

儀科中心小型智慧光學示範廠區簡介

An Introduction to The Small Cyber-Physical System in ITRC

古文輝、周世傑、黃建堯、丁維平

Wen-Hui Gu, Shyh-Jye Jou, Chien-Yao Huang, Vipin Ting

工業 4.0 以及智慧工廠相關議題在近 5 年來已成為全球熱門話題，本文概述在行政院「生產力 4.0」政策目標下，國家實驗研究院儀器科技研究中心發展虛實整合系統，包括廠區環境智慧監控系統、人員／物件定位追蹤系統、智慧加工系統以及資訊整合等技術內容，並將研發精密光學鏡片製程技術的傳統實驗室改造成小型智慧光學工廠作為驗證測試平台，未來可提供產學研各界作為發展及驗證智慧工廠相關技術之場域。

The issues related to Industry 4.0 and smart factories have become a global hot topic in the past five years. This article outlines the Executive Yuan's "Productivity 4.0" policy objectives about CPS (Cyber-Physical System) and development in ITRC (Instrument Technology Research Center), NARL (National Applied Research Laboratories). The systems were established including the environment monitoring system, personnel/object positioning tracking system, intelligence processing systems, and information integration. The traditional precision optics manufacturing laboratory was transformed into a small-scale CPS as a test and verification platform which will provide services for the field of the smart factories technologies development.

一、前言

自德國工業 4.0 概念提出後，智慧化儼然已是全球製造業生產欲朝向的新目標，所謂的智慧化時代翩然已至，包含產品、設備、生產方式、管理及服務等多方位整合的智慧製造。我國行政院院長於 2015 年 6 月召開之「生產力 4.0 科技發展策略會議」閉幕會議中表示，為因應國內產業所面臨全球競爭轉型壓力及工作人口減少將帶來生產力不足等危機，台灣在此轉折點將藉由「生產力 4.0 (Productivity 4.0 就是 Pro 4.0)」建構典範移轉。「生產力 4.0」政策提出兩大目標與三大主軸方

向，兩大目標第一是由政府帶頭加速產業創新加值轉型與產業加值化；第二是推動完成後，台灣能為國際市場提供嶄新的產品生產與服務。三大主軸方向包括：關鍵技術自主化、擴大複製產業 A-team 模式創造螞蟻雄兵式的競爭優勢，以及產學連結培育人才。會後一個月內將擬定「行政院生產力 4.0 科技發展方案」，以成為行政院推動的科技政策。

德國在 2012 年提出落實「2020 高科技戰略」的十大未來計畫之一，在生產、製程的過程中，整合計算、通訊與控制的虛實化系統，連結物聯網，其核心是由結合 IT 現代科技與傳統工業生產的虛實化系統 (cyber-physical system, CPS) 帶動全球

劃時代的性技術變革。據此，美國啟動「AMP 計畫」進行先進製造研發，目標重新取得國際製造競爭力領先地位；德國推動「工業 4.0 計畫」以虛實合一的製造系統為核心，建構「智慧工廠」；而我國則在 2015 年 6 月於行政院生產力 4.0 科技發展策略會議啟動了本土化的生產力 4.0，重點推動項目包括：

1. 設備智動化：整合科技化硬體及智慧化軟體，藉由虛實化系統，縮短開發、試製、接單時間及提升產品附加價值。
2. 系統虛實化：生產製程中包含虛擬設計分析、感測、控制、資訊交換及生管系統等技術，提高產品效率及良率。
3. 工廠智慧化：工廠以科學方式排定生產流程，導入電子工單、電子看板等功能，提升企業經營績效及競爭力。

因此，生產力 4.0 的核心與成功關鍵在智慧虛實化系統，就開發成本與時效而言，建構小型示範場域作為技術發展與驗證平台便極其必要，為此國研院儀科中心本年度計畫以建構小型智慧示範廠區為目標，可架構於現有實驗設施，佈建核心設施與實驗室，在提供製造與服務過程，整合感測、通訊、計算與控制的虛實化系統，測試驗證智慧工廠形成智慧製造與服務模式，並提供長期蒐集之製程、人員動態與設施數據，供學界發展大數據分析進行廠務整合、生產管理與服務之相關研究。

規劃建置示範工廠的基礎設施作為驗證測試平台，以定位偵測追蹤待加工件在各生產設備間之動線，並以無線路由器回饋訊號之系統主機，為達成示範廠區提供服務的未來性及效益，考量人員、工件移動及設備定位避免追蹤死角，在實體配置上將進行空間調整、生產設備重新定位及相應的周邊設施配合工作，實施步驟包括：

1. 實體系統

初步選定以光學加工生產廠區為驗證測試平台，依據現有加工生產流程為基礎，進行空間調整與基礎設施建置、加工生產設備重新配置，佈建定位偵測器、無線路由器及伺服器，以及設置遠端中央控制室。空間部分將由實驗室型態調整為生產線

型態，設備亦隨工件生產流程及定位感測器偵測解析度進行重新定位，伺服器置於中央控制室，未來可整合廠區生產流程管理系統、工廠智慧化管理系統、設備智能化系統及能源優化管理系統，並連結物聯網，達成智慧製造的目的。

2. 虛擬系統

配合鏡片生產流程管理專案，定義工件與人員動線、管制區域與權限，運用智慧化實驗室管理的 Web 圖控軟體，管理工件傳遞盒內容物資訊、移動路徑、時程限制，以及人員位置資訊，軟體應具備的功能包含：

- (1) 查詢傳遞盒對應之加工工件或產品之位置資訊。
- (2) 查詢傳遞盒到達各工作站之時間紀錄。
- (3) 傳遞盒偏離規劃之排程路徑，系統將自動發出警示。
- (4) 傳遞盒對應之產品如停留超過預定時程，系統自動發出提醒訊息。
- (5) 人員識別證搭配定位標籤卡，偵測定位標籤卡的訊號進行融合運算得出人員位置資訊，將位置資料回傳至伺服器。
- (6) 人員進入管制區域發出警告。
- (7) 可查詢人員進入、離開時間。

3. 能源管理資訊蒐集

針對一般工廠／建物最為耗能之空調、照明、空壓、給排水及進排氣等系統進行智慧型能源優化管理所需之資訊蒐集與統計分析，結合設備開／關機與廠區人員動態所產生的熱源等資訊，作為規劃未來建置「智慧型能源優化管理平台」的重要參考資料。

以下就國家實驗研究院配合政策，概述自 105 年截至目前執行感測器元件模組與智慧虛實整合系統計畫 (sensor element module and cyber physical system program) 中的小型智慧光學示範工廠 (small-scale cyber physical system, CPS) 建置成果，包括環境智慧監控系統、人員／物件定位追蹤系統、智慧加工機台、資訊整合等發展現況。

二、環境與廠務智慧監控系統

近年，人類為了追求生活的舒適度和便利性，使得科技發展極為迅速，對於能源消耗程度之成長亦為快速。且隨著全球能源過度開發而造成國際能源成本的不斷攀升，以及各國因全球暖化而重視節能環保的雙重壓力影響下，促使高電價時代成為未來不可必免之趨勢。因此，若能優化相關能耗系統之運轉能效，使其效益(率)能被「充份／淋漓盡致」之發揮，將可有效減少其電力消費，大為降低能耗成本。

針對光學工廠機台與廠務設施空調、空壓、給排水及進排氣等耗能設備建置環境與廠務智慧監控系統，透過智慧監控系統收集工廠前端相關感測器(含環境感知用感測器：壓力、溫度、濕度與用電量監測)之數據，進而掌握各實驗室環境(水、電、氣等用量)與機台稼動率資訊，藉由用量分析了

解各能源使用狀況，達成能源管理達成節能目標。

圖 1 為監控系統感測器通訊架構，將監控系統涵蓋之實驗室空調、水/氣/電等環境監控資料透過專線網路傳至監控機房的伺服器，可再利用院內伺服器提供雲端服務作數據分析。

圖 2 是監控系統主機顯示的首頁畫面，呈現 2.5D 的示範廠區全景，點選廠區實驗室可顯示圖 3 畫面，內容包括該實驗室設備，以及顯示之設備的壓縮空氣壓力、流量、每月壓縮空氣用量、自來水用量等資訊，圖 4 為廠務相關感測器，包括監控箱、自來水/純水流量表、溫溼度顯示器及壓縮空氣流量計，感測器規格或功能如表 1。

