



由智慧排程打造協作供應鏈 迎戰智慧製造新世代

文 塔台智能網絡股份有限公司技術團隊 官大鈞、鄒宜廷

智慧製造產業現況與發展藍圖

近年在工業4.0的發展趨勢下，全球工業大廠及國內製造產業均紛紛投入智慧製造，甚至智慧工廠生態系的佈局 [1]。隨著COVID-19疫情對全球產業的衝擊，加速帶動數位轉型的迫切需求。疫情前期受限於供應鏈斷鏈及人流管制等因素，各企業改為遠

距工作的新型態營運管理模式。對於製造業，遠距工作使廠內大幅縮減人力配置，進而遲緩生產製造與配送的進度，導致生產與庫存管理複雜度的增加，以及排程混亂 [2]。後疫情時代下，為因應訂單的快速且大量增加，如何彈性應對大量訂單的需求，並有效調配生產排程更是通往智慧製造之路的必要



*圖片繪製資料參考：資策會工業策進會 數位轉型研究所 智慧製造共通的挑戰與發展藍圖(2019)

圖1. 智慧製造發展藍圖

關鍵因子。同時，在面對少量多樣的需求市場下，現行的印刷電路板（Printed Circuit Board, PCB）及半導體製程工序流程趨於精密化與複雜化。

高度精密複雜的製程工序現況，使管理階層更需仰賴智慧動態排程系統串接企業資源規劃系統（Enterprise Resource Planning, ERP）的歷史數據，並同步連動製造執行系統（Manufacturing Execution System, MES）的廠內即時數據，提升流程的管控與人員的彈性調度，及提高設備稼動率，達到產能利用率最佳化。依據資策會的智慧製造發展藍圖（圖1），智慧動態排程可說是智慧工廠生態系下串接全廠各環節的中樞系統。現今，智慧動態排程系統的重要性如同智慧工廠的大腦，掌控著廠內外的生產、配送與調度，與企業成本支出息息相關。以興普科技導入SARA智慧排程系統的實際案例說明智慧動態排程如何降低成本及提高設備稼動率達到生產效率最佳化。

成功案例案例探討 - 興普科技

公司簡介

興普科技股份有限公司成立於2001年，台灣在印刷電路板的產值已達全球第一，卻獨缺少量多樣的專業生產背景下，基於市場迫

切需求所應運而生 [3]。因應少量多樣的訂單需求，製程工序趨於高度精密化與複雜化以面對高度客製化的製造現況，興普以提高品質與生產效率為目標使製程最佳化 [4]。

導入前的需求

興普過去專精於樣品生產，主要客戶需求為樣品單。疫情影響下，客戶的轉單效應使樣品單與量產單均大量湧入。因大量急單的需要，資源的負荷量急速增加30%。同時，由於各類資源分佈於不同單位，且無系統自動串接資料的條件下，各單位人員無法即時掌握資源及執行的現況，僅倚靠電話或口頭的詢問，易造成跨部門間的資訊落差，導致急單準交率與產能效率無法有效提升。

興普智慧製造流程說明

興普科技現有的SARA自動排程可於每2小時全廠自動重排，並每10分鐘依現場執行回報狀況更新排程（圖2）。為使跨部門間減少無效等待時間、大幅提升資訊掌握度，將現有製造部門自動排程的範圍向前延伸至工程部門，一同納入協作式智慧排程（圖3）。SARA自動排程可透過彈性的資料結構，串接工程部門之訂單（含優先度與交期）、製程工作流程、標準工時、可用資源（含工作日及班表）（表1）。



