

智能式冰機控制系統 導入與實證分析

聯華電子12A P5
陳立德
2019/11/19

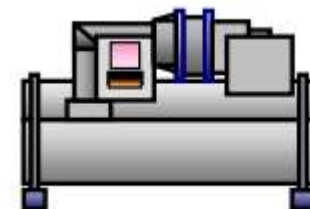
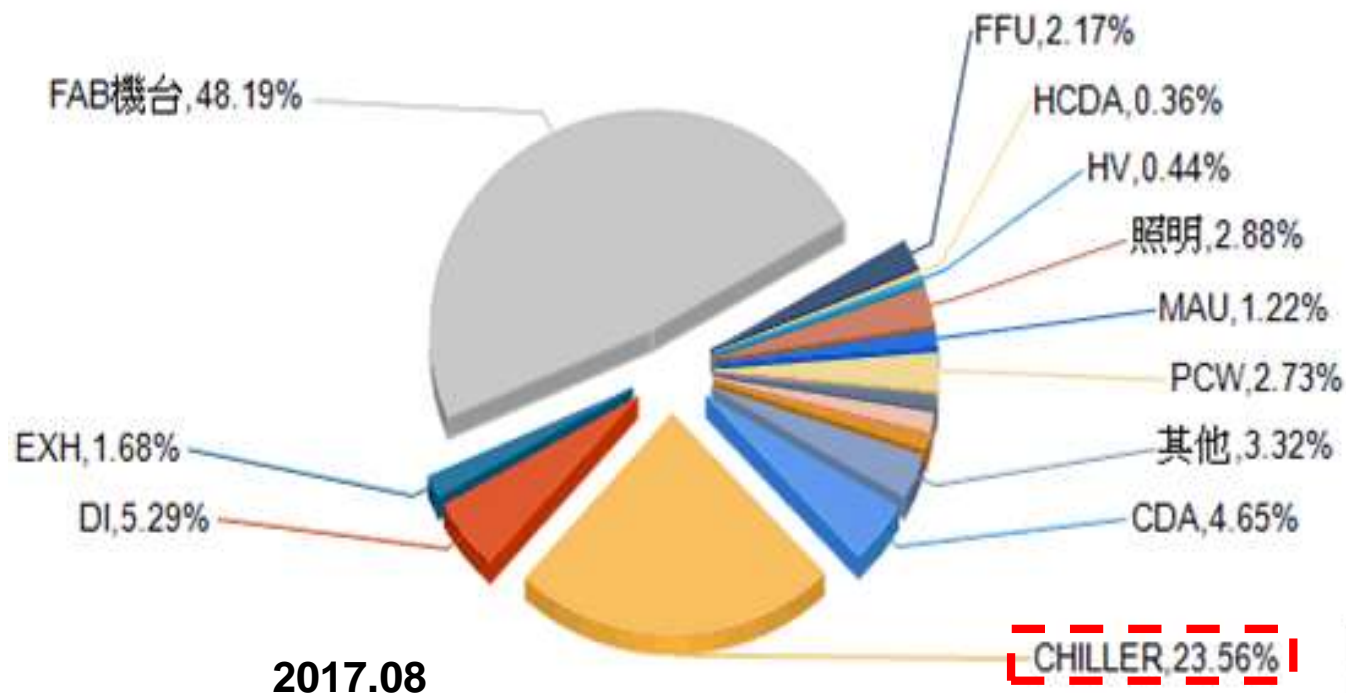
大綱

- 前言
- 研究方法及策略分析
- 冰水系統優化改善
 - 冷卻水塔最佳化運轉點改善
 - 水泵側最佳化控制改善
 - 最適末段壓差設定
 - 冰機最佳供水溫度設定
- 節能效益
- 未來展望

前言

- 廠務系統所占耗能佔全廠用電50%以上
- 冰水主機佔總廠用電之20%以上，為廠務系統最大宗
- 本研究藉由節能評估及改善措施提升廠區冰水系統能源使用效率

12A Fab Weighted Average Electrical Consumption by System



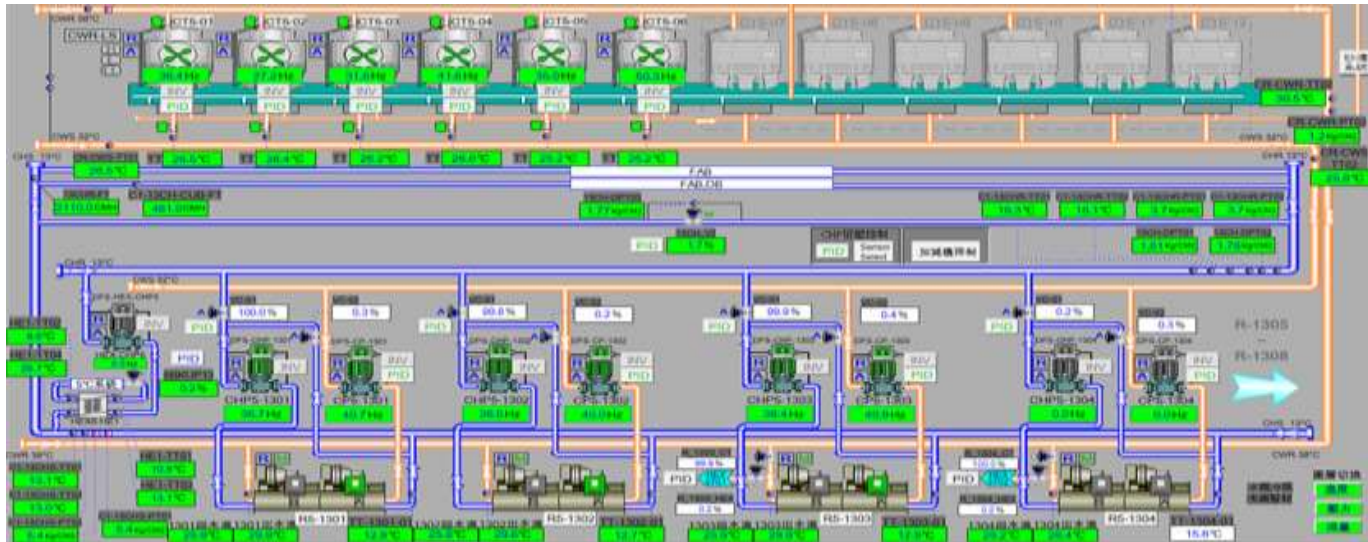
UMC Chilled Water System Control

- Traditional chilled water system control [before 2014]
- UMC Chilled water system COP control [since 2014]
- UMC Intelligent Chilled Water System Control [2018~]
 - Input: IoT, precision sensors installed, data acquisition
 - Processing: Big Data processing & analysis
 - Output: Industry 4.0 – Integrated Energy saving, Smart & Optimized control, Efficiency & Health diagnostic, Prediction maintenance