感測器所蒐集之數據均傳至機房監控主機，圖 5 為各實驗室感測器即時監控畫面，可顯示機台設備即時電量統計如圖 6，亦可統計廠區各實驗室及各設備每月用電量如圖 7。

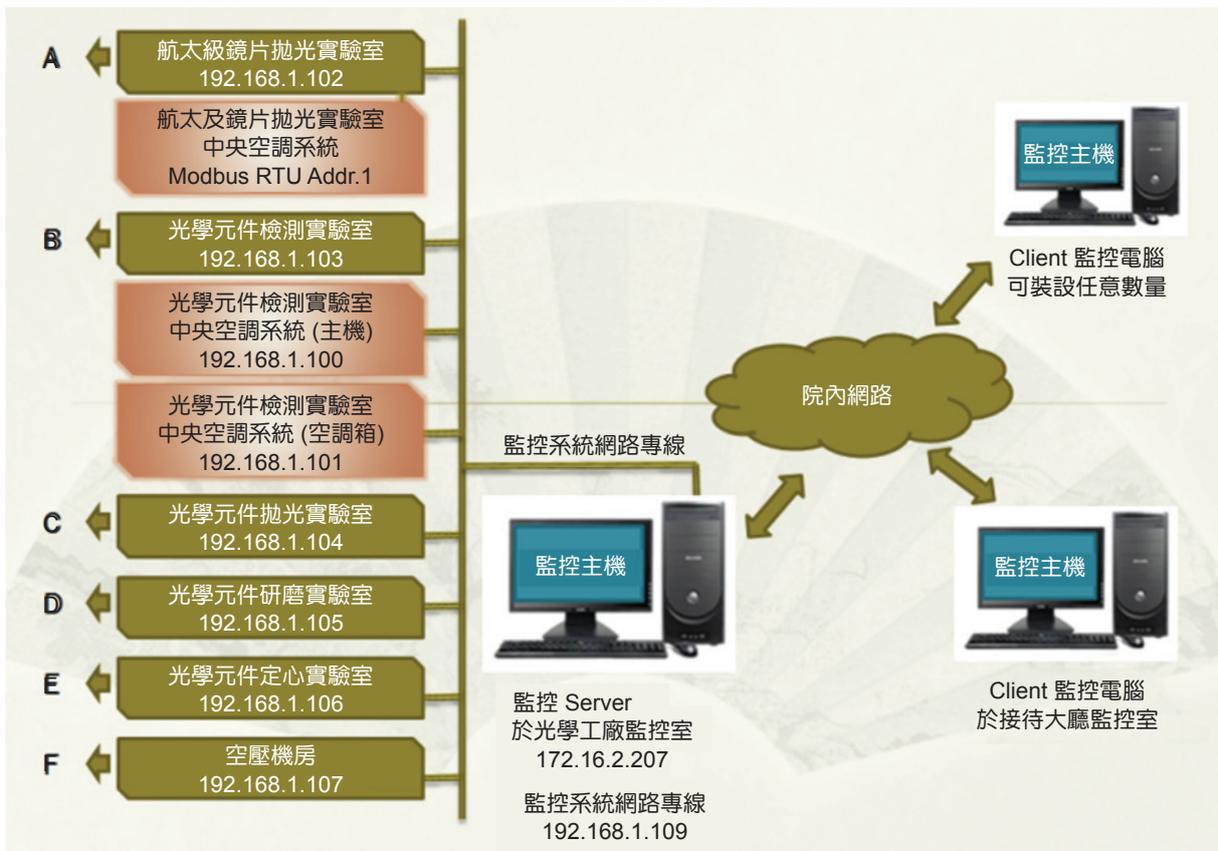


圖 1. 監控系統感測器通訊架構。

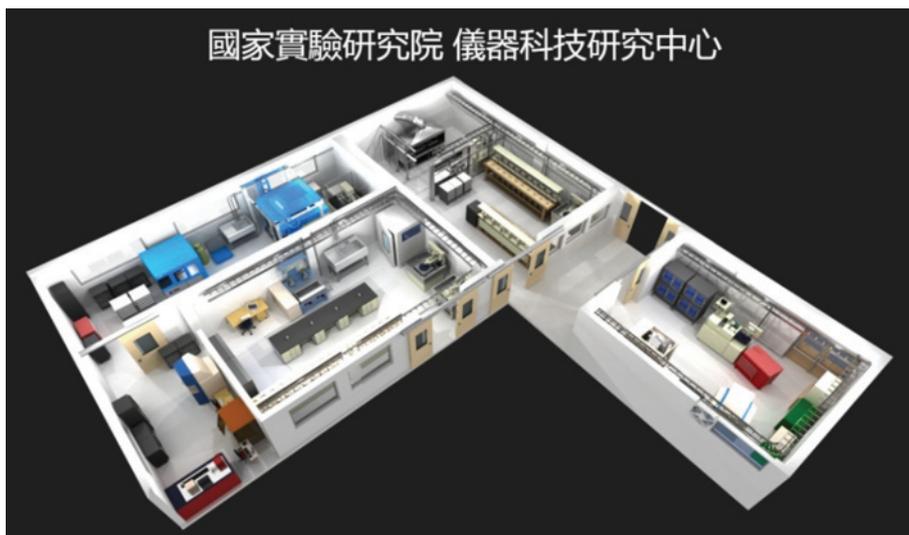


圖 2. 監控系統展示首頁。



圖 3. 監控系統各實驗室展示畫面。



圖 4. 各感測器安裝完成圖，監控箱 (左上)，自來水／純水流量表 (左下)，溫溼度顯示 (右上)，壓縮空氣流量計 (右下)。

未來環境與廠務智慧監控系統發展重點將進行「雲端智慧型能源優化管理平台」之建置開發，其工作目標包含：(1) 發展雲端智慧化空調、(2) 發展雲端智慧化照明、(3) 發展雲端智慧化空壓、(4) 發展雲端智慧化給排水及 (5) 發展雲端智慧化進排氣等管理與控制之平台，該等平台所需之軟硬體設施將全由本計畫自主研發，其內容有硬體之感測器、控制器、驅動器及通訊網絡；軟體之資料蒐集、探勘分析、優化演算及智能化管控邏輯及機制等，更能有效強化各用能設備於運作上之穩定性及效率性，達成整體「能效升級」之綠色永續性目標，提升產業實質競爭力。

表 1. 環境與廠務智慧監控系統之感測器規格。

設備	元件／模組	重點規格或功能
環境與廠務智慧 監控系統	空調監控 PLC Controller	模組功能 <ul style="list-style-type: none"> • 增設空調系統之 PLC 直接數位控制器模組，以整合既有 (全部) 監控訊號，可提供實驗室溫溼度、實驗室瀘網壓差、空調設備啟停狀態、空調設備運轉排程及故障警示等監控功能，並可與中央監控圖控系統做雙向訊號的傳輸。 • 可對空調參數訊號做處理及運算 • 具有 P、PI、PID 運轉邏輯 • 具有故障、告警及保護狀態輸入 • 可多台 PLC 控制串接擴充使用 • 輸入模組可接受溫度電阻信號、4-20mA DC、0-10V DC、常開／常閉／按鈕開關 • 輸出模組輸出信號為類比 4-20mADC、0-10VDC、或數位輸出
	數位多功能集合式電錶	功能 <ul style="list-style-type: none"> • 增設各實驗室空調系統之數位多功能電錶傳訊器，以能提供用電資料 (數據)。 • 至少可傳輸 V, A, kW, kVA, kVAR, PF, kWh 等資訊 • RS-485 Modbus, kWh 精度 0.5% (PF = 1), 3 3W-2CT (夾扣式)
	壓縮空氣壓力計	規格 <ul style="list-style-type: none"> • 測壓範圍：0—15 bar • 精度：+/-0.5% F.S • 訊號傳輸：4—20 mA 或 RS-485 • 飄移量：0.3% F.S/年 • 工作溫度：攝氏 0—55 度 • 工作濕度：0—95% RH (無結露) • 過載壓力：3 xF.S • 破壞壓力：5 xF.S • EMC 抗干擾 • 保護等級：DIN43650 IP65
	壓縮空氣流量計	規格 <ul style="list-style-type: none"> • 熱線式偵測器 • 流量範圍：1—120 立方米/小時 • 最大壓力：max 15 bar • 精度：3% reading + 0.5% F.S • 訊號傳輸：4—20 mA 或 RS-485 • 工作溫度：攝氏 0—55 度 • 保護等級：IP65
	純水流量計	規格 <ul style="list-style-type: none"> • 超音波式，直接安裝於現有管路不破壞既有水管 • 精度：+/-0.5% reading • 訊號傳輸：4—20 mA 或 RS-485 • 工作溫度：攝氏 0—80 度 • IP65 (NEMA4X)
	自來水流量計	規格 <ul style="list-style-type: none"> • 超音波式，直接安裝於現有管路不破壞既有水管 • 精度：+/-0.5% reading • 訊號傳輸：4—20 mA 或 RS-485 • 工作溫度：攝氏 0—80 度 • IP65 (NEMA4X)

