

跨鏈創新：臺灣防疫熔噴設備的國產化

謝斐宇、潘美玲、鄭志鵬

057

跨
鏈
創
新

特別感謝本文所有受訪者的分享，讓我們有機會在疫情發生期間，能夠系統性地記錄這個重要的歷史過程，並從中領受到臺灣產業的韌性。並感謝邱宥銓先生在研究過程中，從資料蒐集、整理開始，到文稿寫作與校對上的協助。同時感謝編委會與三位匿名審查人的意見，協助全文論點更加清晰地傳達。當然，文責由作者自負。本研究部分經費來自科技部研究計畫(109-2410-H-001-017-MY2、110-2410-H-007-055)補助，特此致謝。

※收稿日期：2022.08.01 接受刊登：2023.04.24

謝斐宇(通訊作者) (✉)

中央研究院社會學研究所

通訊地址：115201臺北市南港區研究院路二段128號

Email：mhsieh17@gate.sinica.edu.tw

潘美玲(✉)

國立陽明交通大學人文社會學系

通訊地址：302054新竹縣竹北市六家五路一段1號

Email：mlpan@nycu.edu.tw

鄭志鵬(✉)

國立清華大學通識教育中心

通訊地址：300044新竹市東區光復路二段101號

Email：chengcp@mx.nthu.edu.tw

摘 要

口罩成為COVID-19疫情的重要防疫物資，是因為中間層的熔噴不織布可以發揮阻絕病毒的效果。疫情爆發初期，各國都缺口罩原料，由於相關熔噴設備製造困難度高，過去仰賴德國、日本等工業大國進口。然而，臺灣廠商卻能在兩個月的時間內，從完全沒有經驗到完成整臺高精密度熔噴設備，自足生產關鍵部品熔噴布，進而達到從原料到設備的口罩供應鏈國產化的在地整合。

跨鏈創新指的是分散式生產網絡中的中間部門廠商，從原本的產業網絡連結到另一個產業網絡，進行技術探索與研發的過程。本文藉由兩個案例說明熔噴設備國產化的開發及技術突破，是臺灣分散式生產網絡中的專業製造商，為了解決其他產業的特定問題，透過技術互賴及技術趨同的機制，驅動群體學習與技術擴散的成果。在這個中小企業網絡實現跨鏈創新的過程中，公共研發機構及產業公會扮演跨產業鏈連結的關鍵角色，有別於既有模仿、代工，或是國家領導論述的技術能力建構機制，兼具實證與理論意涵。

關鍵詞：COVID-19疫情、跨鏈創新、專業製造商、防疫物資供應鏈、分散式生產網絡

Innovation through Cross-industry Links in Taiwan: Building Indigenous PPE Supply Chains for Meltblown Machines during the COVID-19 Pandemic

059

跨
鏈
創
新

Michelle Fei-Yu Hsieh

Institute of Sociology, Academia Sinica

Mei-Lin Pan

Department of Humanities and Social Sciences, National Yang Ming Chiao Tung University

Chih-Peng Cheng

Center for General Education, National Tsing Hua University

At the beginning of the COVID-19 pandemic, the world faced a shortage of PPE materials and meltblown fabrics for face masks and respirators. Some Taiwanese plastic machinery manufacturers responded by building meltblown fabric machines in two months, despite having no prior experience. Their locally made machines supported increased production and ensured a steady supply of masks and PPE. This paper uses in-depth case studies to explain how the technological breakthroughs in meltblown machines came about. The term “cross-industry innovation” is introduced to illustrate the technological explorations and learning in Taiwan’s decentralized industrial setting. (1) Propelled by the need to solve problems for customers, specialized goods firms launched technology explorations by mobilizing resources from their own supply chain to network with other industries. (2) Public research institutes induced cross-industry fertilization by bridging production networks, disseminating knowledge, and shortening learning curves. The technological advancements by specialist firms

generated knowledge diffusion, induced downstream entrepreneurship, and encouraged further explorations by upstream suppliers of materials. This cross-industry innovation demonstrated dynamic learning processes involving the labs of individual firms in tandem with inter-firm networks, the entire supply chain, and other industrial networks.

