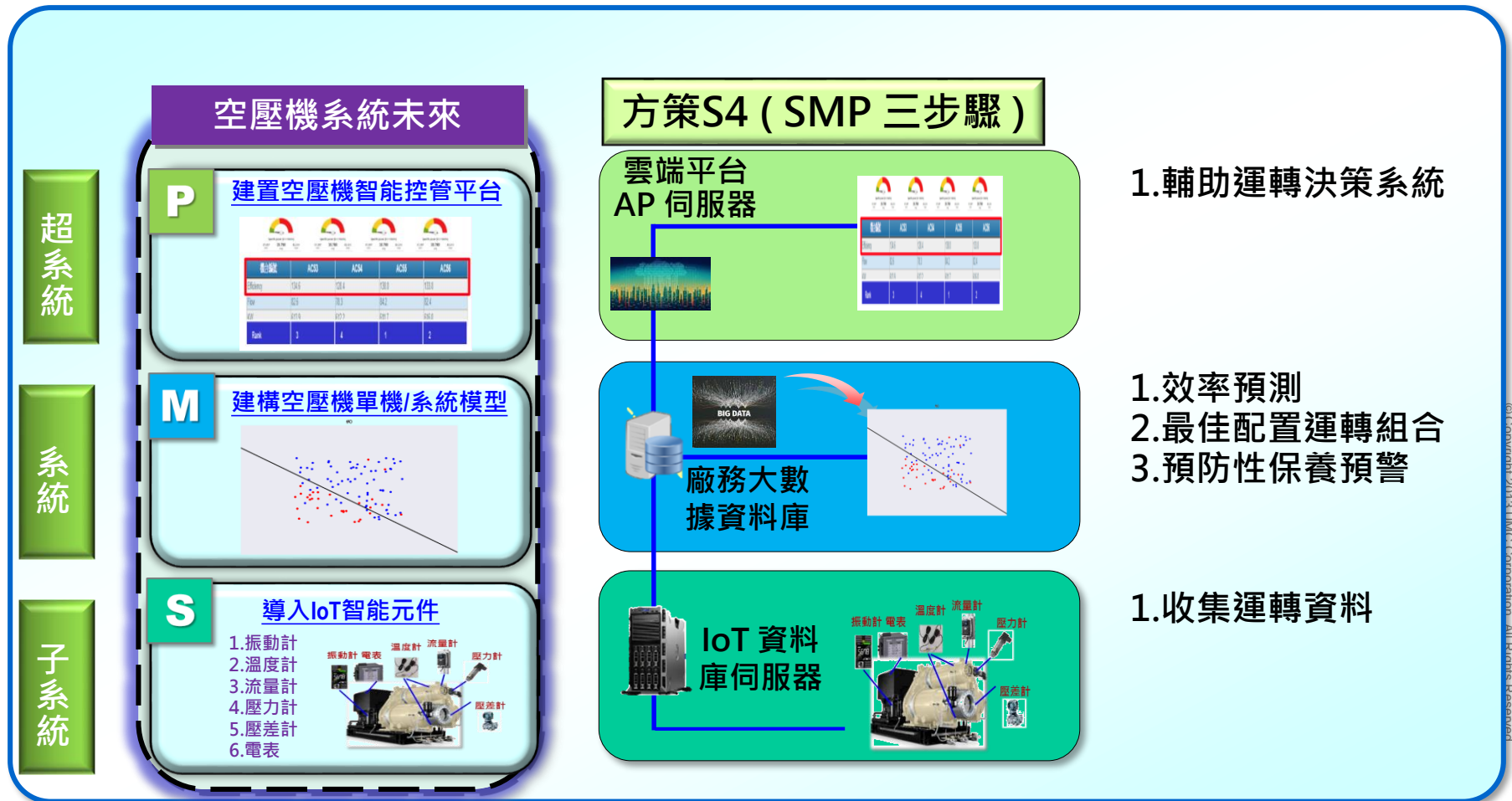


耗電量降低



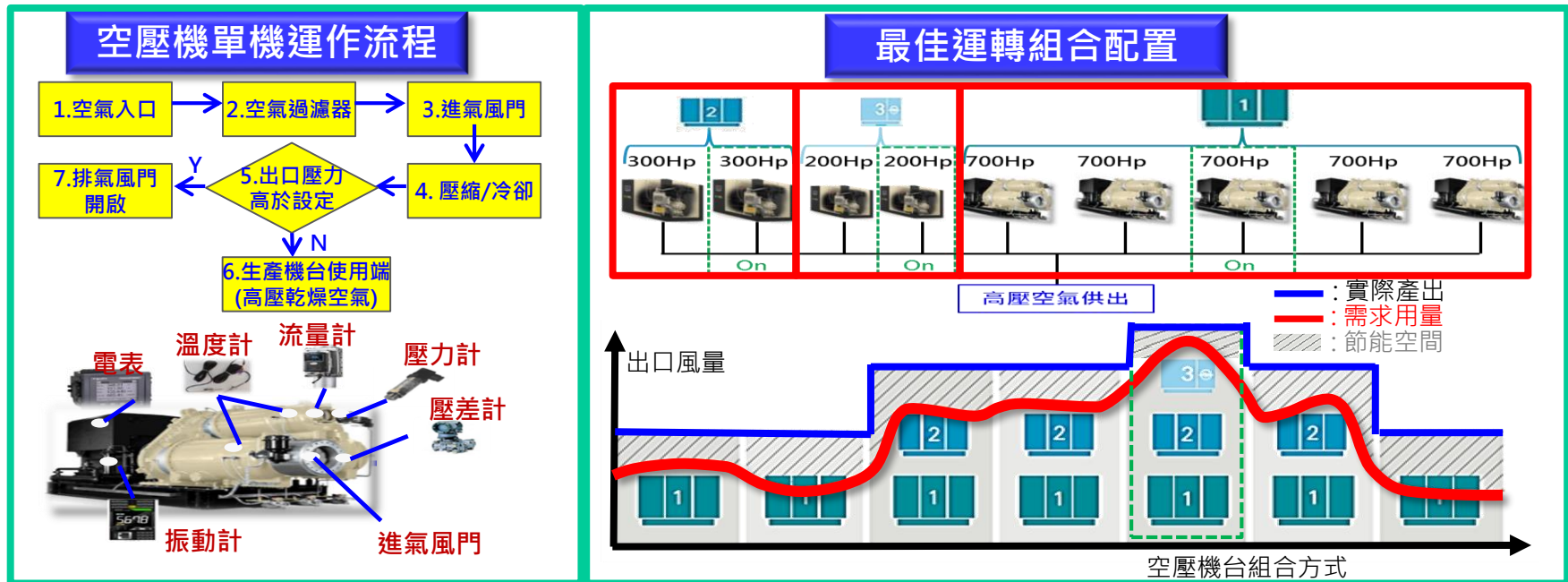
專案執行(2) - 空壓機系統智慧化控管平台

- 對策執行以PDCA手法，經由SMP三步驟，開發S4空壓機系統智慧化管理平台



專案執行(2) – 空壓機系統智慧化控管平台

- 空壓機系統功能為產生高壓乾燥空氣，供應生產機台操作元件使用
- 空壓機系統組成為700Hp、300Hp、200Hp三型共9台機組組合，藉由SMP(S：導入智能元件，M：建構空壓機單機/系統模型，P：建置空壓機智能控管平台)找出配置運轉最佳組合作為對策執行的管理核心目標