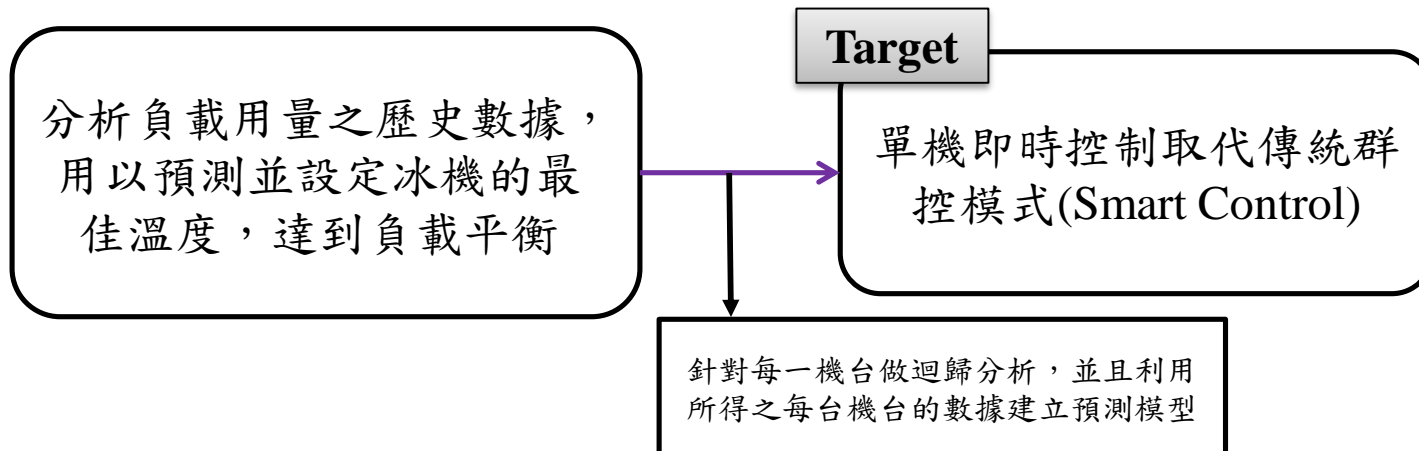


主要設備規格

Equipment	Maker	Capacity	Specification
5°C Chiller	Trane	2700RT	11.6°C in / 5°C Out
13°C Chiller	Trane	3300RT	19.6°C in / 13°C Out
Cooling Tower	KEWELL	6536RT	38°C in / 32°C Out
Pump	ARMSTRONG	31842LPM	300HP / 30M



優化目標



冰機節能策略及大數據智能技術導入

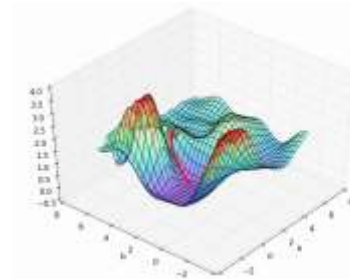
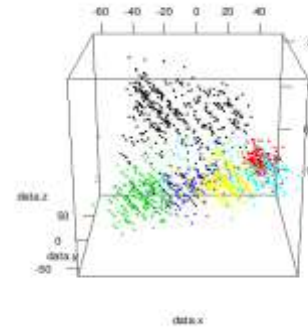
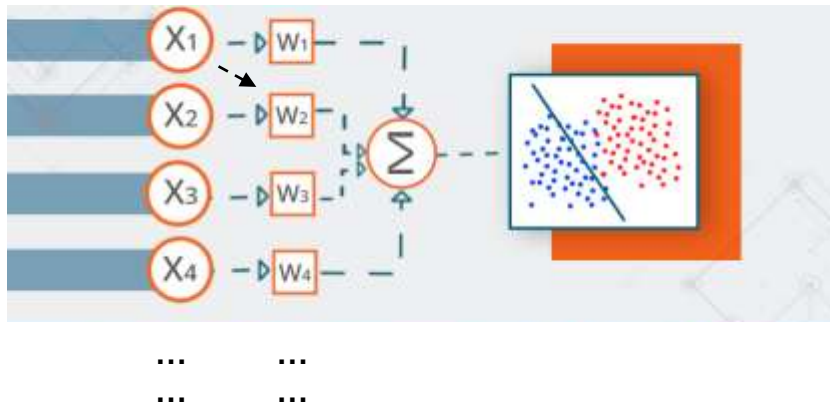
- Big data 為來自於檢測體之巨量數據資料，且觀察和紀錄過往數據及異變，並藉由資料探勘搜尋資料關聯性，以判別檢測體與資訊連結之過程研究方法及策略分析。
- PLSR(Partial Least Squares Regression)為一種適用於多變因素且高關聯性之建模方法。

資料採集

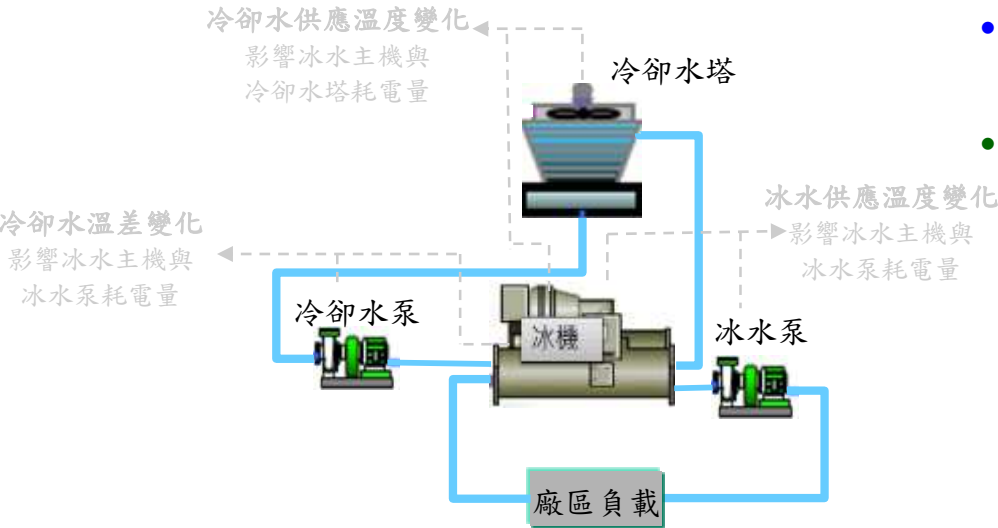
數據分析

模型預測

預知判斷



冰水系統節能策略分析



- 一般冰機耗能僅考慮單一設備節能; 有冷卻水塔缺冰水主機; 或僅調整冰機出水溫
- UMC冰機控制冰水主機/冷卻水塔/冰水 Pump/冷卻水 Pump, 求取整體系統最小能耗