感測器即時狀態一覽表 雙擊(Double Click) "即時值" 欄位，可呼叫該感測器的趨勢圖畫面

航太實驗室 | 光學工廠 | 拋光模造實驗室 | ASI實驗室 | 定心成型室 | 空壓機房

名稱	機台	感測器	讀入時間	即時值
1 環境溫濕度1	中央空調系統	GD1000_01	2016-08-03 14:02:52	[溫度: 22.0] [濕度: 54.0]
2 環境溫濕度2	中央空調系統	GD1000_02	2016-08-03 14:02:52	[溫度: 22.3] [濕度: 52.7]
3 風管風量計	中央空調系統	AI01_CH4	2016-08-03 14:02:53	3418.95
4 壓差傳送器	中央空調系統	AI01_CH5	2016-08-03 14:02:53	0.00
5 BTU錶 熱流量[流量:供水溫度:回水溫度]	中央空調系統	BCT6600_09	2016-08-03 14:02:52	0.072 [10.133 : 9.42 : 11.77]
6 CDA壓力計1	空壓管路	BCT38_01	2016-08-03 14:02:47	7.44
7 CDA壓力計2	空壓管路	BCT38_02	2016-08-03 14:02:48	7.28
8 CDA壓力計3	空壓管路	BCT38_03	2016-08-03 14:02:48	7.42
9 CDA壓力計	AIR GUN	BCT38_04	2016-08-03 14:02:49	7.43
10 CDA流量計 1	空壓管路	AI01_CH0	2016-08-03 14:02:53	2.43
11 CDA流量計 2	空壓管路	AI01_CH1	2016-08-03 14:02:53	4.20
12 CDA流量計 3	空壓管路	AI01_CH2	2016-08-03 14:02:53	0.00
13 CDA流量計	AIR GUN	AI01_CH3	2016-08-03 14:02:53	0.00
14 自來水流量計	自來水管路	BCT6600_03	2016-08-03 14:02:53	0.00

圖 5. 感測器即時監控畫面。

系統(S) 感測器(R) 電力系統(E) 空調系統(A) 稼働率(U) 報表(P)

用電量的即時統計

區域	機台	編號	讀入時間	KW	KVAR	本日用電(KWh)	本月用電(KWh)	今年用電(KWh)	累計用電(KWh)	累計無效電力(KVARh)	
1	航太實驗室	中央空調系統	PM01	2016-08-03 14:04:28	14.65	9.08	100.99	456.15	12932.50	13922.89	0.00
2	航太實驗室	磁流拋光機	PM02	2016-08-03 14:04:29	2.09	0.49	26.57	118.15	2833.57	3317.31	0.00
3	航太實驗室	航太級鏡片拋光及檢測系統	PM03	2016-08-03 14:04:30	2.18	0.84	30.80	135.83	3904.36	4681.56	0.00
4	航太實驗室	輪廓儀	PM04	2016-08-03 14:04:31	0.00	0.00	0.00	0.00	296.75	296.77	0.00
5	光學工廠	分離式冷氣	PM05	2016-08-03 14:04:29	2.33	0.19	8.55	45.39	847.34	944.25	0.00
6	光學工廠	分離式冷氣	PM06	2016-08-03 14:04:29	0.00	0.00	2.52	9.04	52.91	61.06	0.00
7	光學工廠	日式六軸拋光機	PM07	2016-08-03 14:04:30	0.17	0.61	0.52	1.75	37.24	48.23	0.19
8	光學工廠	日式十軸拋光機	PM08	2016-08-03 14:04:31	0.00	0.00	0.06	0.24	3.71	5.14	0.16
9	光學工廠	新屋機(研磨機)	PM10	2016-08-03 14:04:32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	光學工廠	雙軸研磨機1(研磨用)	PM12	2016-08-03 14:04:32	0.00	0.00	0.00	0.03	0.57	0.77	0.04
11	拋光模造實驗室	精型冷氣	PM14	2016-08-03 14:04:36	13.33	8.12	71.58	337.05	5292.35	6384.94	0.00
12	光學工廠	單軸拋光機(台製)	PM15	2016-08-03 14:04:33	0.00	0.00	0.00	0.30	11.65	8403.03	0.04
13	拋光模造實驗室	單軸拋光機(日製)	PM16	2016-08-03 14:04:24	0.14	0.27	0.49	1.29	29.98	37.60	0.00
14	拋光模造實驗室	美式雙軸拋光機	PM17	2016-08-03 14:04:28	0.19	0.49	0.54	2.05	22.01	26.68	0.25
15	拋光模造實驗室	新十軸拋光機	PM19	2016-08-03 14:04:28	0.00	0.00	0.15	0.69	15.95	17.64	1.15
16	拋光模造實驗室	單軸拋光機(新台製)	PM20	2016-08-03 14:04:29	0.00	0.00	0.00	1.62	29.81	38.31	0.00
17	拋光模造實驗室	新六軸研磨機	PM21	2016-08-03 14:04:30	0.15	0.29	0.39	2.23	32.10	37.78	0.12
18	ASI實驗室	中央空調系統	PM22	2016-08-03 14:04:36	10.34	5.08	56.49	254.01	5407.76	5434.04	0.00
19	ASI實驗室	空櫃箱	PM23	2016-08-03 14:04:30	4.49	5.32	66.22	293.34	5630.09	6504.36	1.78
20	ASI實驗室	Zygo干涉儀	PM24	2016-08-03 14:04:30	1.34	0.54	20.11	87.34	2174.41	2422.98	368.10
21	ASI實驗室	白光干涉儀NPFLEX	PM25	2016-08-03 14:04:31	0.05	0.07	0.77	3.52	121.34	138.98	0.01
22	ASI實驗室	干涉式干涉儀	PM26	2016-08-03 14:04:32	0.18	0.13	2.17	8.42	138.95	138.98	0.00
23	定心成型室	分離式冷氣	PM27	2016-08-03 14:04:30	2.02	0.32	8.94	37.90	667.45	688.91	0.00
24	定心成型室	分離式冷氣	PM28	2016-08-03 14:04:31	0.00	0.00	0.00	0.00	371.97	420.24	0.00
25	定心成型室	定心機	PM29	2016-08-03 14:04:32	0.00	0.00	0.00	0.00	1.98	8396.14	0.00
26	定心成型室	智慧定型機	PM30	2016-08-03 14:04:32	0.00	0.00	0.00	1.04	50.50	50.50	0.00
27	定心成型室	數控臥式定心機	PM31	2016-08-03 14:04:33	0.13	0.12	1.91	8.47	227.40	274.03	0.00
28	空壓機房	光學空壓機	PM32	2016-08-03 14:04:30	7.97	8.02	123.41	545.09	7219.99	13992.82	0.01
29	空壓機房	結構空壓機	PM33	2016-08-03 14:04:30	8.01	9.11	66.85	279.29	5005.99	9377.27	0.15
30	空壓機房	模造空壓機	PM34	2016-08-03 14:04:34	4.99	4.74	79.02	352.46	5751.62	10424.41	0.03

圖 6. 機台設備即時電量統計。

三、人員/物件定位追蹤系統

1. 定位技術

定位技術是以光學加工生產流程為基礎，進行空間調整與基礎設施建置、加工生產設備重新配置，佈建定位偵測器、無線路由器及伺服器，以及設置遠端中央控制室。空間部分將由實驗室型態調

整為生產線型態，設備亦隨工件生產流程及定位感測器偵測解析度進行重新定位，伺服器置於中央控制室，示範廠區佈建 100 組定位感測器，其中包括 60 組藍芽定位器佈建於天花板與機台上，與人員與玻璃物件傳遞盒配置 40 組藍芽標籤卡，採用藍芽 (Bluetooth) 4.0 技術與完成定位解析度 3 公尺，與持續進行系統穩定性分析。廠區佈建定位偵測器