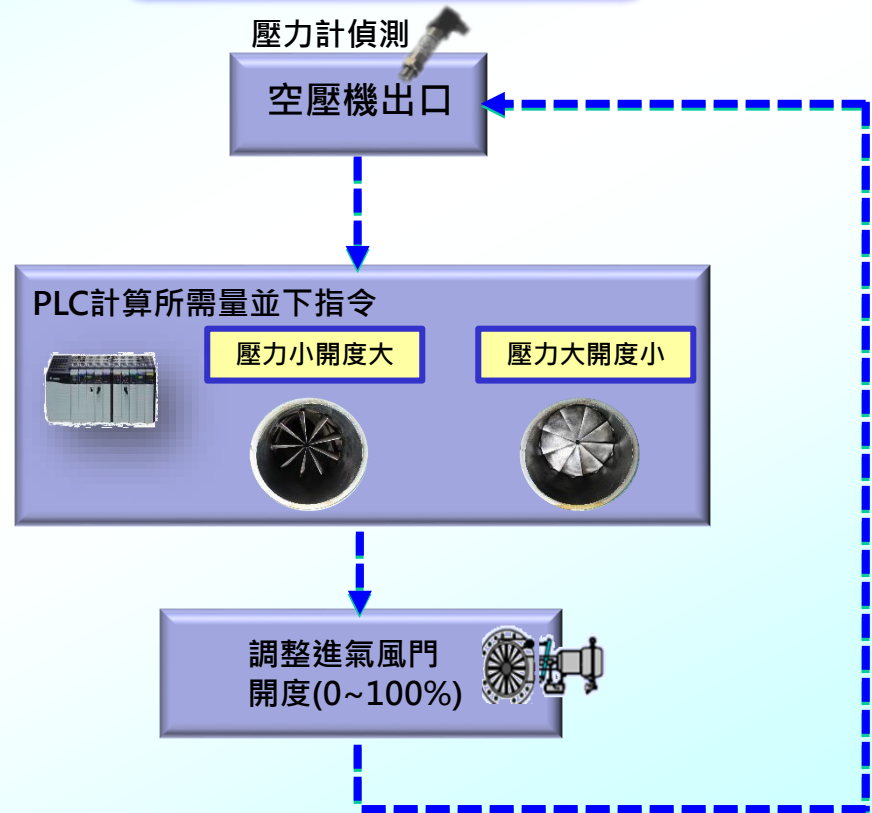
專案執行(2) - 空壓機系統智慧化控管平台

■ S 導入IoT智能元件

- ✓ 空壓機系統建置 IoT 感測器及資料庫系統(伺服器/管理平台)，開始收集電流、流量、進氣風門開度等資料以供大數據建模分析。



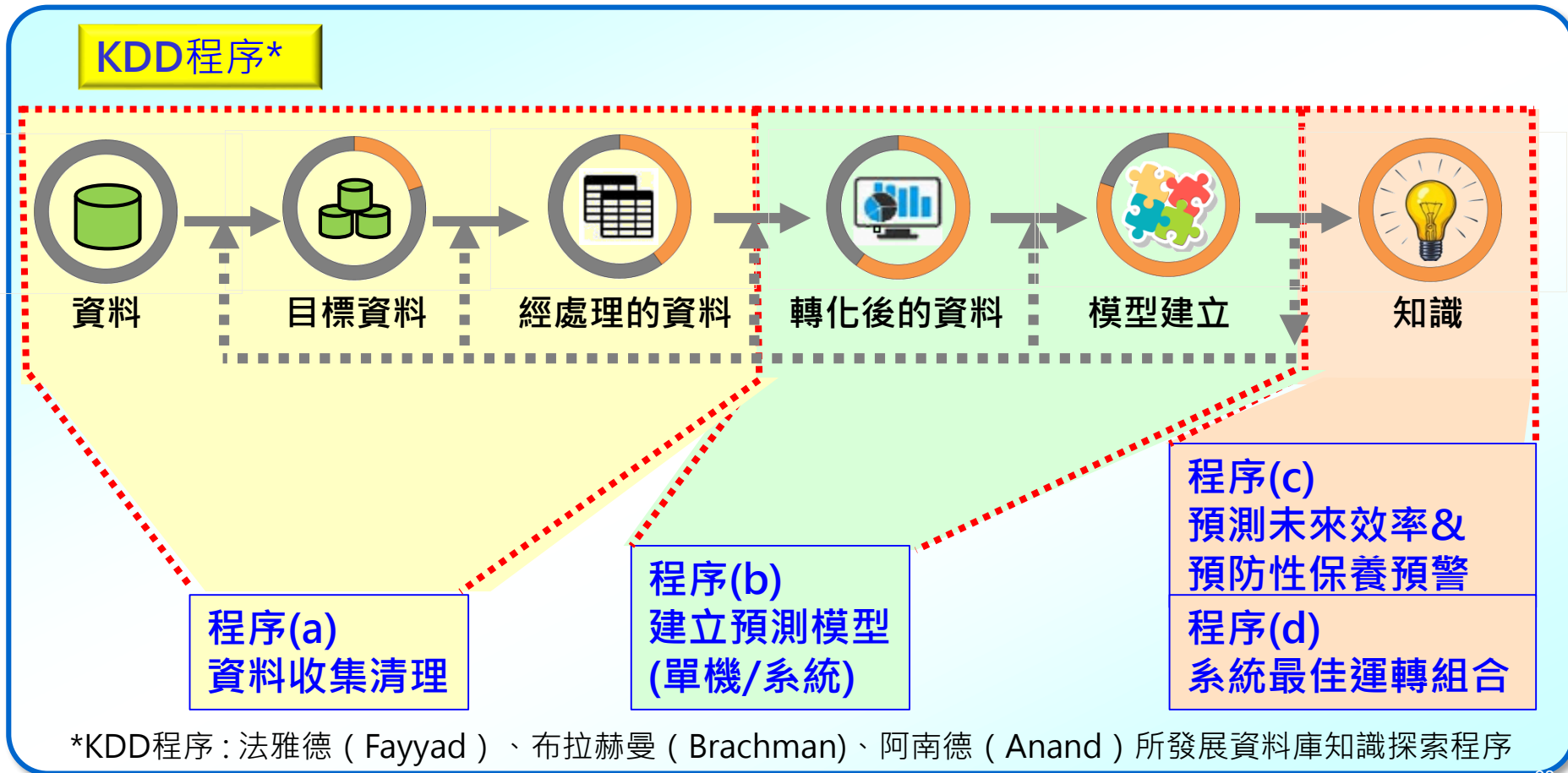
進氣風門開度調整說明



專案執行(2) – 空壓機系統智慧化控管平台

■ M 建構空壓機單機/系統模型

✓ 參考KDD程序*，建立智慧化空壓機單機/系統模型執行(a)(b)(c)(d) 4程序



專案執行(2) – 空壓機系統智慧化控管平台