COP: Coefficient of Performance

$$COP = \frac{kWH}{RTH} = \frac{\text{耗電量}}{\text{冷凍能力}}$$

kWH=千瓦小時

RTH=冷凍噸小時

► 方法：

利用歷史運行數據和偏最小二乘回歸（PLSR）建立系統能耗預測模型

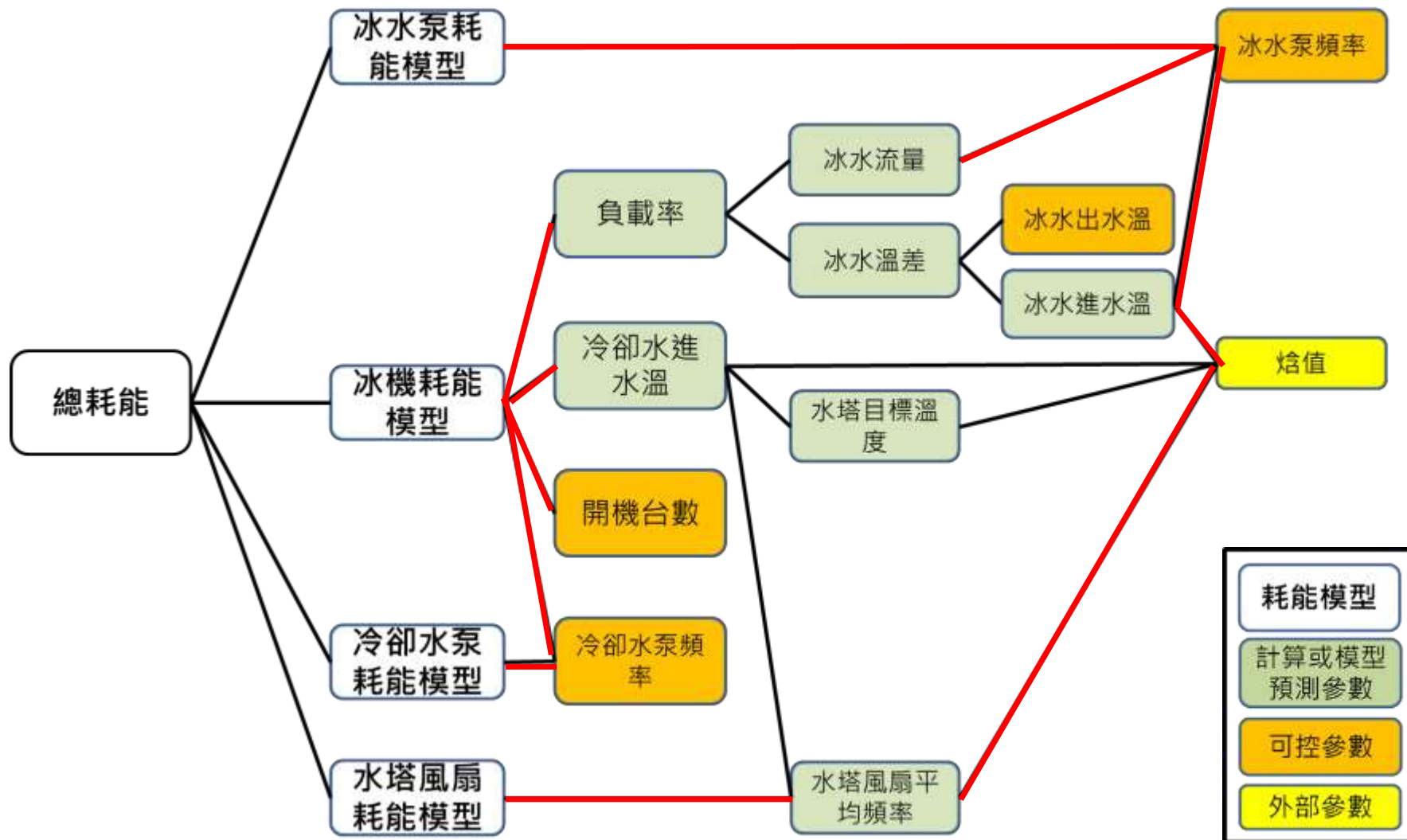
► 優化：2~4% saving(理論值)

模擬每個可控變因，並優化可控變因，找到設備操作的最佳操作設置

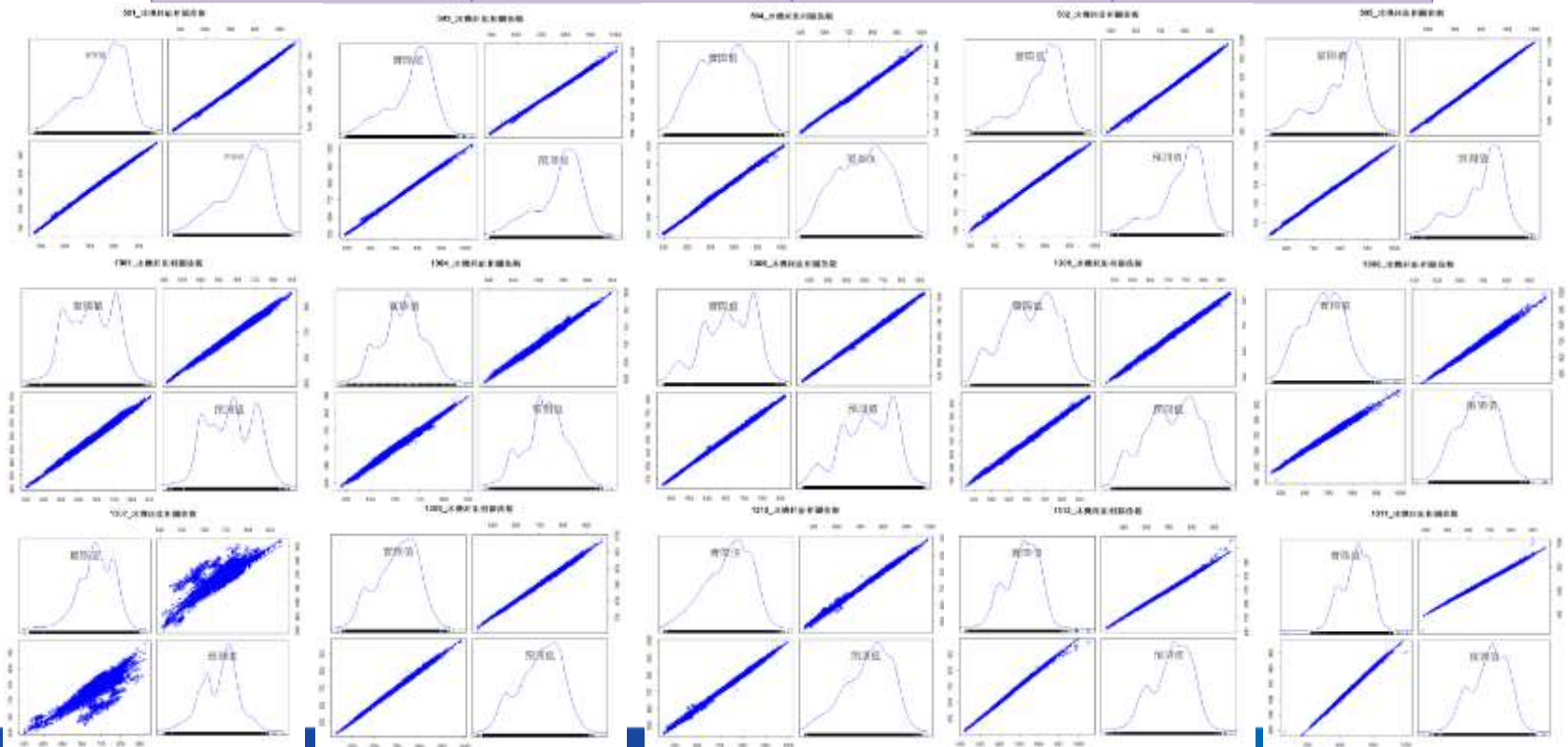
► 模型建立

- 水塔溫度目標值預測模型
- 水塔風扇頻率預測模型
- 水塔耗能預測模型
- 冷卻水泵耗能預測模型
- 冰水泵耗能預測模型
- 冰水流量預測模型
- 冰水進水溫預測模型
- 冰機耗能預測模型