編號/日期	08-01	08-02	08-03	08-04	08-05	08-06	08-07	08-08	08-09	08-10	08-11	08-12	08-13	08-14	08-15
PM01 航太級鏡片藍光中央空調系統	178.30	175.64	101.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM02 磁洗鏡片藍光	45.63	45.62	26.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM03 航太級鏡片藍光	52.41	52.24	31.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM04 精裝運	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM05 光學元件研磨分磨式冷庫2	17.57	19.28	8.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM06 光學元件研磨分磨式冷庫3	4.25	2.27	2.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM07 日式六聯鏡光機	0.12	1.11	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM08 日式十連鏡光機	0.08	0.11	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM09 研磨機研磨機(研磨機)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM10 研磨機研磨機(研磨機)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM11 研磨機研磨機1(研磨機)	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM12 研磨機研磨機(研磨機)	0.21	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM13 研磨機研磨機(研磨機)	143.33	122.13	72.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM14 研磨機研磨機(研磨機)	0.80	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM15 研磨機研磨機(研磨機)	0.64	0.88	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM16 研磨機研磨機(研磨機)	0.25	0.29	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM17 研磨機研磨機(研磨機)	0.81	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM18 研磨機研磨機(研磨機)	0.92	0.92	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM19 研磨機研磨機(研磨機)	100.09	96.61	57.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM20 研磨機研磨機(研磨機)	114.15	112.14	66.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM21 研磨機研磨機(研磨機)	33.16	33.82	20.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM22 研磨機研磨機(研磨機)	1.43	1.31	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM23 研磨機研磨機(研磨機)	2.56	3.67	2.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM24 研磨機研磨機(研磨機)	16.94	12.02	9.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM25 研磨機研磨機(研磨機)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM26 研磨機研磨機(研磨機)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM27 研磨機研磨機(研磨機)	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM28 研磨機研磨機(研磨機)	3.27	3.26	1.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM29 研磨機研磨機(研磨機)	210.49	209.77	124.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM30 研磨機研磨機(研磨機)	105.38	106.30	67.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PM31 研磨機研磨機(研磨機)	137.99	134.55	79.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

圖 7. 光學廠區設備用電量月報表畫面。

示意圖如圖 8，感測器重點規格如表 2。

2. 定位測試

測試人員將標籤卡拿在手上，並行走於光學生產廠區，同步使用平板或智慧型手機進行定位精準度測試，如圖 9，透過智慧監控系統收集工廠前端

相關感測器 (定位感知用感測器：藍芽、Wi-Fi) 之數據，透過物件傳遞盒上與人員懸掛的藍芽定位標籤之感測數據，進而精確的掌握物件與人員的時間與地點紀錄資訊，藉由定位資訊分析生產流程狀況與人員動線記錄，達成鏡片生產流程管理與人員安全管控目標。

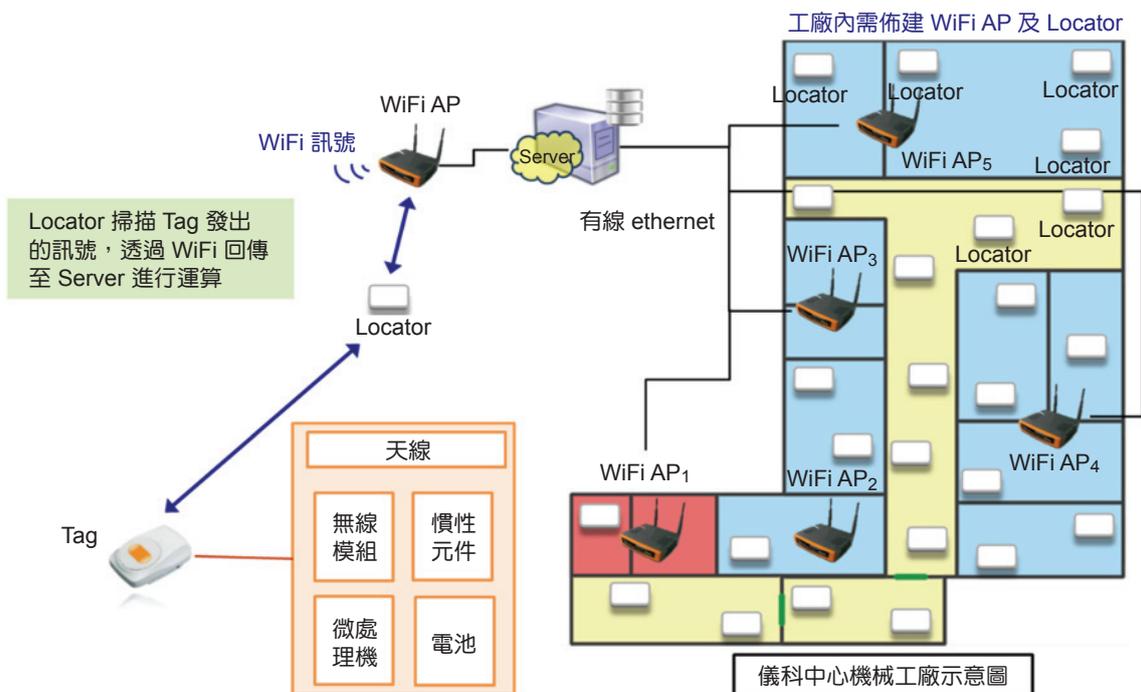


圖 8. 廠區佈建定位偵測器示意圖。

表 2. 人與物件定位追蹤系統感測器規格。

設備	元件／模組	重點規格或功能
人與物件定位追蹤系統	藍芽感測器	<ul style="list-style-type: none"> • 工作電壓 5V，操作環境溫度 -40-85 (c) • 靈敏度 (最佳) -93(dbm) • RX 電流 (最低) 17.9 (毫安)，待機電流 0.5 (毫安) • 精度：平均誤差 3 m，量測距離 10-15 m • 六軸慣性元件校正，靈敏度 -93 dBm • 監控管理機制，排程規劃，通報機制 • 資料庫數據統計分析

四、智慧加工機台

光學玻璃元件產線為一高精度製程，其表面形狀精度規格要求通常為次微米等級，且從塊材切割直到組裝測試製程，如圖 10 所示，其前製程對後製程的影響顯著，如成形製程若殘留較深的次表層破壞，在後製程的研磨與拋光製程就得花費數倍時間移除次表層破壞，或是研磨製程若沒有完全去除光學元件表面缺陷，後續完成拋光後才檢測出缺陷，就得重新回到研磨製程將缺陷去除；此外，光學玻璃元件產線涵蓋切割、成形、研磨、拋光、鍍膜、組裝等各種不同程序及其對應的設備，種類繁

多，且產線中包含先進 CNC 設備以及傳統加工設備和人工檢測等各程序，因此適合透過本文中所述之人與物定位、廠務環境條件監控、電子檢查表單雲端化以及本節所述之智慧機台等生產力 4.0 相關技術，來提升光學玻璃元件產線良率與產能。

在智慧機台技術方面，我們先以車削定心系統為例，將其升級為智慧機台，車削定心系統定心原理是調整系統組裝程序，先將鏡片與機構結合，再進行車削定心製程，如此一來，組裝程序所引入的偏心誤差，將在車削製程中消除，對於外徑 200 mm 光學模組，採用車削定心製程可將偏心誤差降至 10 角秒 (arcsec)。