Keywords: COVID-19 pandemic, Cross-industry innovation, Specialist firms, PPE supply chains, Decentralized production networks

一、前言

醫療口罩是臺灣防堵 COVID-19 疫情的重要防疫物資，但醫療口罩要能發揮隔離病毒的效用，關鍵在於組成口罩中間層的熔噴布，以及附著其上的「靜電駐極」技術，它可以將口罩的過濾效果提升到 95-99.99%。¹ 目前臺灣製造的醫療口罩過濾效果幾乎都達 95% 以上，臺灣口罩靜電駐極捕捉病毒的效能即使過了五年也只降低 1%，這是所謂好品質口罩的標準。

在 COVID-19 疫情爆發前，臺灣國內的口罩需求大多仰賴進口，2020 年初全球疫情蔓延當下，全球個人防護設備與物資短缺，臺灣也馬上面臨口罩短缺的難題。為了解決口罩荒，政府與工具機、口罩機業者組成「口罩國家隊」，快速增產口罩機臺產線，將臺灣口罩產能由原來疫情前只有日產 188 萬片，在兩個月內達到日產千萬片解決國內需求，超過原來產能五倍之多。因此關鍵的口罩原料——熔噴布的需求也有同樣的倍數增加。雖然臺灣具有熔噴布的製造能力，但生產口罩用的熔噴布廠家並不多，一方面是臺灣市場需求很低，另一方面是生產熔噴布的機臺設備及其關鍵零組件，具有資金和技術的門檻，只能仰賴日本與德國進口。² 熔噴機關鍵零件的噴嘴模具，因其技術的複雜性與所需的精密製造過程，平常向日本廠商下訂就必須等 6 到 12 個月才到貨，遇到疫情當下更是要等 18 個月，所以不可能透過及時增加機臺這個管道進行擴產。因此，即使有了口罩機臺，卻可能因為熔噴布的機臺設備不足，而產生缺料的困境，形成口罩生產鏈中斷的危機。

1 熔噴布是不織布的一種，材料是塑膠 PP，全名為熔噴不織布，本文以熔噴布稱之。靜電駐極就是將靜電種在熔噴布上，讓布有過濾的效果，達到防護的功能。

2 熔噴布的生產也與工業產品如汽車和其他用途的大規模生產有關，只有很小一部分材料進入了個人醫療防護設備供應。在疫情之前，熔噴設備屬於重工業，主要是由德國或是日本所生產。

然而上述的情況並沒有發生，因為有臺灣本土廠商在短短兩個月左右的時間，從完全沒有看過機臺，開始進行研發而完成整臺熔噴機臺設備，臺灣的口罩生產也因此完成從原料到設備供應鏈國產化的在地整合。本文的核心問題是：臺灣廠商如何克服高技術門檻，在兩個月內研發出熔噴機設備？

產業中廠商的技術從哪裡來？並不是一個新的問題，而是國家產業發展和企業生存競爭會面對的處境。但當前所累積相關的研究，不外乎是透過國家補助的技術，研發機構的技術轉移，或是臺灣中小企業透過商品鏈與領導廠商的連結，從事代工而獲取技術的升級，這都是著重在外生的（exogenous）技術學習來源。企業本身如何實際進行技術研發的過程，以及技術學習介面的實際內容，都是沒有被充分討論的「黑盒子」（Rosenberg 1983）。既有研究對於臺灣中小企業協力網絡的運作，則偏重在信任與人際關係所強調的彈性生產，至於中小企業廠商的研發創新通常都被預設因為規模較小，缺乏研發能力，因此不需要被討論。

然而以本文所提出的采豐機械與寶特工業進行熔噴設備開發為例，³這兩家廠商分別將原本不是在熔噴產業的上下游廠商加以整合，共同開發製造出熔噴布生產線設備，在短時間內達到技術先進國的水準，而成功地進入個人醫療防護設備（Personal Protective Equipment，下簡稱PPE）產業，所呈現的是中小企業利用臺灣分散式生產網絡建構技術能力。那麼，這些中小企業廠商如何研發創新？以及如何利用分散式的生產網絡建構技術創新能力？是本文所要討論並試圖回答的問題。

本文將先回顧既有關於創新與產業發展的辯論與局限，接著將中小企業的技術學習過程放置在前臺，以跨鏈創新來說明中小

3 本文所有公司名稱都以匿名處理。

企業網絡技術能力的建立。跨鏈創新指的是分散式生產網絡中的中間部門廠商（專業製造商）為了解決其他產業的特定問題，透過技術互賴及技術趨同的機制，驅動群體學習與技術擴散，從原本的產業網絡連結到另一個產業網絡，進行技術探索與研發的過程。同時在此過程中，公共研發機構及產業公會，則扮演跨產業鏈連結的關鍵角色，共同實現創新。第三部分以熔噴設備國產化的案例來闡述跨鏈創新學習如何在分散式產業網絡的結構中發生，最後我們將回應這個案例的貢獻和理論意涵。