冰水系統預測模型建立

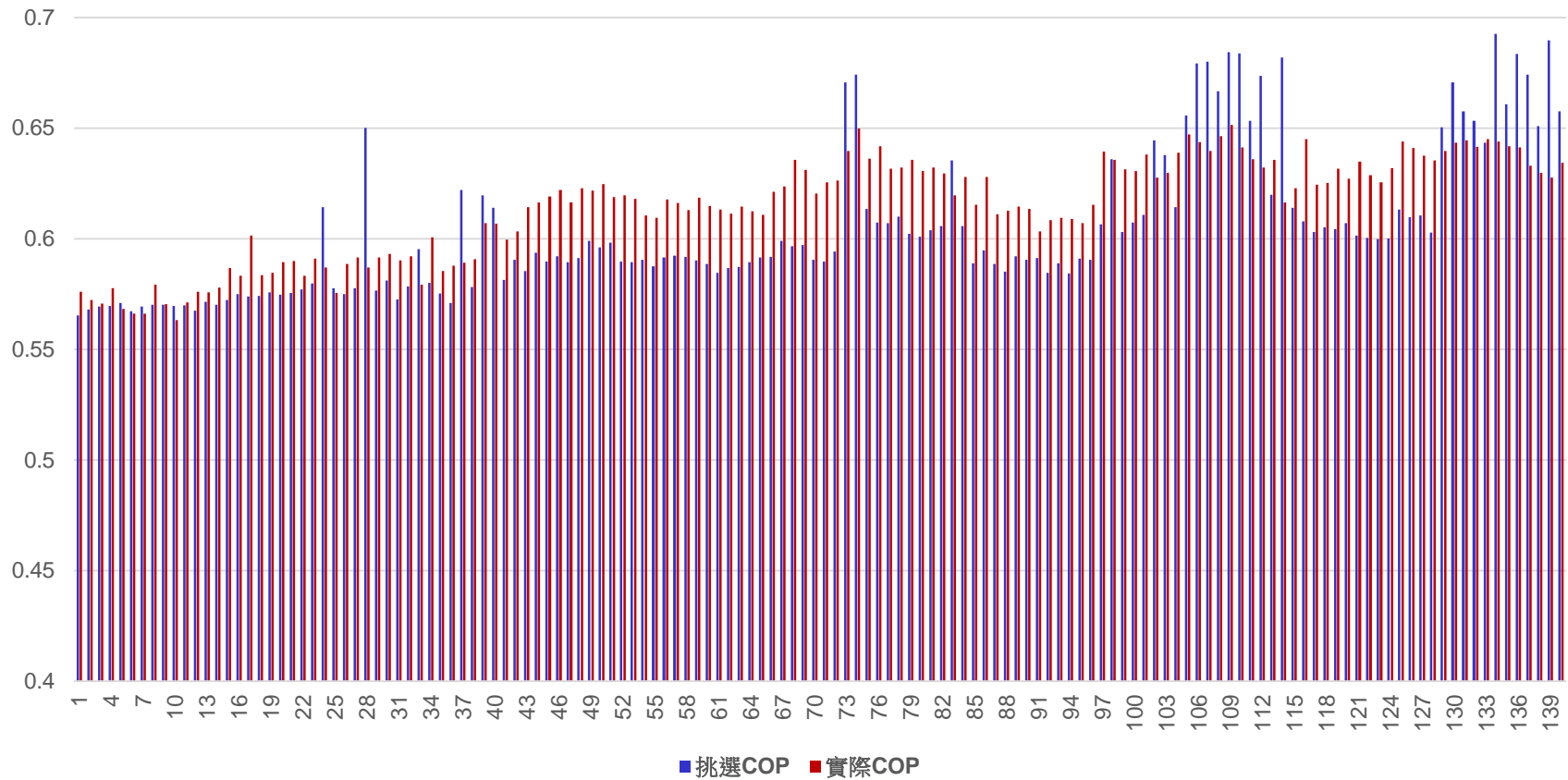


Y變數	冰機消耗功率		
X變數	負載率、負載率^2、冷卻水進水溫度、冷卻水進水溫度^2、冰機開啟台數、冷凝器飽和冷媒溫度		
冰機編號	模型R-squared	$\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i) / N$	MAPE ($\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i) / N$)
R501	0.998	0.031	0.38%
R502	0.997	0.035	0.35%
R503	0.998	0.027	0.32%
R504	0.998	0.031	0.41%
R505	0.998	0.025	0.29%
R1301	0.992	0.072	0.60%
R1304*	0.990	0.075	0.37%
R1305	0.998	0.033	0.32%
R1306	0.998	0.037	0.39%
R1307*	0.744	0.385	1.86%
R1308	0.992	0.066	0.71%
R1309	0.997	0.039	0.44%
R1310*	0.996	0.044	0.65%
R1311	0.997	0.033	0.40%
R1312	0.997	0.031	0.32%



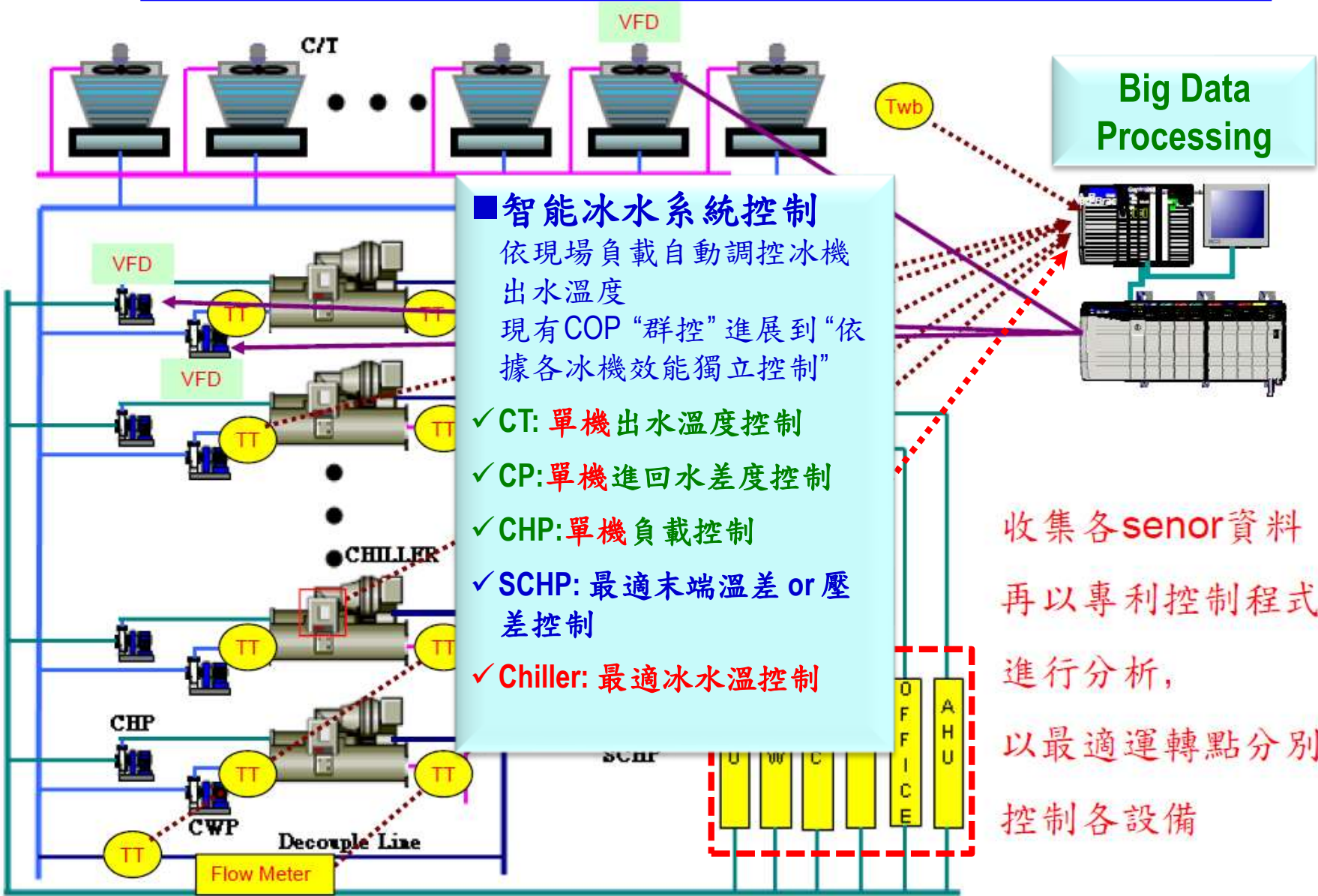
COP Comparison (model vs. real)

COP比較



- 使用基因演算法找出每個時間點符合運轉限制條件的耗能最佳解
- 本例中基因演算法模型篩選後的條件多天數比實際值更節能

UMC Intelligent Chilled Water System Control



■ 智能冰水系統控制
 依現場負載自動調控冰機
 出水溫度
 現有COP“群控”進展到“依
 據各冰機效能獨立控制”