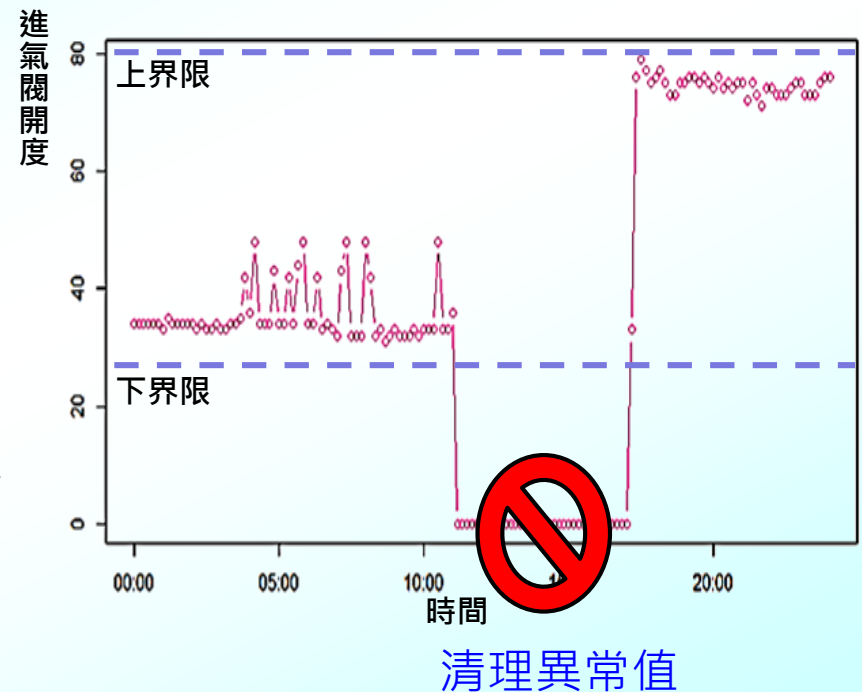
■ M 建構空壓機單機/系統模型

(a)資料收集清理：將收集所得數據資料，經異常資料排除原則進行清理異常值及排除極端值後，運用Data Mining進行資料分析

(a).資料收集清理

異常資料排除原則：

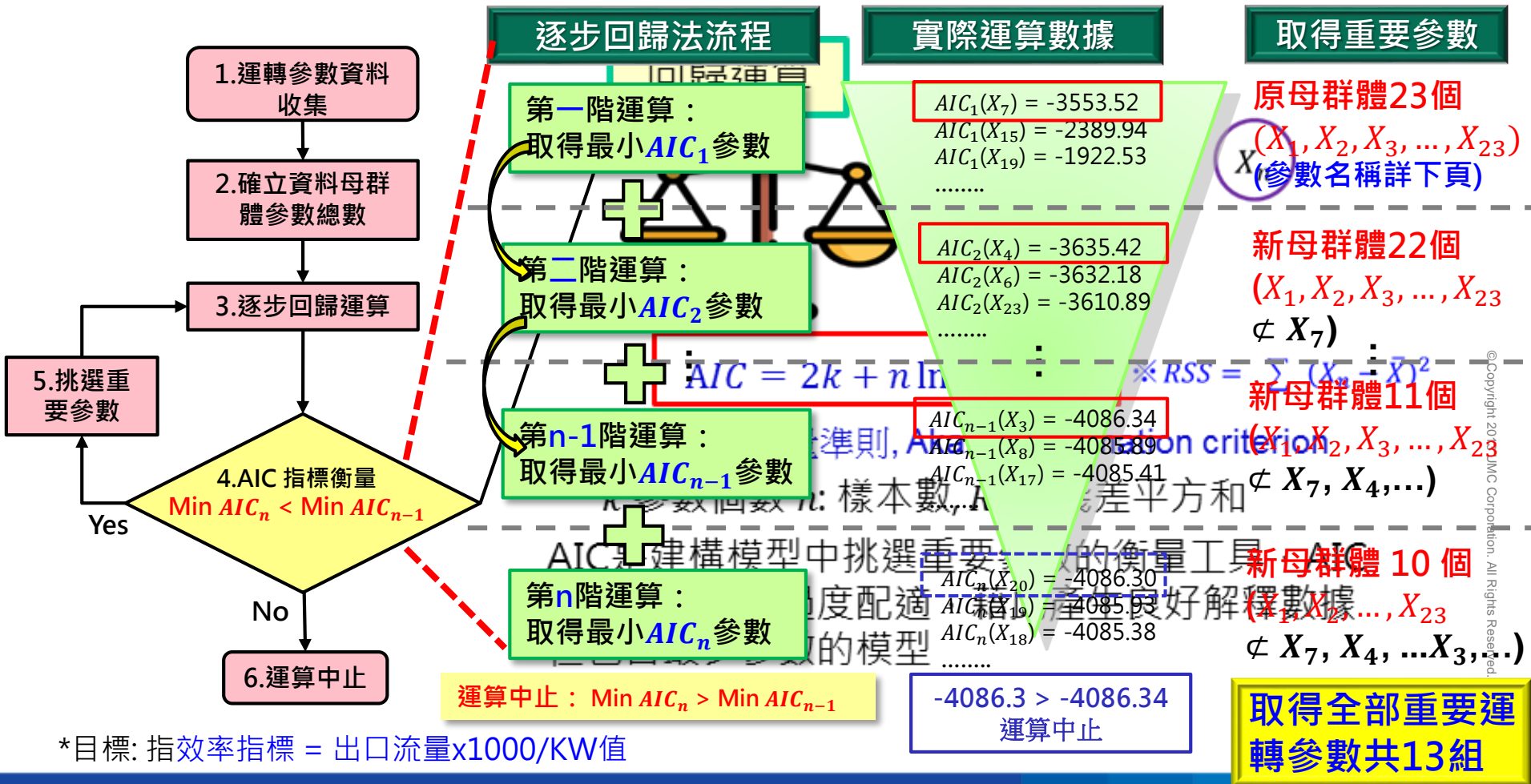
- 1.參考設備原廠給定之機台運轉 Data 規格，不可超過其上下界線。
- 2.以現有資料計算每項參數的平均值，訂定上下界線的參考。
- 3.同類型的參數 (如三段的空氣壓力、溫度)界線的寬度需一致。
- 4.上下界線必須能篩選切換配置時的極端值，同時能保留正常運作時的波動。



專案執行(2) – 空壓機系統智慧化控管平台

■ M 建構空壓機單機/系統模型

(b)-1. 建立運轉參數與目標*之數學關係式，採用逐步回歸法由23組參數逐步取得 13組重要參數



專案執行(2) – 空壓機系統智慧化控管平台

■ M 建構空壓機單機模型

(c)-2.發展預防性保養預警規則：利用模型公式得出影響效率重要因子排序，發展出預防性保養預警規則。

影響效率重要因子排序

重要性	參數
1	排放風門開度(X_7)
2	進氣風門開度(X_4)
3	第三段空氣溫度(X_5)
4	第三段空氣壓力(X_{10})
5	出口流量(X_{23})
6	入口濾網壓差(X_1)
7	馬達前軸承溫度(X_{22})
8	空氣系統壓力(X_{21})
9	馬達電流(X_2)
⋮	⋮