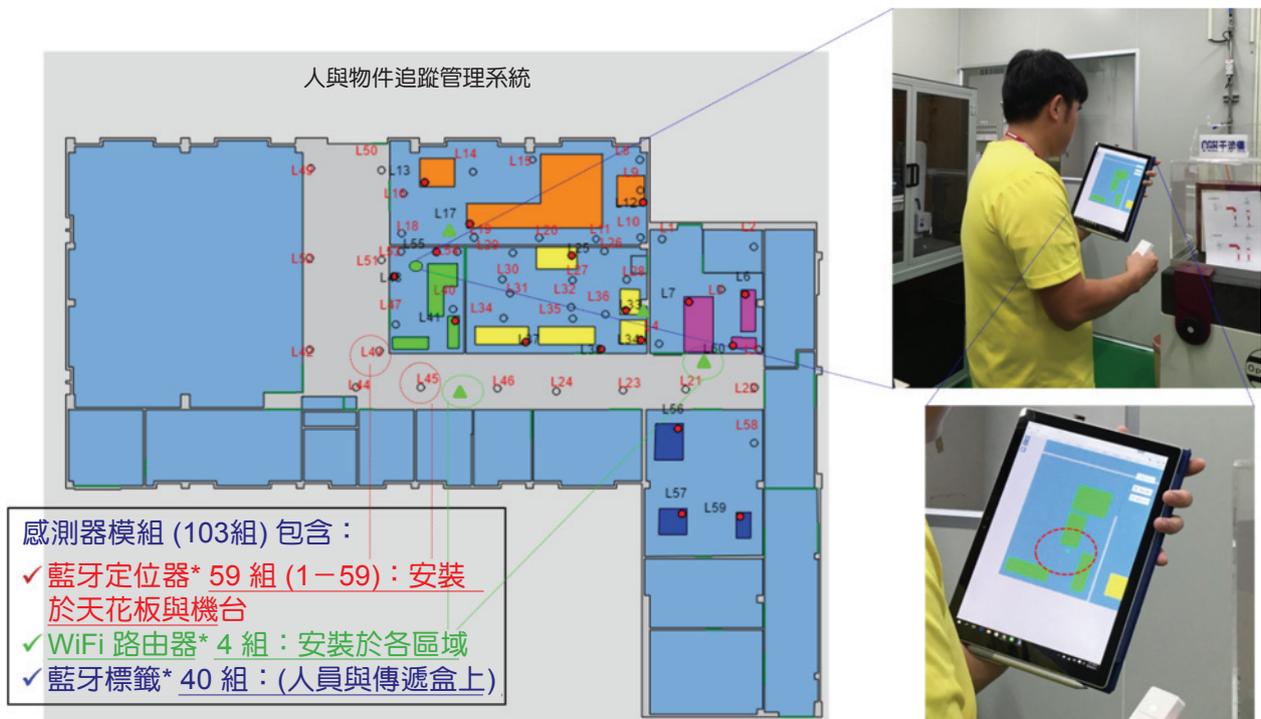


圖 9. 以平板測試廠區定位追蹤訊號強度。

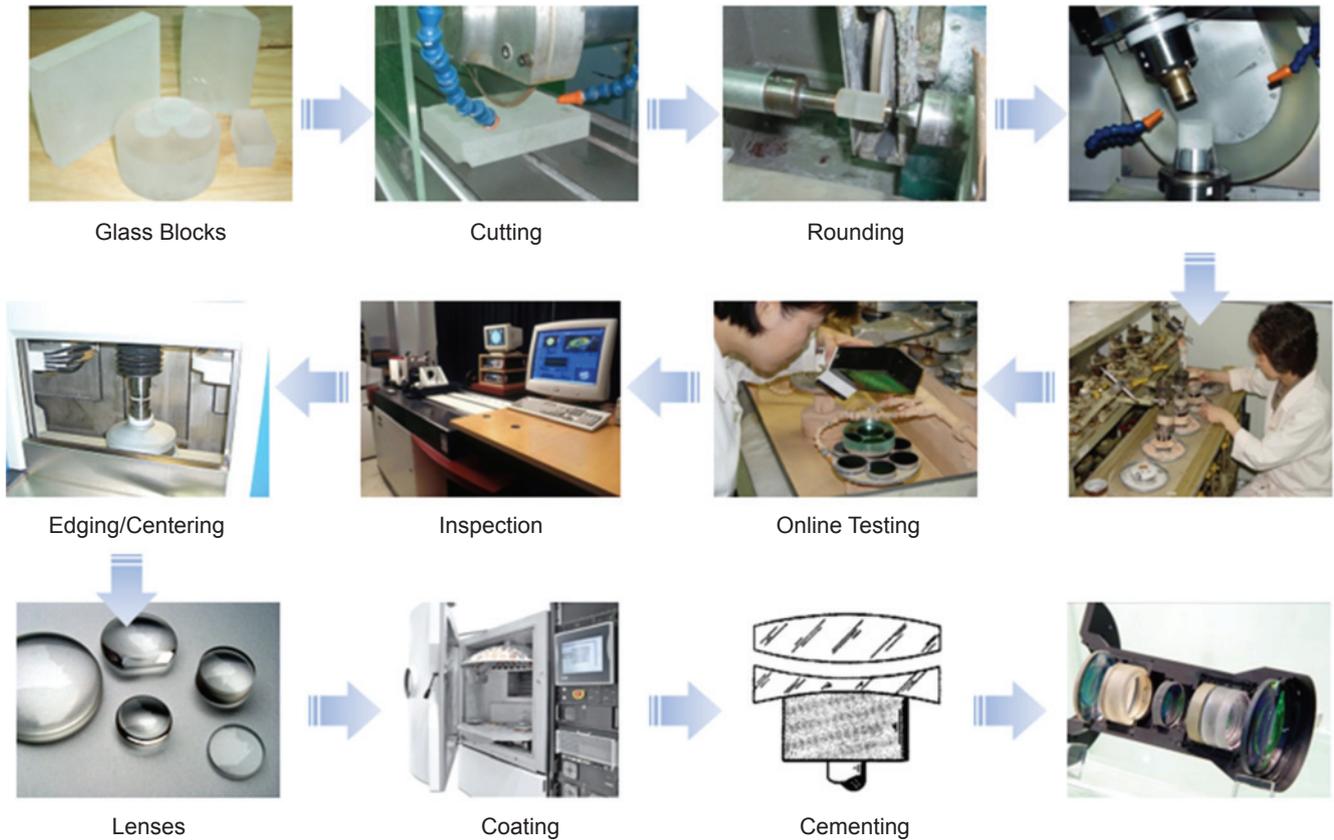


圖 10. 光學元件製作流程。

車削定心系統之轉台使用液靜壓軸承，液靜壓軸承間隙充填液壓油，在其軸承運轉時，液壓油會因摩擦與剪切力作用而升溫，導致轉台溫升變形。此外，轉台下方之馬達運轉時，所產生之熱亦會造成轉台變形，目前雖已對轉台以及馬達配置循環冷卻裝置，但對於高精度的車削定心系統而言，微小的變形量亦會造成鏡組加工品質下降。因此，我們

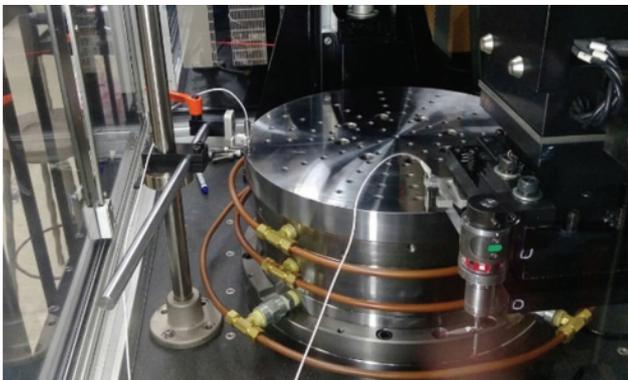


圖 11. 位移計架設。

對液壓油的溫升進行分析，探討油溫與轉台變形量關係，變形量透過電容式位移計監控，圖 11 為電容式位移計架設。

液靜壓轉台針對軸承與馬達各有一套冷卻系統，預計監控油溫的溫度感測器位置分布如圖 12 所列，其中 T-1 監控加工環境溫度，T-2 監控轉台出油口油溫，T-3 監控轉台入油口油溫，T-4 監控馬達入油口油溫，T-5 監控馬達出油口油溫，溫度與位移計資訊將同步紀錄，以評估油溫對轉台溫升變形的影響。轉台運轉時需一段時間液壓油溫方能達到穩定的溫度，這段期間並不適合進行精密加工。因此，我們將探討不同轉速下，轉台的溫升變形影響，以及溫升穩定的花費時間，並嘗試縮短穩定時間，以增加加工效率。圖 13 為量測結果，可明顯看出 200 rpm 高轉速時，轉台出油口油溫明顯上升約 5 °C，轉台的位置也明顯上升約 6 μm，由量測結果可得知高轉速時，轉台穩定運轉所需時間，以及轉台位置變化量，可供加工參數設定時參

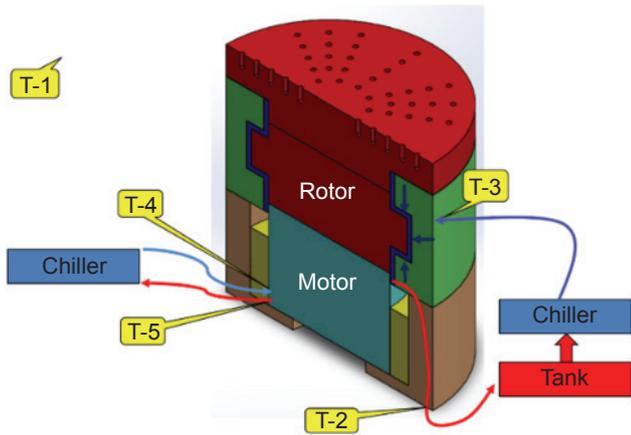


圖 12. 使用液靜壓軸承之轉台。

考。

為蒐集智慧車削定心系統狀態，在其設備本體與周邊設定相關感測器，如圖 14 所示，包括振動、溫度等感測器，亦整合聯發科之 LinkIt ONE 無線感測器，透過其無線傳輸特性，使感測器佈建之自由度更高，圖 15 為資料分析介面，畫面左側為各感測器狀況，可設定警報上下限，超出範圍即會自動傳輸訊息通知相關人員，除了可即時監控外，亦定期自動儲存量測結果作為生產履歷資料，