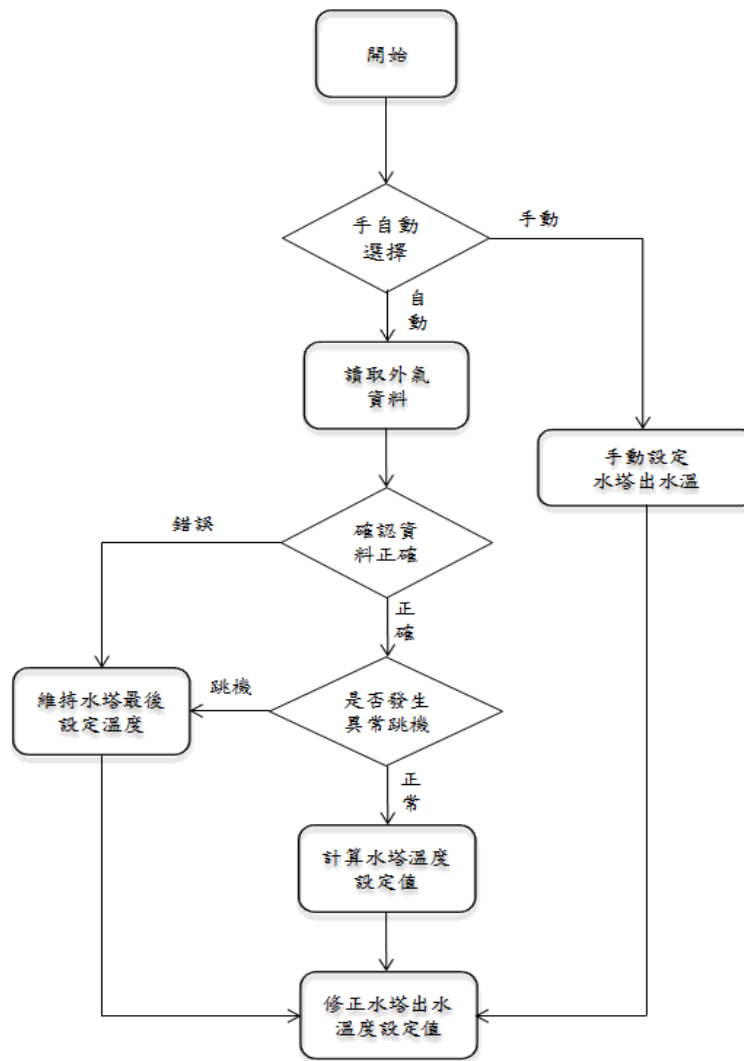
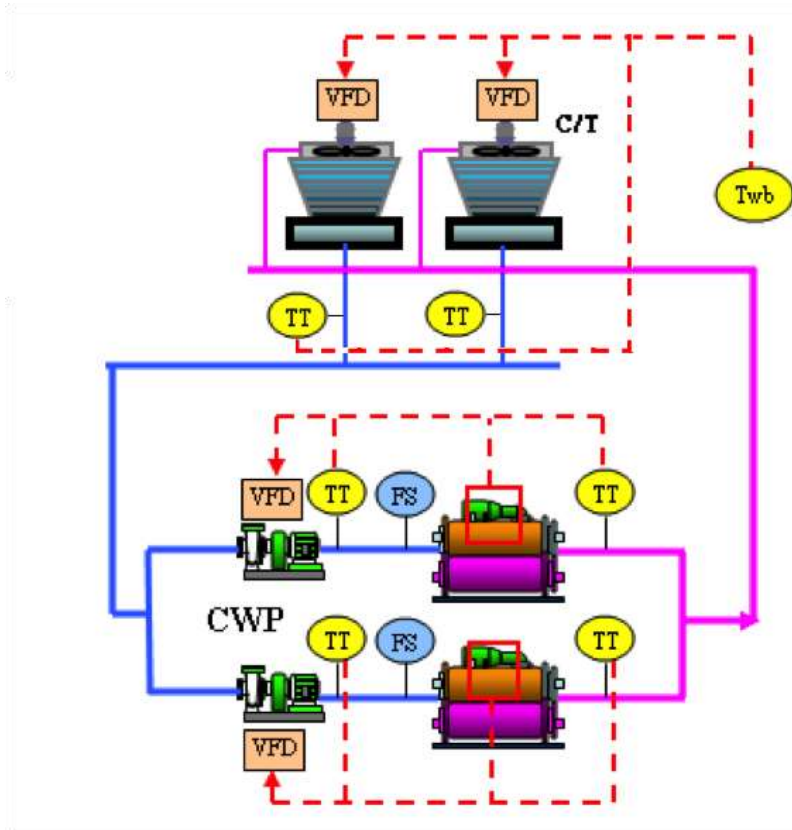
- ✓ CT: 單機出水溫度控制
- ✓ CP: 單機進回水差度控制
- ✓ CHP: 單機負載控制
- ✓ SCHP: 最適末端溫差 or 壓差控制
- ✓ Chiller: 最適冰水溫控制

Big Data Processing

收集各sensor資料
 再以專利控制程式
 進行分析，
 以最適運轉點分別
 控制各設備

冷卻水塔最佳化運轉點改善

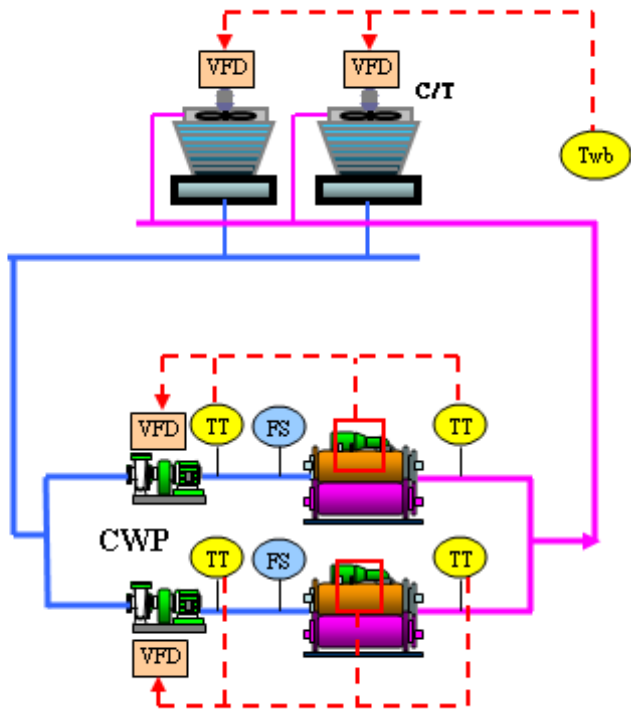
- 冷卻水塔旁加裝外氣濕度溫度計
- 紀錄外氣濕球溫度及冰機負載率大小
- 經運算結果輸出來控制水塔風扇頻率