預防性保養預警規則

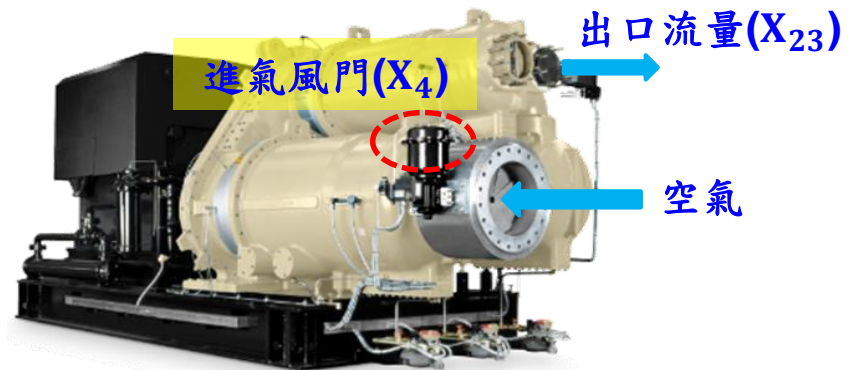
進氣風門異常預警：以出口流量及進氣風門開度來度量進氣風門是否有異常。

預警規則：

1.設計流量(83.5CMM)-實際流量 ≥ 2 CMM，發出異常預警

2.出口流量(X_{23})=進氣風門開度(X_4) \times 流速

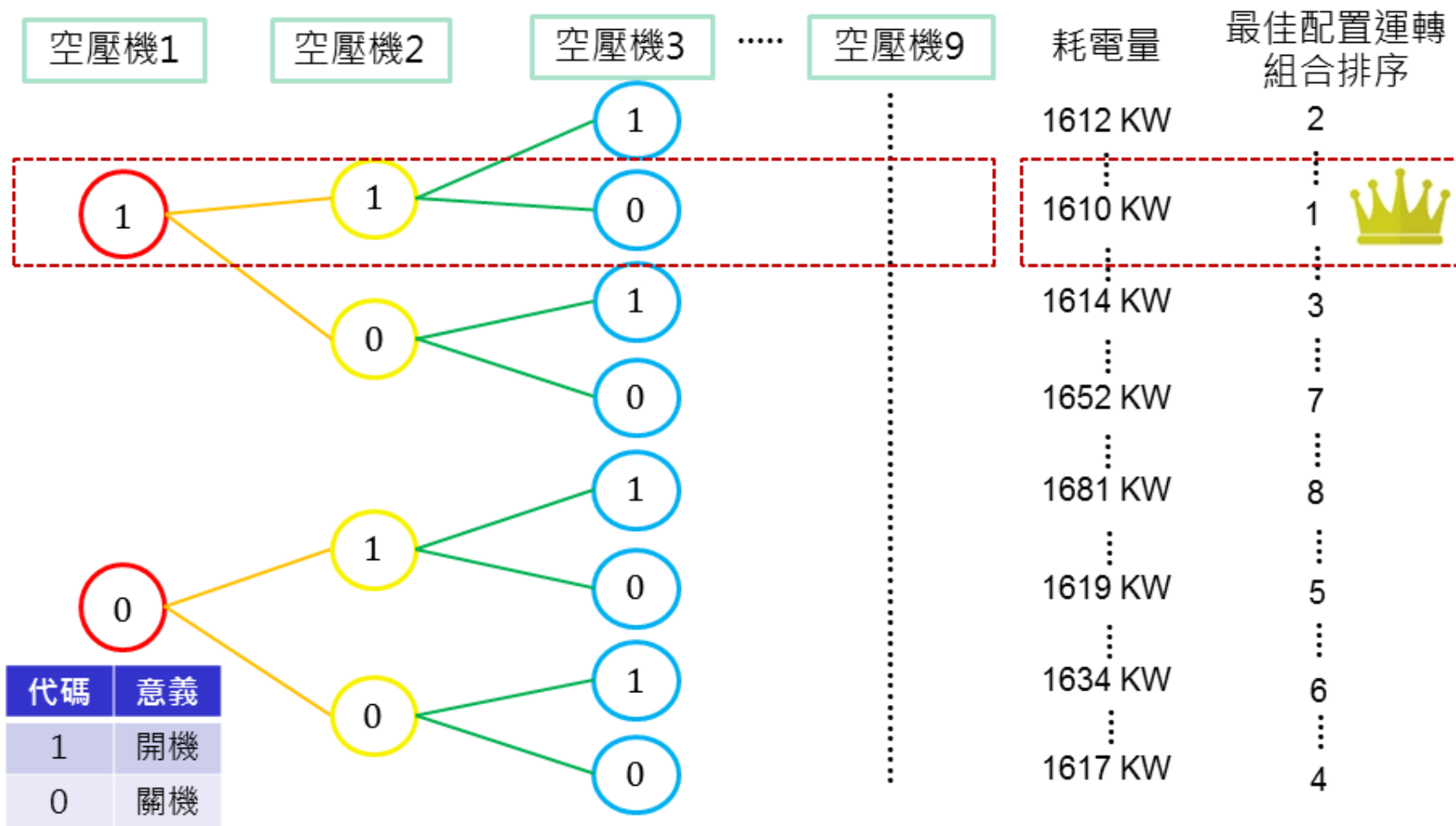
$$X_{23} = X_4 \times V$$



專案執行(2) – 空壓機系統智慧化控管平台

■ M 建構空壓機系統模型

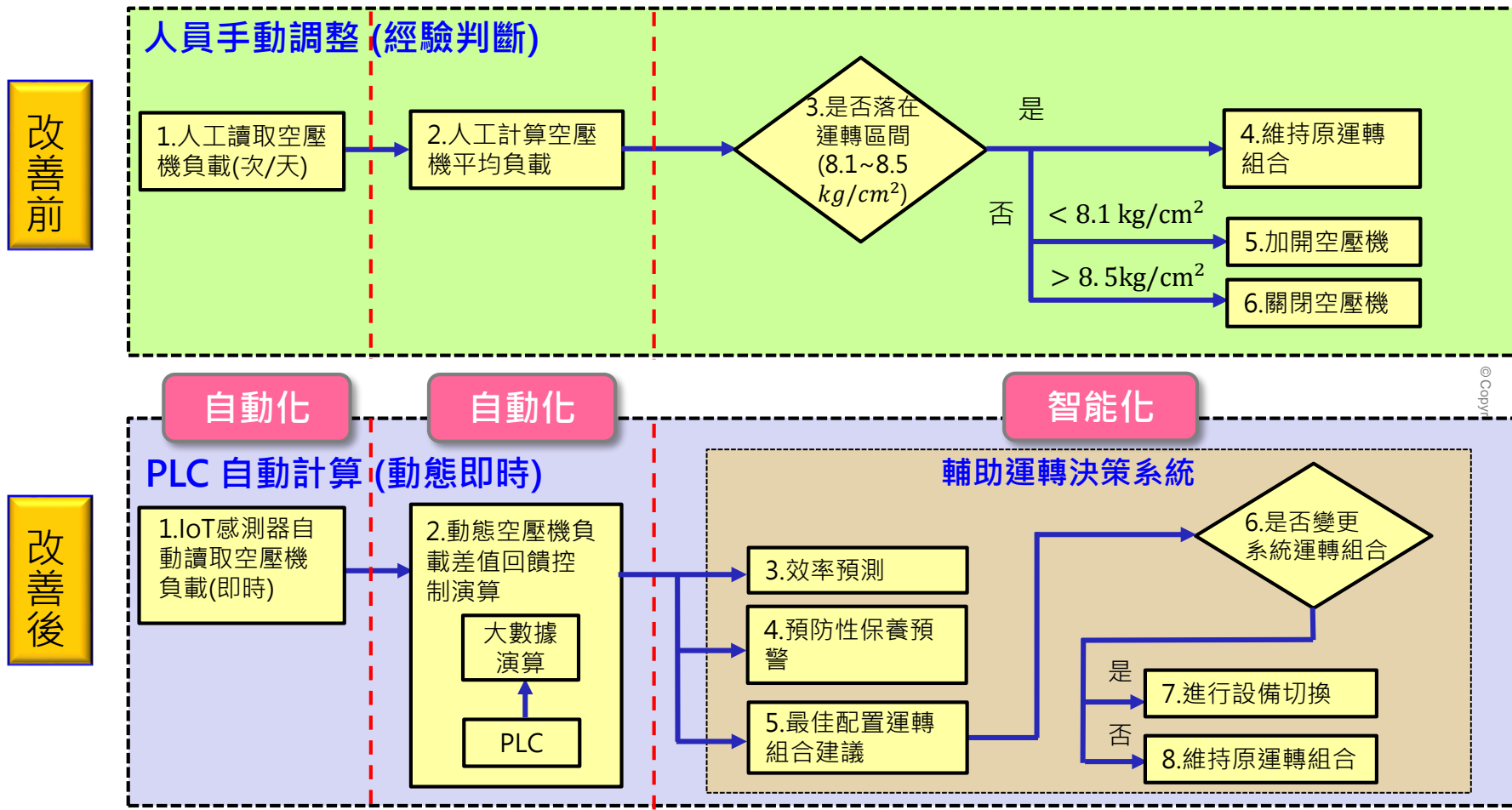
(d). 考量機台僅有九台，故以窮舉法全面演算，計算系統最佳運轉組合配置



專案執行(2) – 空壓機系統智慧化控管平台

■ P 建置空壓機智能控管平台:

- ✓ 利用 IoT 感測器自動化即時傳輸功能及動態空壓機負載差值回饋控制演算模式，透過輔助運轉決策系統達到智能化最佳節電效果。



專案執行(2) – 空壓機系統智慧化控管平台

■ P 建置空壓機智能控管平台

- ✓ 開發出輔助運轉決策系統，同時結合效率預測、預防性保養預警規則與最佳配置運轉組合功能，可自動提醒切換最佳時機，減少人為判斷時間。
- ✓ 節電合計年效益：177.7 萬度，人力減少：31.0 人工時/月