圖2：現有自動排程運作流程圖

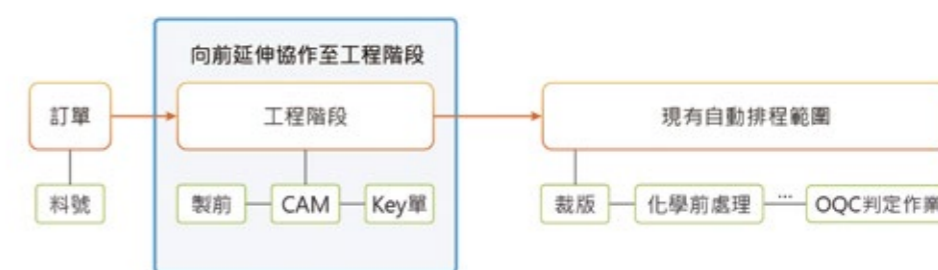


圖3：自動排程延伸串接工程階段示意圖

表 1：自動串接製程流程與資源規劃（表列數據已經去識別處理僅供示意參考）

製程名稱	工序流程	站點	需求資源	可用資源	預估工時
製前預覽	1	工程	operator	OP_01、OP_02、OP_03	78 分鐘
CAM1	2	工程	operator	CAM_01、CAM_02、CAM_03	120 分鐘
Key 單	3	工程	operator	OP_04、OP_05、OP_06	35 分鐘
審單	4	工程	operator	OP_07、OP_08、OP_09	20 分鐘
CAM2	5	工程	operator	CAM_01、CAM_02、CAM_03	120 分鐘

以下藉由細部流程說明興普如何導入SARA智慧排程系統達到生產管理端資料的自動串接，並連動現場執行端作業協作，實現協作式智慧製造。SARA智慧排程系統（以下簡稱系統）的工作流程依序為資料處理、資料運算及資料呈現。

快速整合全廠數據

於資料處理階段，藉由系統預先模擬建構的統一標準化資料模型，如工單模型、製程模型、資源模型和站點模型（資源所屬的單位）等，建立數據整合的自動化標準作業流程（Standard Operation Procedure, SOP）以及自動化資料匯入管線。系統將工單或產品料號的歷史資料轉譯為工序流程，並與資源（機台設備或人員等）進行配對。數據整合與資料匯入的過程，生管部門可同時評估資料的正確性，快速達到各類資料（如工單、製程與資源等）的盤點。藉由**系統快速整合資料，人員同時輔助偵測**，此協作過程可**大幅降低人工作業成本**，以及有效掌控資料的正確性與最新狀態。

提升資料整合的速度，以及人機協作的效率，為數位轉型的要件。然而智慧製造更需要的是輔助決策**預測**的能力。系統透過已預

先建立的資料模型進行即時運算分析，立即推估各工序的預估工時，並動態結合已知事件（如人員加班或機台維修）、進行中工作事件，及突發性事件（如急單插單或機台異常）即時告警。藉由**預測工時**以及**動態因應事件**的智能優化過程，生管與廠內的執行可大幅**減少場內外協調的時間成本，提升作業的效率與精準度**。

系統的資料處理架構採用PostgreSQL資料庫，以及Celery分散式工作佇列系統處理非同步作業可提升運算效能與彈性。系統自訂的資料模型架構可對應不同資料的顆粒度使分工更為明確。製程與工單的脫鉤則有助於提升資料模型運作的彈性及穩健度，使資料前處理的錯誤率降低，以防造成垃圾進，垃圾出（Garbage in, garbage out, GIGO）的結果。排程運算與資料呈現的脫鉤則提供使用者透明且便捷的資訊流，使生管能更即時掌控全廠生產狀態。

藉由全廠數據的整合，提升資訊同步率，以及生管對興普多製程工序的掌握度。在興普的高階PCB製程規則限制下（圖4），系統可同時滿足高階製程規則，並快速運算排程結果。

- 考量顏色、尺寸等不同參數的**站點排程規則**
- 混合各製程不同生產型式 (**離散型Discrete / 流水線Line**)
- 訂單交期與成本等之**多目標最佳化**
- 具**時效性**的前後相關製程 (**品質 / 成本考量**)
- **一人顧多機**的現場作業提示

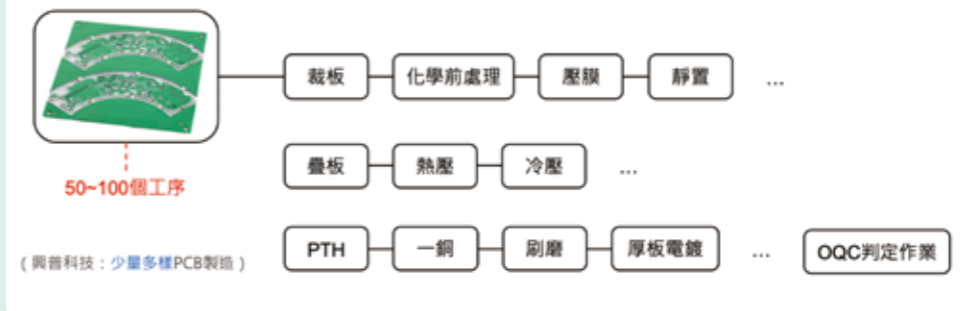


圖4：興普科技高階PCB製程規則與工序流程示意圖

動態AI驅動智慧派工

進入資料運算階段時，系統先依工單優先度初步排序，而後針對相同優先度的工單進行產品與工序的排序，並建立工作次序（Job Sequence, Job_Seq）。排程引擎則會依工作次序提取Job（工作，工序）排定合適的資源與時間。產品與工序的排序可依據3種條件，分別為依工單日期（order_date）、依工單交期（order_due）、依工作交期（job_due）。