二、產業發展與技術創新的論辯

廠商的技術從哪裡來？對於臺灣的廠商技術發展能力的討論，主要是放置在戰後東亞後進國家工業發展及產業升級的脈絡，透過討論產業轉型來解釋廠商的技術學習與創新能力的建立。

（一）主流論述：從國家領導、協力網絡到全球價值鏈的代工學習

「國家領導」的觀點強調政府官僚透過籌劃產業發展藍圖，政府透過優惠措施以及資源配置，控制與介入市場的運作，引導產業發展（Amsden 1989；Wade 1990；瞿宛文 2017）。當談到後進國家產業升級，經常將焦點放在部門轉型，從勞動密集的產業轉向電子和半導體等高科技產業；或是培育新產業，以電子業為例，政府透過公共研發機構開發新技術，進而誘導新創公司成立，並將技術轉移到這些群聚在科學園區的衍生公司（Amsden and Chu 2003）。這些產業升級文獻的論點預設政府是能有效引導廠商研發及創新的關鍵角色，其方式包括資金投入或透過公共

研發機構移轉關鍵技術。針對中小企業本身沒有自主研發能力的問題，既有研究指出可以結合公共研發機構成立正式的研發聯盟，消除在地協力網絡因為強連帶的關係所造成的資訊流通限制，促進學習，意即由政府領導網絡來達到技術學習與創新（Grabher 1993；Mazzoleni and Nelson 2007；王振寰、高士欽 2000；王振寰 2010）。

具體而言，國家主導的論述預設技術學習和研發是在企業內部發生，透過由國家領導、廠商加以跟隨，或者學習是來自研發機構由上而下將技術轉移到個別企業的路徑。

但從臺灣產業發展經驗加以檢視，協力網絡觀點論者認為：臺灣以中小企業為主的產業發展，並非完全由國家領導由上而下的路徑，而是透過網絡式生產組織的方式，將單位內的分工步驟，以單位間的協力方式進行。臺灣的製造業整合不同的生產單位，彈性組合廠內和廠間的協力網絡，達到快速反應的效率，符合國外買主的需求，創造以勞力密集產業出口的經濟奇蹟（謝國雄 1993；潘美玲 2008：152-153）。1990年代高科技產業轉型，網絡式的生產組織持續在臺灣資訊以及高科技產業扮演重要的角色（陳東升 2008）。

至於協力網絡生產為主的廠商如何學習，則是聚焦在透過做代工，向國外買家學習的經驗。透過替歐美市場品牌公司從事代工製造，成為全球價值／商品鏈當中的製造環節，後進廠商進而獲得學習的機會。全球價值鏈（global value chains）理論預設核心廠商是技術控制與驅動的主角，也就是技術學習的來源，所以進入全球價值鏈與核心廠商連結，就能提供後進廠商技術學習進而在產業鏈升級的機會，往附加價值更高的價值鏈環節移動。從代工（OEM）逐步發展自主研發設計的能力（ODM），最終在國際市場擁有自有品牌，進一步擺脫對技術先進者與國際買主的依

賴 (Gereffi 1994: 222-224; Gereffi 2015: 171; Morris and Staritz 2019: 512)。

上述國家領導、協力網絡及全球價值／商品鏈等觀點，主要從「垂直、線性」的視角分析後進國家廠商的技術學習與創新路徑，聚焦在個別企業的能力，以及個別廠商建立的關係，例如跨國公司與供應商之間，或者國家／公共研發機構與個別公司之間的關係。這種將技術學習局限在由上而下的二元關係發展樣態，影響我們對創新的理解和產業升級的策略方向，例如：將產業升級的指標設定在部門間的轉型，從勞力密集的鞋子、成衣到生產資通訊產品的高科技產業；或者將廠商擴大生產規模 (scaling up) 視為是後進國家追趕的主要策略 (林宗弘、胡伯維 2017; Amsden and Chu 2003)。至於公共研發機構的角色，在臺灣高科技產業發展的過程中，代表案例是工研院，將臺灣半導體產業的技術學習與矽谷知識聯結，成為向國外取經的橋樑，以及扮演連接在地與全球的樞紐 (陳東升 2008)。至於中小企業是否可以透過與研發機構正式的合作，複製高科技產業的經驗，既有研究仍沒有定論 (陳良治 2012)。