1.效率預測

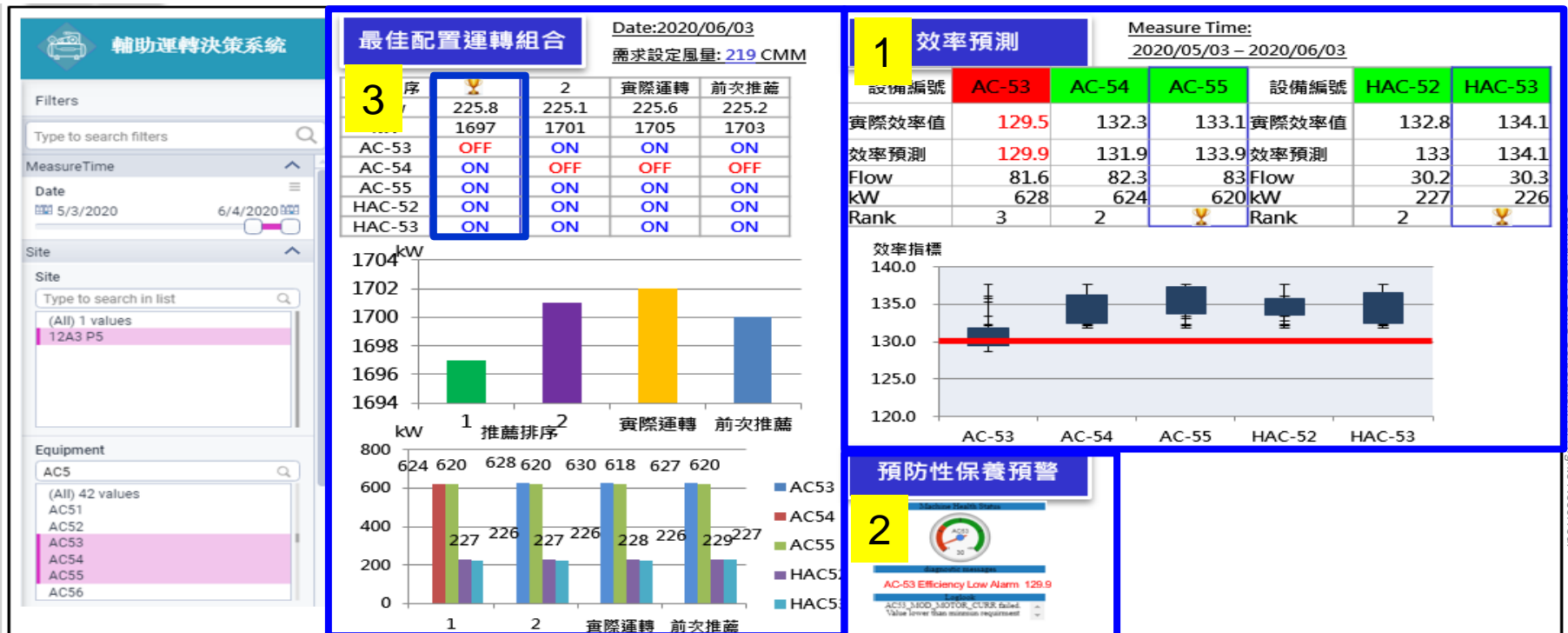
計算不同機台之預測效率與實際效率比較

2.預防性保養預警

可提前針對效率下降參數進行預警，防止能耗浪費

3.最佳配置運轉組合

依需求變動自動提出最佳運轉組合建議

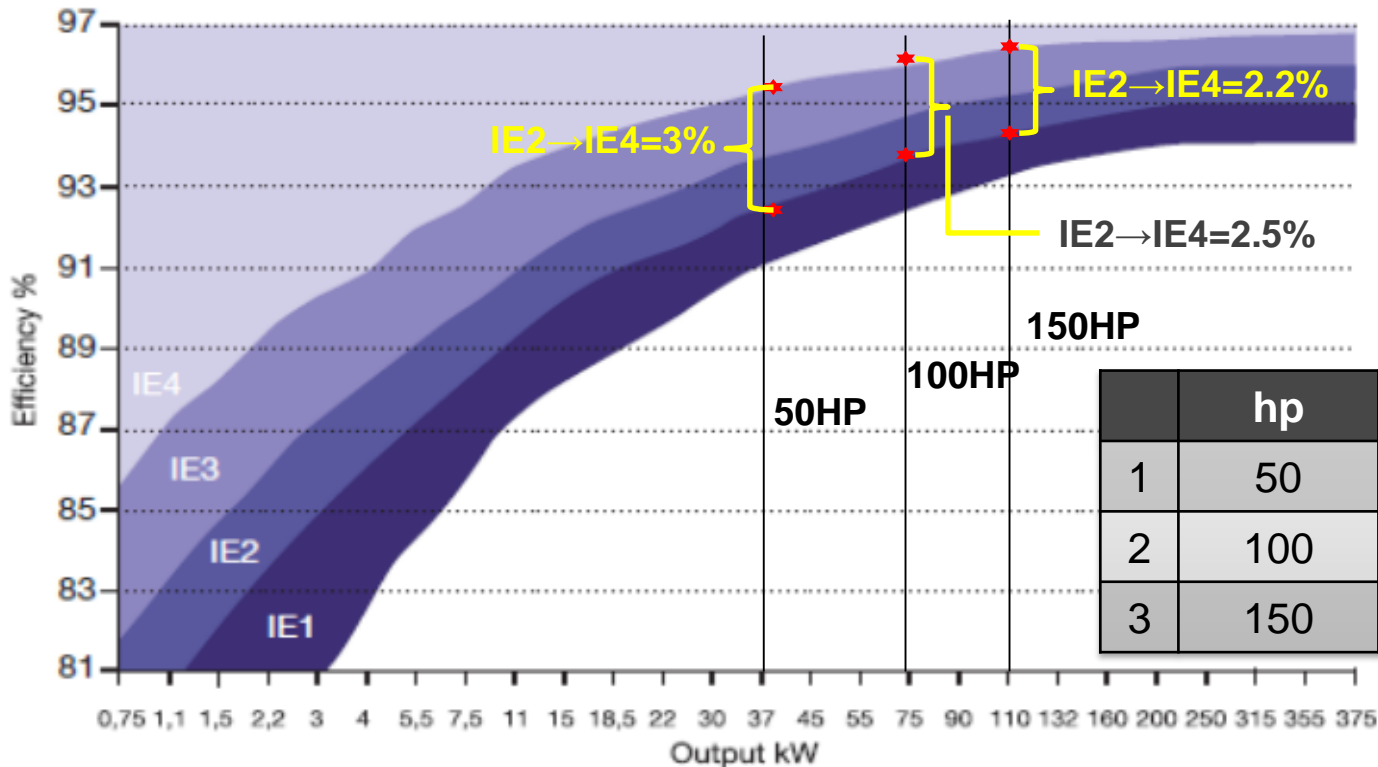


五、 節能案例分享 - Other



馬達採用 IE4 馬達

As is	To be
使用 IE3 馬達	使用 IE4 馬達



更換 IE4 馬達，
小馬力泵浦效
益較高。

	hp	節電%	預估金額
1	50	3%	24,309
2	100	2.5%	41,062
3	150	3%	48,180

HDI 導入高溫熱泵

As is

採電熱加熱



To be

採高溫熱泵提供80°C熱水



Benefit :