• **依工單日期**：採用先進先出演算法（First in, first out, FIFO）對所有工單以工單開立日期進行排序 [5]。高順位工單內的所有工序，其工作次序均優於低順位工單內的所有工序。

• **依工單交期**：採用最早交期日演算法（Earliest Due Date, EDD）對所有工單以工單交期日進行排序 [6]。高順位工單內的所有工序，其工作次序均優於低順位工單內的所有工序。

• **依工作交期**：先以反向推估各工單內所有工作的工作交期，而後再以EDD的排序原則對所有工作進行排序。高順位工單內的所有工序，其工作次序均優於低順位工單內的所有工序。

建立工作次序後則生成仿人類競標行為的多智能體系統（Multi-agent system, MAS）AI架構 [7]。MAS的agent則是基於各類資料（如產品料號、資源、工序等）產生的行為代理機器人。在系統排程引擎中，MAS會創建5種代理機器人，分別為資源代理人（ResourceAgent, RA）、工序代理人（JobAgent, JA）、排程代理人（SchedulerAgent, SA）、事件代理人（EventAgent, EA）及產品代理人（ProductAgent, PA）。各代理人角色相互獨立運作，排程代理人主掌排程的流程進度，工序代理人負責安排工序，資源代理人取得最佳的資源與可排定的時間區段，事件代理人負責安排事件次序，產品代理人則握有各產品料號的詳細資訊。排程引擎會按照

三個階段依序處理事件、已接訂單、計畫訂單。

第一階段為事件處理。事件的種類包含了已知事件（如人員加班、機台保養維修、預定產能等）、進行中工作事件、已排定之工作事件，及突發性事件（如急單插單或機台異常）。由SA發起流程，呼叫EA選定未完成的事件中順位最高者為待排定事件。取得待排定事件後，SA則依據事件的條件需求排定資源與時間區段。

第二階段為已接訂單的工作排程。於此階段，系統依工作次序對各工序進行資源與時間的排定。首先由SA呼叫JA選定尚未排定的工序中順位最高者為待排定工序。取得待排定工序後，SA則聯繫RA，並傳遞待排定工序的詳細資訊至RA。RA則依據工序的詳細資訊及相關資源的所有可用時間區段，進行最佳可用時間搜尋及資源間的比較，將待排定工序配對最佳的資源及時間區段。根據特定製程規則限制，資源代理人則衍生上下階角

色。主資源代理人（ResourceAgent, RA）負責資源的時間區段選定及資源的比較。客製化資源代理人（CustomizedAgent, CA）隸屬於主資源代理人，負責替RA預先篩選可用資源，可用資源的篩選依據為製程規則。以興普的線別限制為例，相同產品料號內的前後工序必須排定於相同線別的資源。因此，RA在選定資源前，呼叫CA回傳符合線別篩選限制的資源列表。RA取得符合限制的資源列表後，進行資源的可用時間區段搜尋及資源比較，並回傳最佳的資源及時間區段至SA。SA依JA與RA回傳的結果進行資源與工序的排定，排定後則呼叫JA與RA進行下一個工序的排程。

第三階段為計畫訂單的工作排程。不同於已接訂單的順向排程邏輯（順排邏輯），系統針對計畫訂單則採用逆向排程邏輯（逆排邏輯）處理。順排邏輯與逆排邏輯的差異可參考下圖5。

由上圖5顯示Job1至Job3依序為OrderA的

工序流程。依據順排邏輯，OrderA的工序會先由Job1開始，Job1會根據OrderA的建立時間開始排程，依序為Job2及Job3。逆排邏輯則採用OrderA的交期日作為排程起始點，並由OrderA的最後工序Job3開始排程。Job3以不超過OrderA的交期日限制排定時間，並依序排定Job2與Job1。