水泵側最佳化控制改善

▶ 冷卻水泵

- ▶ 冰機進出水加裝溫度偵測計
- ▶ 紀錄進出水溫差及冰機負載率大小
- ▶ 經運算結果輸出來控制冷卻水泵頻率



▶ 冰水泵

- ▶ 計算冰機平均負載狀態
- ▶ 紀錄各台冰機負載率大小
- ▶ 經運算結果輸出來修正各台冰水泵頻率
- ▶ 此解可與原廠設計條件搭配調整

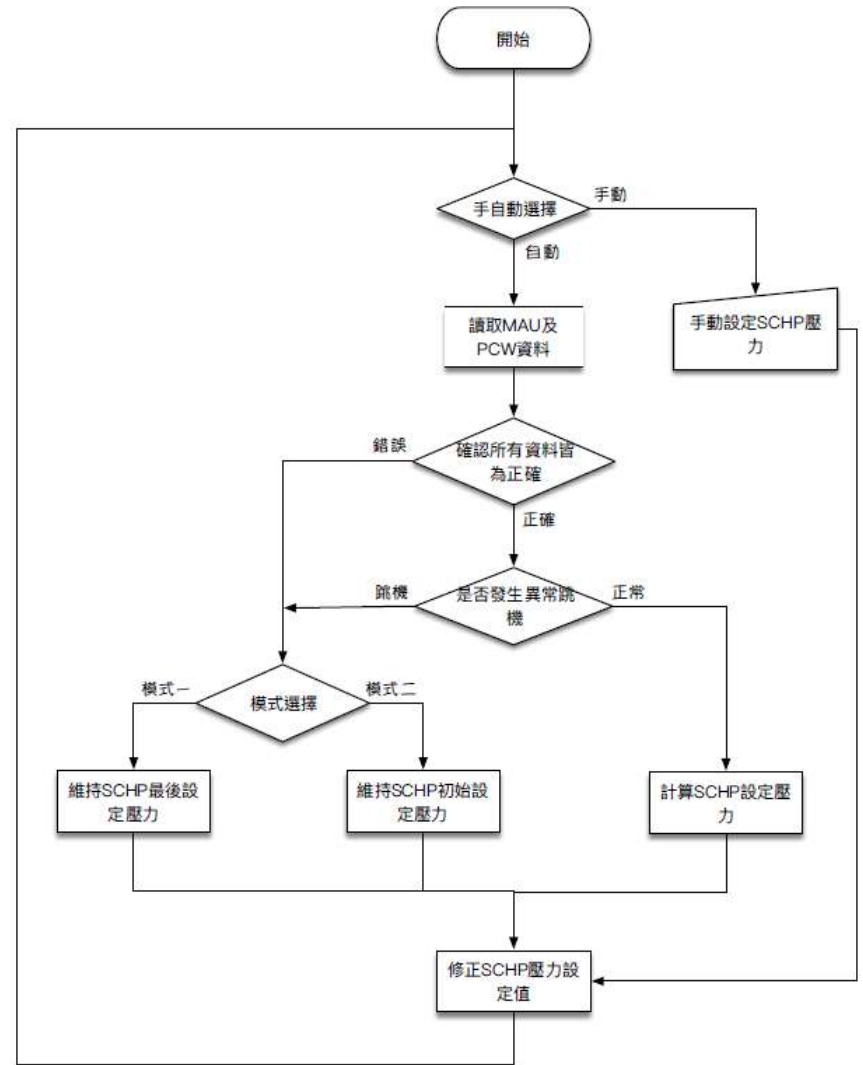
5°C, 2700RT Chiller											
負載率		100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	55%
冷卻水 進水溫度	冰水 出水溫度	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT
26°C	5°C	0.5349	0.5255	0.5222	0.5188	0.5172	0.5179	0.5235	0.5294	0.5358	0.5466
27°C		0.548	0.5386	0.5356	0.5321	0.5298	0.5297	0.5358	0.5423	0.5495	0.5607
28°C		0.5617	0.5515	0.5488	0.5458	0.5431	0.542	0.5487	0.5559	0.5638	0.5755
29°C		0.5754	0.5641	0.5617	0.5598	0.5573	0.5554	0.5626	0.5704	0.579	0.591
30°C		0.5893	0.5774	0.5748	0.5741	0.5719	0.5707	0.5773	0.5858	0.5953	0.6067
31°C		0.6035	0.5916	0.5879	0.5884	0.5868	0.5867	0.593	0.6023	0.6128	0.6247
32°C		0.6186	0.6063	0.6012	0.6018	0.6014	0.6028	0.6096	0.6197	0.6311	0.644

13°C, 3300RT Chiller											
負載率		100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	55%
冷卻水 進水溫度	冰水 出水溫度	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT	kw/RT
26°C	13°C	0.4086	0.3918	0.3786	0.3696	0.3655	0.3636	0.363	0.3632	0.368	0.3734
27°C		0.4173	0.3992	0.3876	0.3793	0.3744	0.373	0.3732	0.3734	0.3786	0.3838
28°C		0.4279	0.4079	0.3971	0.3899	0.3843	0.3838	0.3844	0.3846	0.3897	0.395
29°C		0.4398	0.4184	0.4083	0.4013	0.3958	0.3952	0.396	0.3964	0.4013	0.4067
30°C		0.4447	0.4303	0.4212	0.4134	0.4081	0.4069	0.4076	0.4084	0.4128	0.4189
31°C		0.4572	0.443	0.4332	0.4258	0.4208	0.4189	0.4196	0.4206	0.4244	0.431
32°C		0.4701	0.4563	0.4459	0.4381	0.4336	0.4312	0.4321	0.4332	0.4365	0.443

最適末段壓差設定

➤ 管末壓差調整

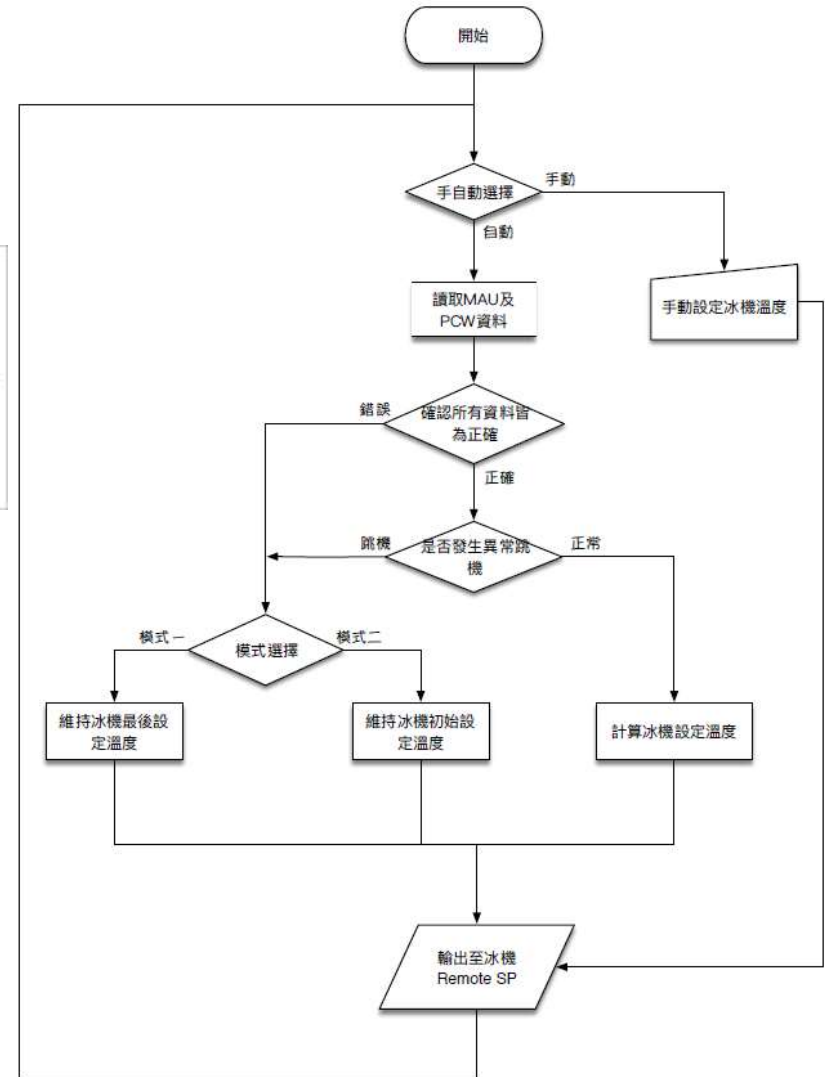
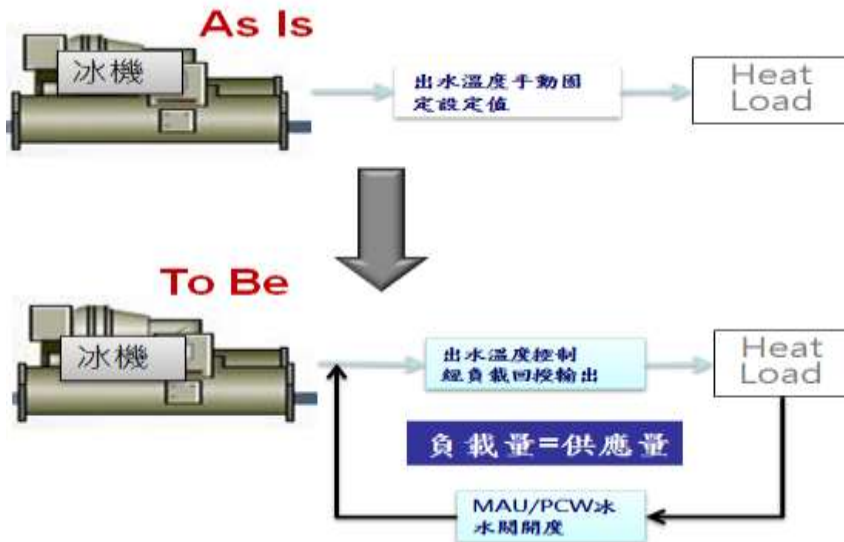
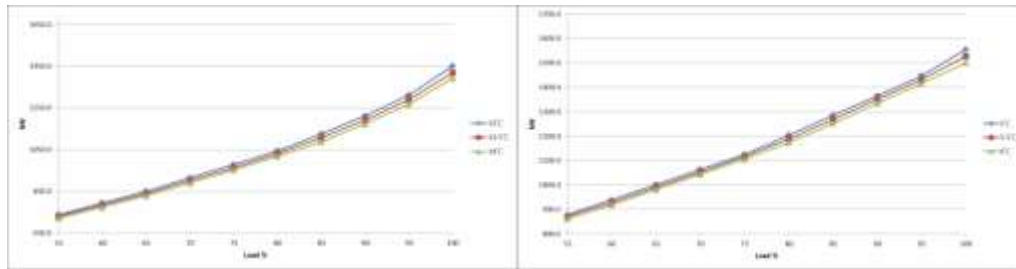
- 利用出回水溫度差修正系統壓力設定值
- 溫差過小時，表示系統輕載，現有狀況已提供過量之冰水，減低系統壓力設定值
- 溫差提高時，表示系統重載，現有之冰水量不足，需自動增加壓力設定值