圖 15 畫面右側為鏡組偏心率測程式，可自動讀取定心系統轉速及位置等參數，進而計算出設備上之鏡組偏心率數值，此量測模組是由儀科中心自行開發之自準直儀與其量測介面。

精密光學元件產線設備種類多，導入生產力 4.0 相關技術，除了可線上監控廠務狀態、設備狀態以及人與物流程資訊外，亦可將所有資訊納入資料庫作為生產履歷，此外，線上尺寸檢測系統或是出站之品保系統，可即時回饋設備加工狀態，例如監控研磨砂輪磨耗趨勢，可供操作人員判斷是否提前更換砂輪，以避免良率降低；而廠務水氣電監控以及設備狀態監控，可使操作人員確認加工環境是否恰當，以維持加工品質穩定。將生產力 4.0 導入光學元件產線，預期可協助操作人員掌握產線與設備狀態，優化加工參數，提升產品良率與生產效率。

五、資訊整合

當智慧工廠各模組逐步建置完成，感測器佈滿整個廠區各實驗室角落，它不斷地回傳即時數據回伺服器，數據化後的資料隨著時間一分一秒不斷地

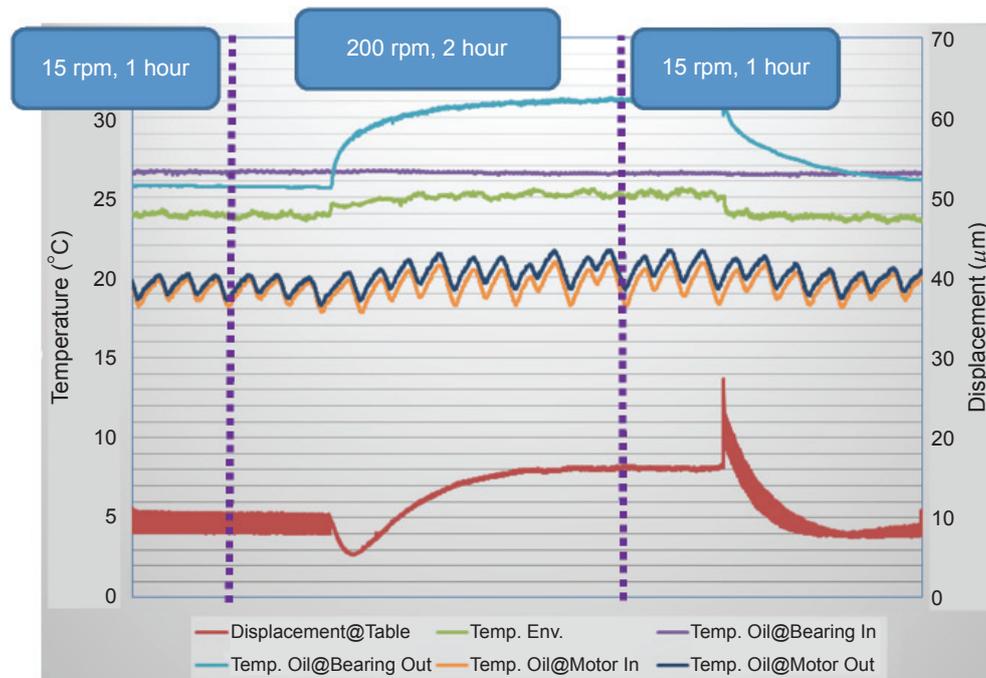


圖 13. 轉台油溫與轉台位移關係圖。

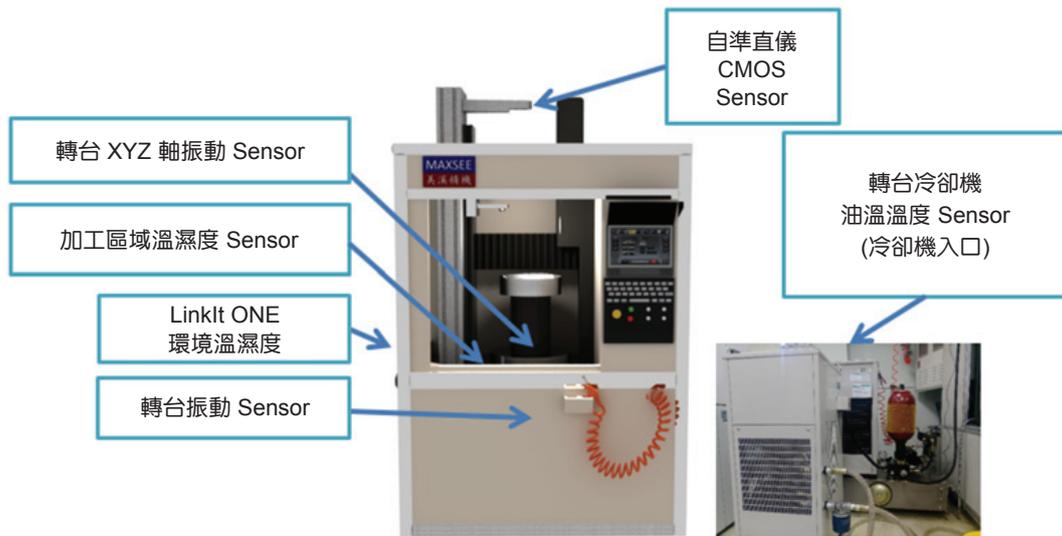


圖 14. 智慧定心系統感測器佈建。

增長，並不會因為設備停機或休假日而停止收集。以往資料採集與監控系統 (supervisory control and data acquisition, SCADA) 採集後的資料，透過人機介面 (human machine interface, HMI) 進行操作後即丟棄，而這些看似一般的連續性數據資料，其實隱藏許多工廠營運上的秘密。

如何運用這些數據資料，探索生產環境中從未發現的環節，首先面對的挑戰就是大量數據資料存儲技術及數據彙整分析能力，從大量數據資料如何被儲存、以何種型態儲存、儲存在何處，以及讓看似獨立數據資料如何被萃取、轉換、載入後，讓它們之間導出時間前後過程及感測器之間互相關係，