即時追蹤輔助營運決策

系統於資料運算的階段時，前端頁面的智慧戰情室仍會同步更新即時資訊，如專案列表頁面包含工單執行狀況及優先度等工單相關資訊（圖6）。站點排程頁面可提供細部排程規劃及異常狀態偵測（圖7）。

導入系統後，因工程段資料的串接，前端頁面可提供更全面的產能現況，如各工單的工序流程執行現況（圖8），及細部資源配置狀況（圖9）。各單位人員就由系統的協助可有效克服跨部門間的資訊落差，達到執行資訊的同步化。

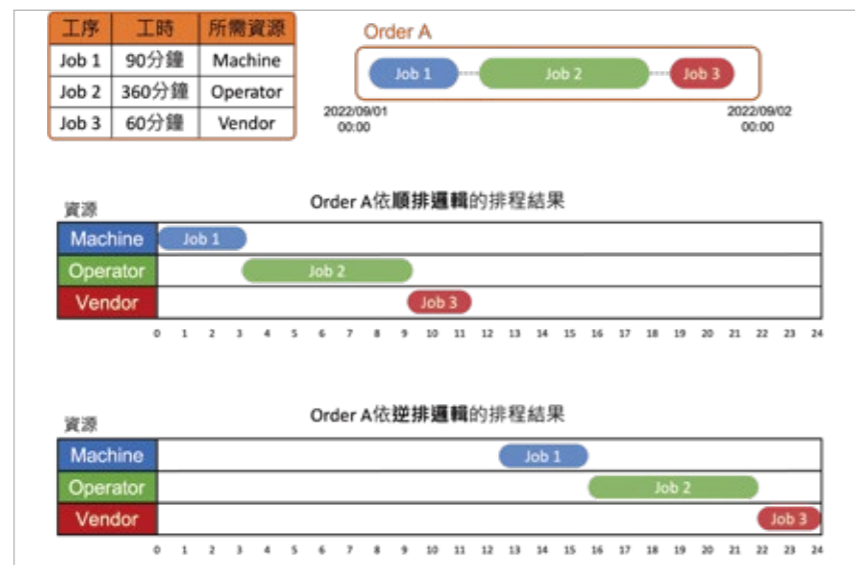


圖5：排程邏輯示意圖



圖6：專案列表

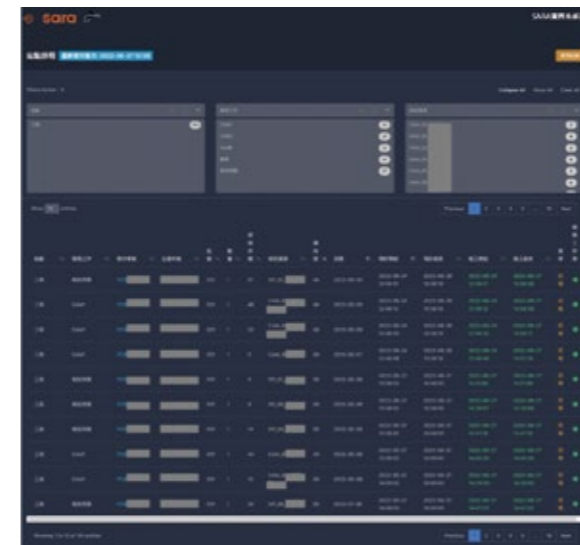


圖7：站點排程



圖8：工序流程執行現況



圖9：工序資源配置狀況



圖 10：資源排程甘特圖

生管與生計可由資源排程甘特圖（Gantt Chart）檢視全廠訂單的資源產能的分配（圖 10），並藉由觀察工單排程甘特圖預先推估訂單達成度（圖 11）。

導入後的成效

興普導入系統後首要且顯而易見的效益為當日急單準交率大幅提升。導入前，急單的當日準交度約為30%，導入後的急單當日準交度平均可達70%至80%，即便最差的狀況也能達到50%至60%的準交度。整體而言，**當日急件準交率可提升至少30%**（圖 12）。

於導入前，系統每2小時自動全廠排程，同時每10分鐘更新排程，此自動化程度已大幅縮短人工排程時間。導入後，整合全廠的數據使排程對工程段的掌握度提高，更能因應興普多製程工序的限制條件，進而減少人工調整排程結果的次數，**使總人工排程時間可大幅縮短超過80%**。