冰機最佳供水溫度設定

冰機水溫調整

- 5°C每提高1度約可節省2.3%
- 13°C每提高1度約可節省2.9%
- 確保實際負載量與供應量相符



冰機智能控制 - Chiller water temp. setting auto-tune according to FAB heat load

即時運轉數值

依冰機系統參數經數學運算式預測數值。

Chiller TT	13.09
冷凍噸	5355.53
Chiller kW	2369.00
CHP開啟台數	4
CHP HZ	38.00
CHP kW	260.24
Flow	921.18
冰水溫度	4.84

冰水溫度調節率%	2.0	人為輸入
CHP最高轉速轉每分	38.0	
CHP額定kW	261.1	
CHP HZ修正係數	1.0	

Chiller TT	14.0	13.9	13.8	13.7	13.6	13.5	13.4	13.3	13.2	13.1	單位
冷凍噸	5355.53	5355.53	5355.53	5355.53	5355.53	5355.53	5355.53	5355.53	5355.53	5355.53	RT
Chiller kW	2369.00	2369.00	2369.00	2369.00	2369.00	2369.00	2369.00	2369.00	2369.00	2369.00	kW
冰水溫度	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	°C
Flow	1132.58	1132.58	1132.58	1132.58	1132.58	1132.58	1132.58	1132.58	1132.58	1132.58	CMH
CHP HZ	37.51	37.51	37.51	37.51	37.51	37.51	37.51	37.51	37.51	37.51	Hz
CHP開啟台數	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	台
CHP kW	260.24	260.24	260.24	260.24	260.24	260.24	260.24	260.24	260.24	260.24	kW
Total kW	2629.76	2629.76	2629.76	2629.76	2629.76	2629.76	2629.76	2629.76	2629.76	2629.76	kW

	LPHE-01	LPHE-02	LPHE-03	LPHE-04	LPHE-05
開手自動	AUTO	AUTO	AUTO	MANU	MANU
開-PV	20.8%	20.5%	18.9%	8.0%	15.0%
功能啟用	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
功能啟用	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	MAU-01	MAU-02	MAU-03	MAU-04	MAU-05	MAU-06	MAU-07	MAU-08	MAU-09	MAU-10	MAU-11	MAU-12	MAU-13	MAU-14
開手自動	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO
開-PV	21.0%	0.0%	21.1%	21.0%	20.7%	0.0%	18.3%	17.3%	16.5%	0.0%	23.3%	0.0%	18.6%	16.3%
功能啟用	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
功能啟用	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	HPHE-01	HPHE-02	HPHE-03	HPHE-04	HPHE-05
開手自動	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO
開-PV	20.2%	19.0%	19.0%	19.0%	19.0%
功能啟用	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
功能啟用	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gain	0.01	Da
PI	3000.0	Da
TD	0.0	Da
Deadband	0.0	Da

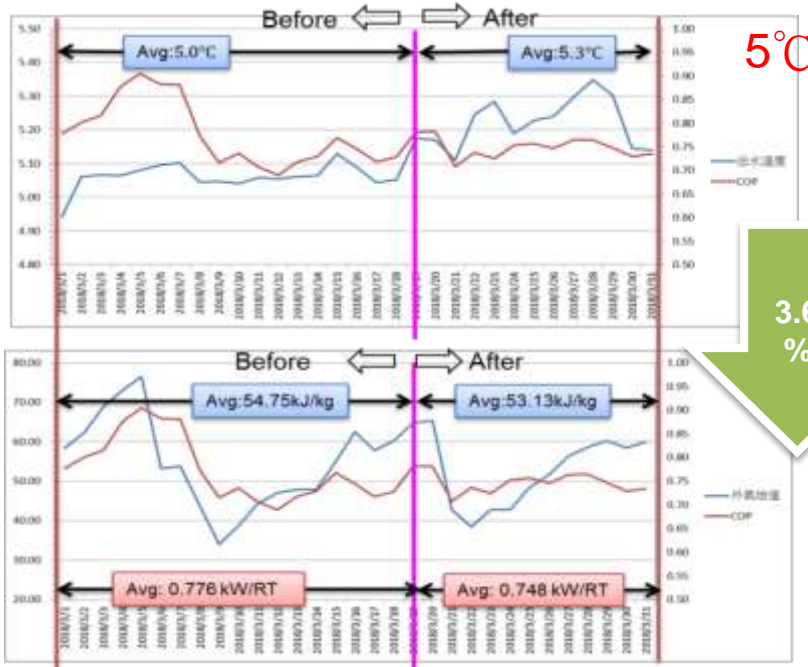
SP High Limit	100.0	%
SP Low Limit	0.0	%
OUT High Limit	13.5	°C
OUT Low Limit	13.0	°C

冰機智能						
	R13-1301A	R13-1302A	R13-1303A	R13-1304A	R13-1305A	R13-1306A
	R13-1301B	R13-1302B	R13-1303B	R13-1304B	R13-1305B	R13-1306B
PID	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
AM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MOUT	13.5	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
PID-OUT	13.5°C	13.5°C	13.5°C	13.5°C	13.5°C	13.5°C