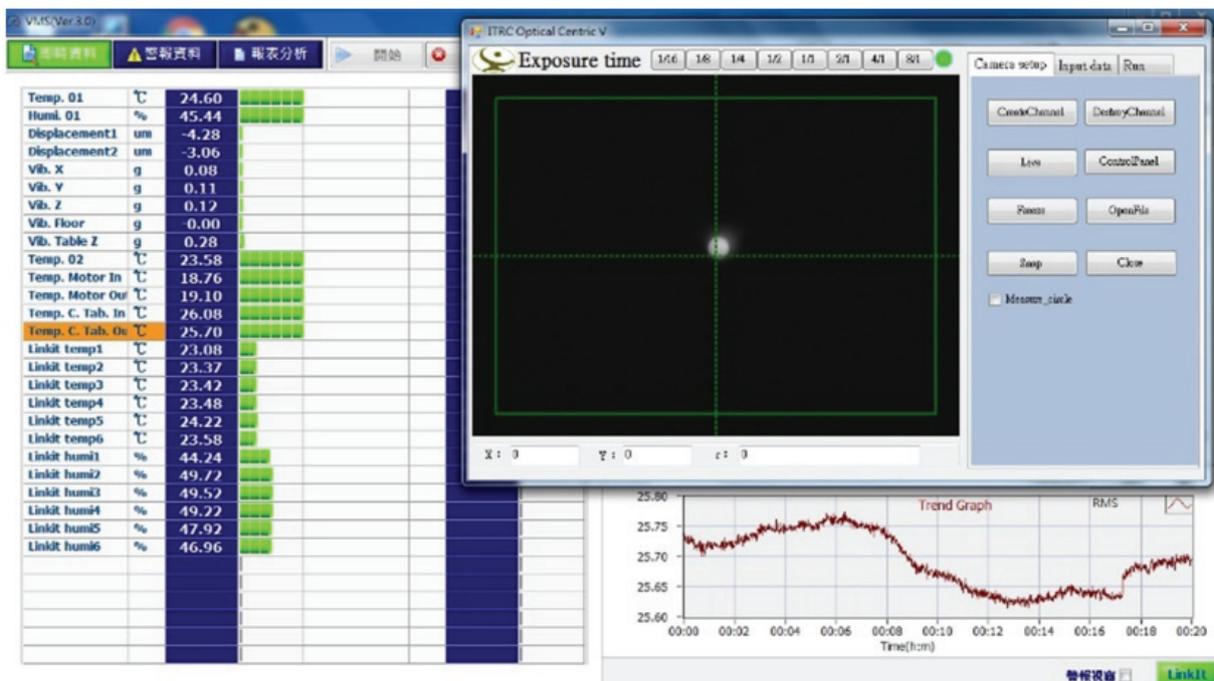


圖 15. 智慧定心系統監控介面。

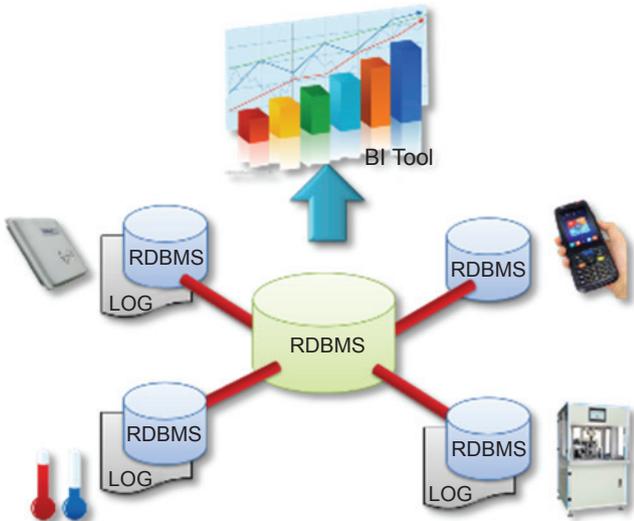


圖 16. 整合各子系統資料庫架構。

最後再以圖表、色彩、線條…等圖像方式述說光學工廠發展成智慧工廠的故事。

在大數據及分析平台尚未建置完成前，智慧工廠的資料整合平台規劃了資料實體層、邏輯計算層及資料展示層：

資料實體層

智慧廠房各模組或各機台設備皆有不同媒體儲存型態，各自存放於模組伺服器內，存放平台有 MySQL、PostgreSQL、MS SQL Server 及 Log 檔案。我們規劃了關聯式資料庫，將各模組的資料集中存放於此，以避免直接衝擊各模組伺服器。

邏輯計算層

將平凡無奇的原始資料 (raw data)，經過萃取、轉置及載入 (extract-load-transform, ETL) 後保存在資料庫中，此時的資料已具備時間、座標位置、距離…等特性，以利資料展示層利用，並加速計算效能。

資料展示層

建置商業智慧 (business intelligence, BI) 伺服器，利用設計工具依據資料屬性，快速的佈置出足以分析用的圖表。

以商業智慧工具軟體串連各模組資料庫，利用資料庫結構化查詢 (structural query language,

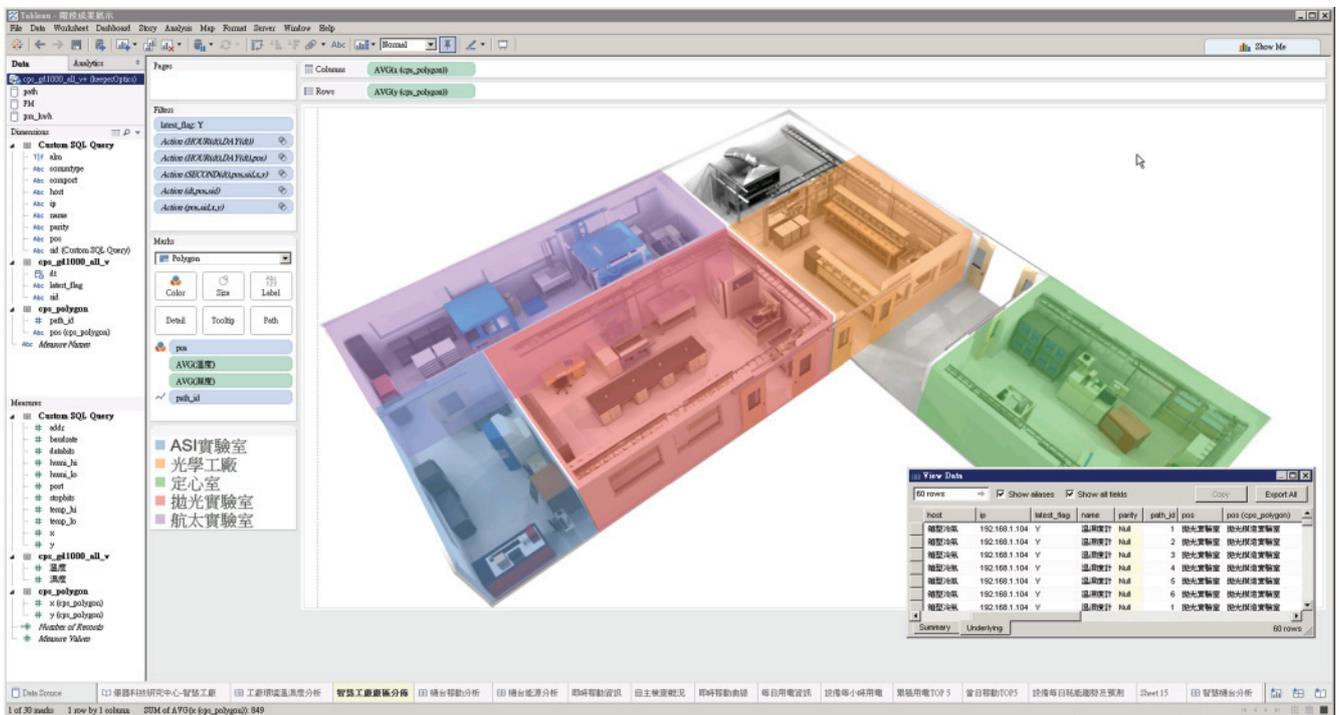


圖 17. 使用 BI 工具建立廠區實際使用情境看板。

智慧工廠廠區分佈

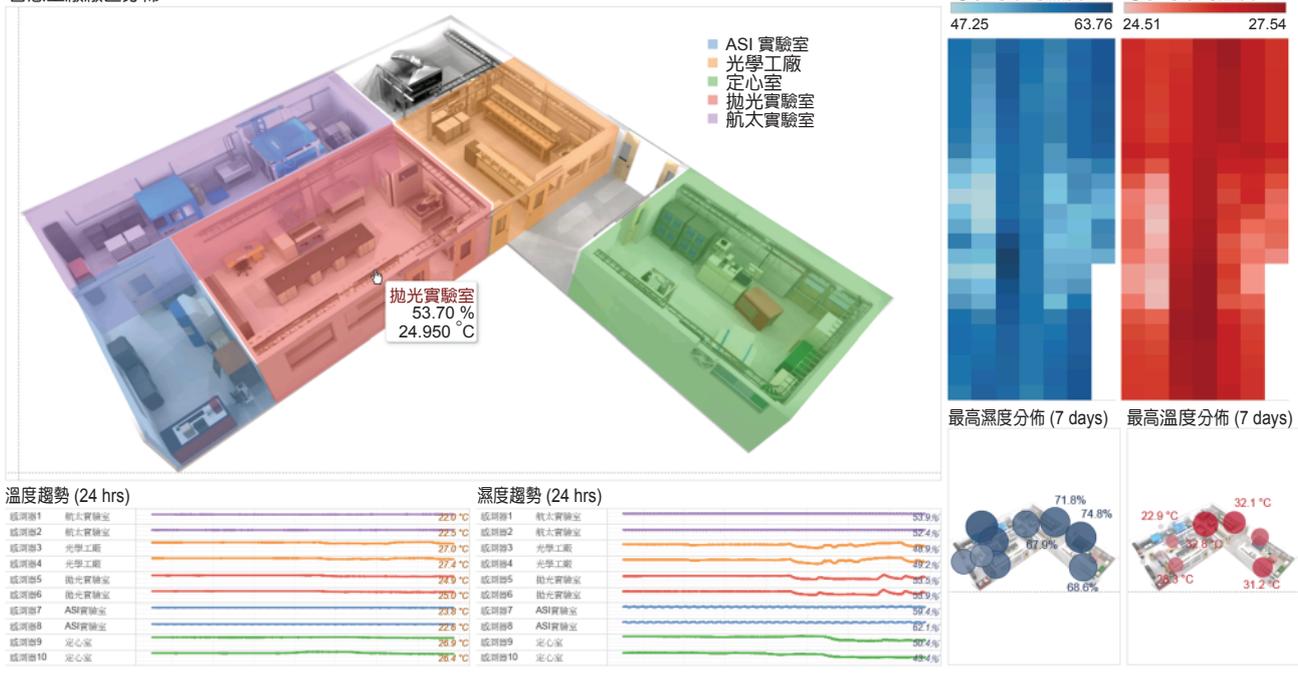


圖 18. 廠區環境溫溼度監控數據統計。

SQL)，預先彙整統計部份數據，再製作出符合廠區實際使用情境之看板 (dashboard)，如圖 17。

以環境溫濕度監控數據為例，我們製作了「廠區各實驗室即時平均溫濕度」廠區分佈圖，如圖 18，搭配各感測器「24 小時內溫濕度趨勢」及「七天內每小時平均溫濕度」交錯參考，圖下為各實驗室 24 小時溫度及濕度變化，點選實驗室可於圖右上顯示每小時平均濕度及溫度，圖右下則顯示廠區 7 日最高溫度及濕度分布位置。