圖 11：工單排程甘特圖

結果的改善有賴於協作過程的精進。過去由人員決定訂單生產優先度的過程，因生產與銷售雙方不同的考量，易造成生產端或出貨端的混亂。系統的導入使得過去由產銷協調生產的作業方式全面改由系統主導，規則由人員制定，實際的優先度排序由系統決定，大幅度地**穩定產銷間的協調**，降低意見的分歧。

全廠的生產由系統主導可為協同作業帶來另一層效益的提升。除了原有的排程範圍外，當工程階段的資訊納入排程系統後，實現**自動化串接全廠數據**。生產端、工程端、銷售端均可大幅降低資訊的落差，**實現資訊透明度的即時同步**。生管可藉由系統全面整合全廠資源，妥善調度人員與機台產能，因應大量湧入的急單需求。同時，生計亦可藉由系統**提前了解產能現況與瓶頸製程**，提前將瓶頸製程轉單至外包生產，降低遲交率。

以此AI架構下，系統可實現特殊製程限制，並同時達到每分鐘優化1000筆工序排程的速度。工程階段納入自動串接，結合特殊製程限制的滿足，使系統可有效**優化產能效率超過20%**。

興普生技部經理說道：“建立數位模型讓製程瓶頸越來越少，同時有了AI排程依據，透過清楚易懂的數據畫面去檢討，不用靠著經驗每天追著去找過去的問題。”

協作式智慧製造的重要性

協作式智慧製造的核心並非由機器（系統）完全取代人，而是機器與人相互輔助。製造業傳統常見的問題，如部門間的資訊落差、產銷意見的分歧、高負載量時的產能分配，解決的方案均可藉由機器的介入達到以機器為主，人為輔的平衡狀態。針對機器無法處理的現場臨時狀況，則以機器為輔提供參考資訊，人員為主要決策者。因此，相比於只以人員或機器單一角色主導的製造模式，人機相互輔助的協作模式可達到更穩健與彈性的製造生產。

過去幾年的Big Data浪潮下，企業聚精於數據驅動模式；而在工業4.0的AIoT時代，智慧製造則需更具體化的由智慧排程系統驅

動，而排程驅動的核心仍是數據。智慧動態排程系統的價值在於人機協作。系統與人員相互輔助下，可更智慧化地執行的現場的製造。此外，排程系統的運行可獨立於機台設備的智慧化程度，但智慧動態排程卻可協助機台設備『開口說話』，實現以數據驅動的協作式智慧製造。

未來展望與佈局

現階段系統的導入因工程階段資料的納入而增長了資訊的廣度，有效降低部門間的資訊落差。隨著製程工序的精密化與複雜化，資訊的深度則是下一階段的重點，而如何在不降低使用者體驗的前提下提供更細部的訊息更是協作式智慧製造價值之處。

自動排程系統使ERP與MES資料及排程引擎可自動化串接運算，對比於尚未邁向工業4.0的多數企業已是極大的進程。然而，以協作式智慧製造標竿企業的標準，自動化的程度仍有智慧化的空間。系統可經排程結果計算後續採購所需的物料量，人員則可得知相關的用料建議。此用料建議現階段仍以人工註記，並同樣採人工方式發送郵件至後端工程人員。因此，自動發送用料建議至後端相關部門及工程人員是系統於下階段優化協作式智慧製造的重要功能。



圖 12：興普科技導入AI智慧排程系統效益

參考資料

- [1] 呂文斌、曾繼民（2021年3月）。AI 賦能數據融合創新加值 打造半導體智慧儲運智能化新商機。智慧自動化產業期刊。
- [2] 林政仰（2022年5月）。疫情期間製造產業的轉變 智能化製造單元技術。PMC 技術通報。283 期
- [3] 興普科技股份有限公司 www.superpcb.com.tw/zh-tw/
- [4] 智慧自動化產業期刊：機器人自動化先進技術 助力品質檢測及管控贏得機先，Vol.32，2020.03
- [5] 維基百科：先進先出演算法 [https://en.wikipedia.org/wiki/FIFO_\(computing_and_electronics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/FIFO_(computing_and_electronics))
- [6] Goldberg, H. M. (1977). Analysis of the earliest due date scheduling rule in queueing systems. Mathematics of Operations Research, 2(2), 145-154.
- [7] 維基百科：多智能體系統 https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-agent_system