HDI系統需求→水量120CMH, 溫差 20°C, 2,790 kWh

電熱鍋爐製熱, 效率以98%估算, 則耗電為→ $2,790 \text{ kW} \div 0.98 = 2,847 \text{ kW/h}$

採熱泵製熱, COP : 3.51 估算, 則耗電為→ $2,790 \text{ kW} \div 3.51 = 795 \text{ kW} + \text{一次熱水泵} = 810 \text{ kW/h}$

C/R 採 LED 燈管

As is

OSRAM T8 三波長高演色性高效率燈管



L36 W/840	額定功率(W)	色溫	演色性	光通量(lm)
	36	4000K	1B	3350

樓層	燈具	燈具數量	燈管數	總燈管數	P5(w)	P6 (w)
1F 生產區	上嵌燈具	853	3	2559	92124	51180
	淚滴燈	830	1	830	29880	16600
	防塵防水燈	75	1	75	2700	1500
1F 天花上	防塵防水燈	216	1	216	7776	4320
2F	上嵌燈具	140	3	420	15120	8400
	防塵防水燈	1980	1	1980	71280	39600
	淚滴燈	32	1	32	1152	640
2F 天花上	防塵防水燈	41	1	41	1476	820
3F	上嵌燈具	1898	3	5694	204984	126984
	淚滴燈	1825	1	1825	65700	40916
	防塵防水燈	106	1	106	3816	2120
3F 天花上	防塵防水燈	350	1	350	12600	7000
Truss	防塵防水燈	587	1	587	21132	11740
			14715	529740	311820	

To be

使用區域：	室內
燈具型式：	20W 4呎LED T8 燈管
廠牌型號：	聯旭能源 \ TL20F-A
燈具尺寸：	1200mm x Ø30mm (± 5mm)
燈源型式：	白光 5000K ,顯色度(CRI) >80, >2000 流明
燈座：	G13
使用電壓：	110~277 Vac(±10%) ,50/60 Hz
燈具材質：	燈具本體：鋁擠型材+工程級V0防火塑料 燈罩：PC燈罩
備註：	光源保固 2.5年；

item	螢光燈管	LED	差異	說明
單價(NTD)	120	540	420	螢光燈單價低
故障率	1%	0.30%	0.700%	LED故障率低
壽命(year)	1.7	5	-3.3	LED壽命長
總成本(NTD)	1765800	7946100	-6180300	螢光燈建置成本低
故障數	147.15	44.145	103.005	LED維護成本低
故障成本	17658	23838.3	-6180.3	螢光燈故障成本低
電費(year)	11899180	7004275	4894905	LED較節能
5年運轉成本	5,297,400	7,946,100	-2,648,700	
5年電費成本	59,495,900	35,021,375	24,474,525	
SUM	64,793,300	42,967,475	21,825,825	LED ROI 1.82Y

Benefit :

螢光燈 36W vs LED 20W 共14715支燈管

MAU(外氣空調箱)冰水回收節能

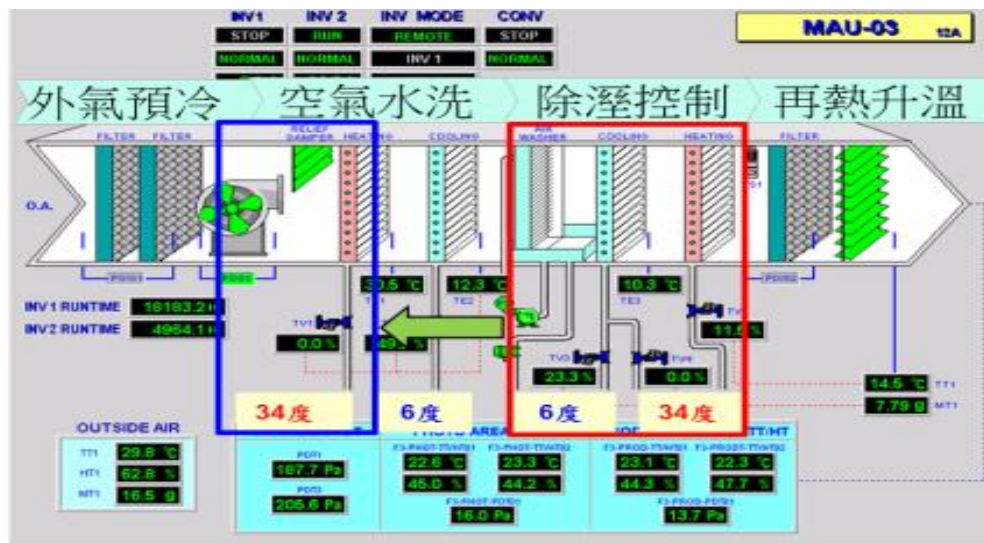
■ 改善前

原模式：外氣→第一道預冷→水洗→第二道除溼→再加熱→FAB

■ 評估改善

1. 改善模式：外氣→Free-Cooling→第一道預冷→水洗→第二道除溼→再加熱→FAB
2. 利用Free Cooling的概念，當夏季溫度較高時時，將MAU第二道Heating Coil出口溫度較低之溫水引至MAU第一道heating Coil (夏季則做為pre-cooling功能)，藉此降低MAU第一道預冷盤管之熱負載，藉此降低冰機負載，達到節能效果

夏季時[4~11月]，
第一道熱排改為 free cooling
外氣溫度愈高效益愈佳



© Copyright 2013 UMC Corporation. All Rights Reserved.

系統	節能措施	節能成效			投資金額 (仟元/年)	回收年限 (年)
		電 (千度/年)	CO2 (公噸/年)	節省費用 (千元/年)		
空調系統	MAU(外氣空調箱)冰水回收節能	966.65	535.53	2,223.30	3,800	1.71

END