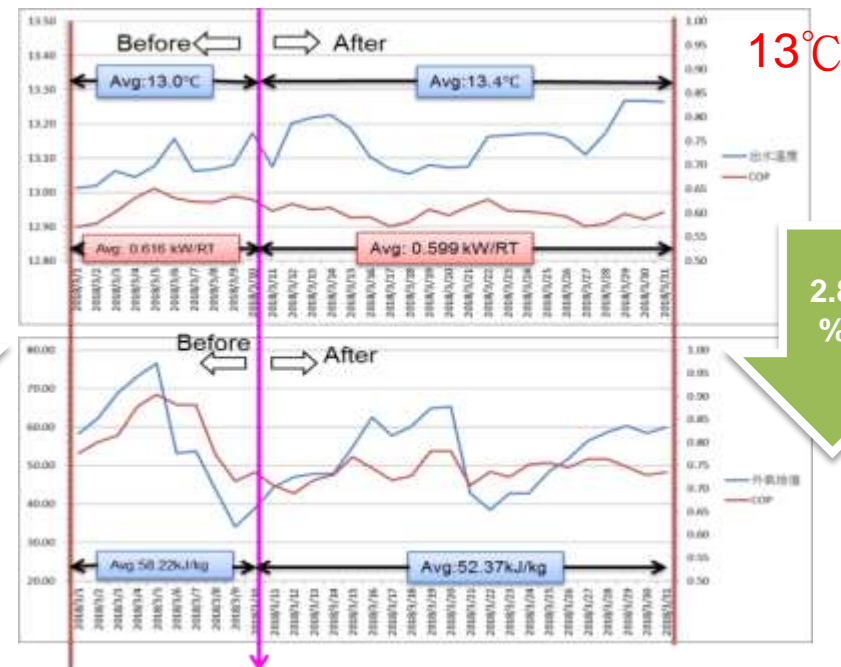
依現場MAU/PCW負載開度設定PID控制冰機出水溫度輸出。

冰機投入智能模式運轉 - 節能效益說明

- 最適冰水溫控制：
 - ✓ 5°C 系統出水溫度 5.0 → 5.3°C。
 - ✓ 13°C 系統出水溫度 13.0 → 13.4°C。
- 最冰水系統最適壓差控制：
 - ✓ 5°C 系統壓差 2.1 → 1.8Kg。
 - ✓ 13°C 系統壓差 2.0 → 1.75Kg。
- CT 出水溫度最適化控制：
 - ✓ 依外氣濕球溫度計算最佳化設定值 (趨近溫度控制 < 3°C)



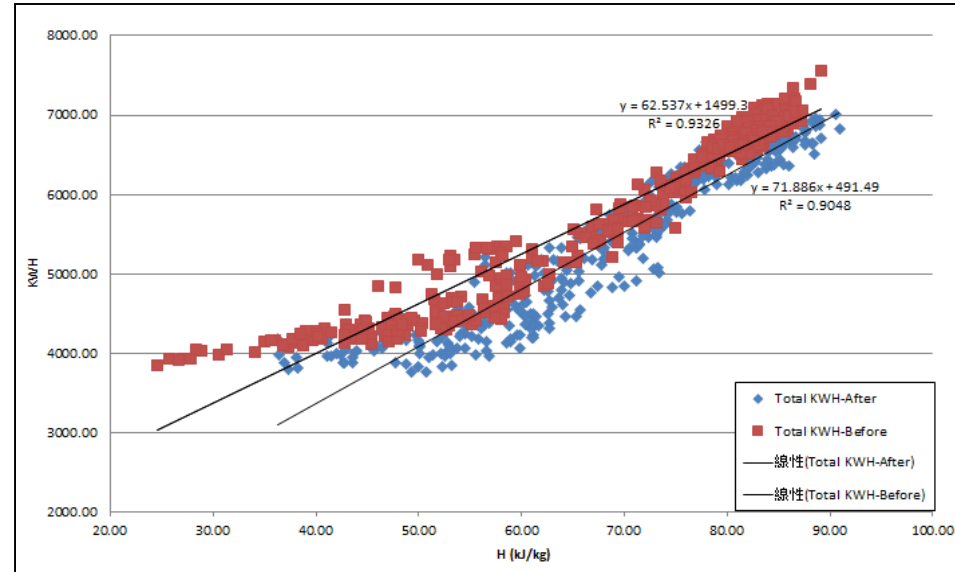
* 依2017.03.01~2018.02.28 運轉
平均冷凍噸約為2,451RT, 節能金額約150萬/年(601,421kW/年)



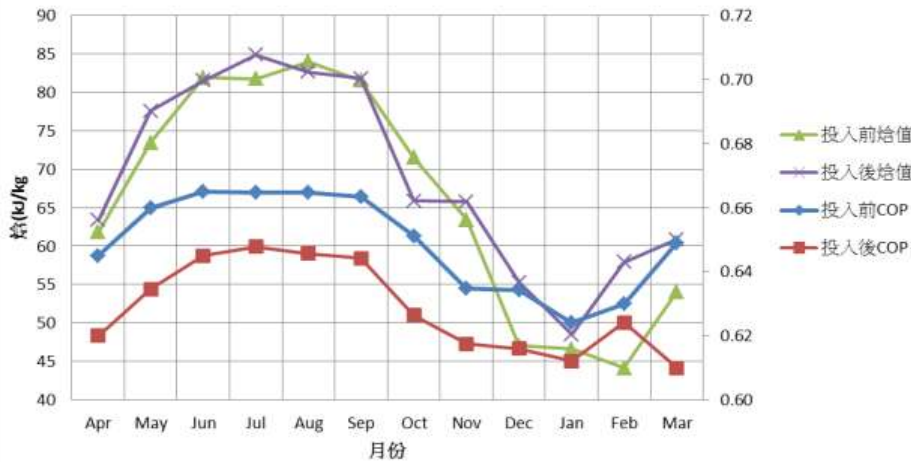
* 依2017.03.01~2018.02.28 運轉
平均冷凍噸約為5,981RT, 節能金額約223萬/年(890,809kW/年)

Benefit – Capex 效益

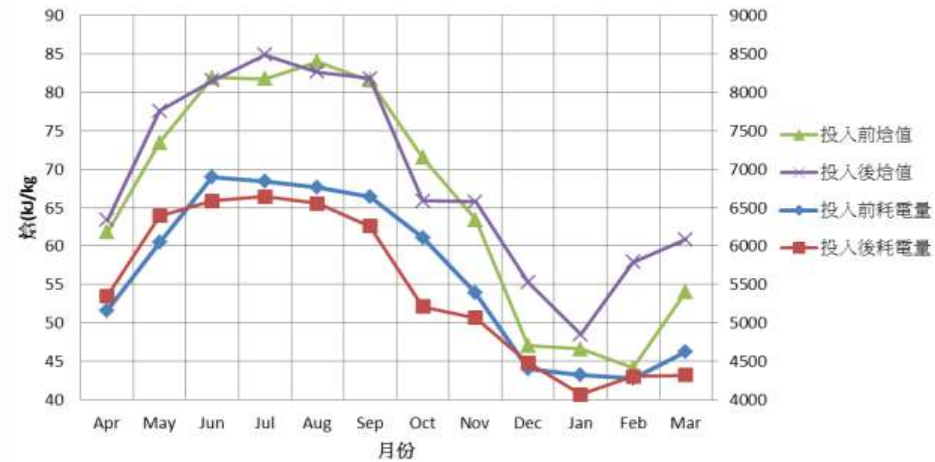
- 智能式冰水系統導入驗證
 - 冷卻水泵運轉點最佳化
 - 冰機負載平衡最佳化
 - 冷卻水塔運轉點最佳化
 - 冰機供水溫度最佳化
 - 管末壓差控制改善
- 年度COP下降**3.1%**
- 降低**1,600 MWH/年**之耗電量
- 節能金額達**400萬/年**
- 實際成果比預估值更加理想



年度冰機COP比較



年度冰機耗電量比較



未來展望

- PHM (Prognostics Health Management) :
 - ✓ Health Index
 - ✓ RUL
 - ✓ 預防性保養規則