我們關心設備能源使用情況，彙整出每日用電資訊，如圖 19，並可預測未來數日之用電情況，以及檢討高耗能設備，圖左上為廠區當日用電量狀態，用電越高紅點越大，圖上中顯示用電尖峰狀況，圖右為用電量前五高的設備，圖下則為設備每日耗能趨勢。

透過電錶控制器取得即時用電資訊，並以廠區平面配置圖呈現設備稼動情況，如圖 20，左上顯示設備稼動資訊，包括保養中 (淺橘)、待機中 (藍)、停機 (橘) 及運作中 (綠)，左下顯示即時稼動狀態，圖右下則為當日稼動前五高的設備。

我們所建置之各項看板 (dashboard)，以符合智慧工廠實際情境並提供相關人員快速取得即時及歷史資訊為主要目標，可作為未來大數據分析平台建置之參考。未來透過大數據分析平台，計算出最佳參數及趨勢並回饋至智慧工廠，得以提升廠區生產環境品質穩定。

六、結論與未來發展

生產力 4.0 是國家長期發展的重要政策，本文僅就國家實驗研究院儀器科技研究中心建置智慧工廠及相關技術發展的現階段成果做一概述，短期將以建構小型智慧示範廠區為目標，可架構於現有實驗設施，佈建核心設施與實驗室，整合感測、通訊、計算與控制的虛實化系統，測試驗證智慧工廠形成智慧製造與服務模式，並長期蒐集之製程、人員動態與設施數據，可提供學界發展大數據分析進行廠務整合、生產管理與服務之相關研究。未來將可整合廠區生產流程管理系統、工廠智慧化管理系統、設備智能化系統及能源優化管理系統，並連結物聯網，達成智慧製造的目的。

智慧工廠廠區分佈

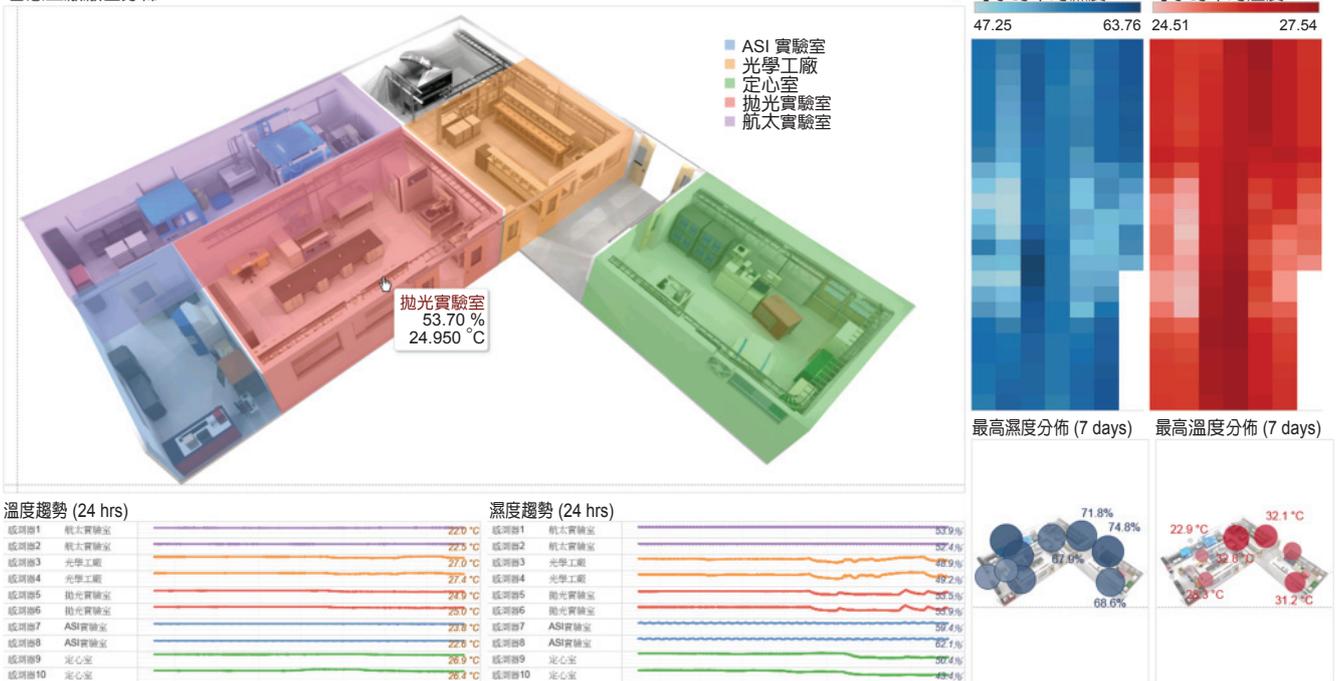
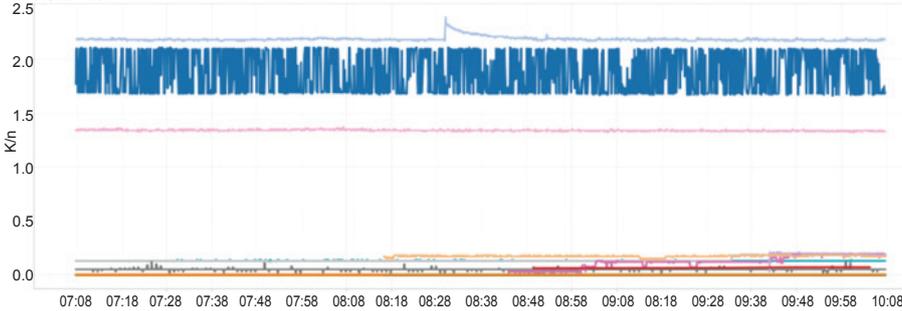


圖 19. 廠區及設備用電統計。

即時稼動資訊



即時稼動曲線



自主檢查概況



當日稼動 TOP5

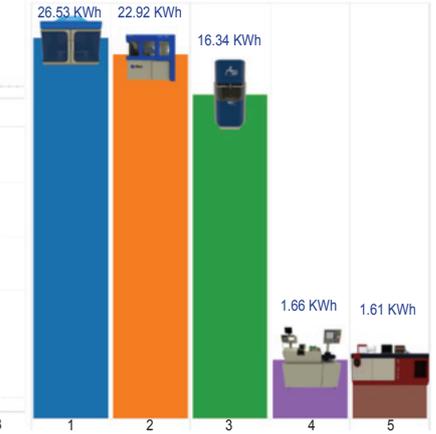


圖 20. 設備稼動與能耗看板。

參考文獻

1. 行政院生產力 4.0 發展方案核定本，104 年 9 月。
2. 科技部國家實驗研究院感測器元件模組與智慧虛實整合系統計畫。



古文輝先生為台北科技大學電機工程系學士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理工程師。

Wen-Hui Gu received his BS in the department of electrical engineering from National Taipei University of Technology. He is currently an assistant engineer at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



周世傑先生為國立雲林科技大學電機工程碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副工程師。

Shyh-Jye Jou received his MS in the department of electrical engineering from National Yunlin University of Science and Technology. He is currently an associate engineer at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



黃建堯先生為國立交通大學機械博士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副研究員。

Chien-Yao Huang received his PhD in the department of mechanical engineering from National Chiao Tung University. He is currently an associate researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



丁維平先生為雲林科技大學資管系學士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理工程師。

Vipin Ting received his BS in the department of information management from National Yunlin University of Science and Technology. He is currently an assistant engineer at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.