然而，本文的案例並不是透過線性的方式取得技術，也非領導廠商或研發機構的直接技術轉移。同時，既有協力網絡文獻強調的信任及人際關係也不足以解釋個案廠商的技術學習與建構。因此現有的理論觀點，並無法解釋本文所呈現的中小企業創新的案例。

(二) 中小企業網絡的跨鏈創新

以下我們提出一個中小企業創新的另類解釋，將研究焦點從國家領導、公共研發機構為創新驅動者，轉移到中小企業生產網絡中的專業製造商如何透過技術互賴與技術趨同的機制，來驅動

群體的技术學習和擴散，以及公共研發機構如何串聯不同生產網絡，讓跨產業創新得以可能。以下說明跨鏈創新如何發生及其運作機制。

1. 跨鏈創新的驅動者：專業製造商

以臺灣的機械產業為例，這些數量龐大的中小企業構成的生產網絡通常聚集在特定地理區域內，各自專精於生產的某個階段，生產中間零件而不是最終產品，彼此間也有技術支援的關係，來解決中間生產過程的特定問題或是客戶需求。這些中間財（intermediate inputs）部門的廠商，指的是生產成品過程中提供生產設備、零件、材料或進行加工的單位，包括：（1）專業技術加工廠商，提供客戶專業的加工技術處理，像是熱處理、鍛造、鑄造、模具等服務；（2）所謂的資本財設備廠，根據客戶的需求，提供生產設備、工作母機或是工具機；以及（3）零件及（4）部品材料廠商。

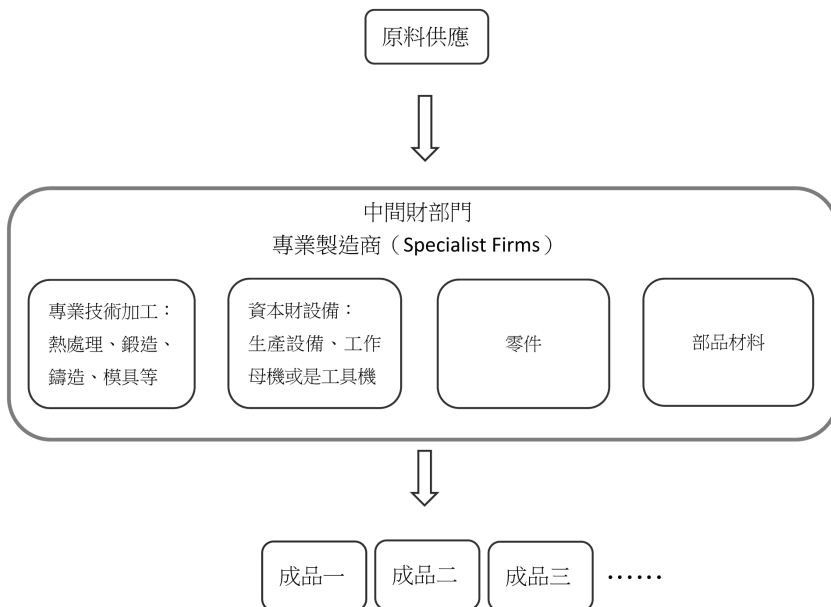


圖 1：中間財部門之專業製造商類型

在臺灣，這些中間財部門的廠商，通常不是綁在一個專屬的大廠或是局限於單一產業鏈，而是根據不同客戶的需求，提供他們的專業技術加工服務，因此跨越不同的產業鏈，⁴ 這有別於既有同一產業下的零件廠商或組裝廠的分類。為了進行區分，本文將這些在中間部門的零件或是部品材料商、專業加工廠及設備製造商，統稱為「專業製造商」(specialist firms)。專業製造商提供技術服務及零件部品，同時供貨給產業內的數家公司，或者銷售給其他的產業，構成開放式的網絡，我們稱為分散式生產網絡(decentralized production networks)。它們利用核心專業技術能力，直接進入全球生產鏈的一部分，參與國際市場的競爭，但是沒有綁定在單一領導廠商控制的供應鏈，也沒有依賴特定的國內／外組裝廠，它們是獨立的專業製造商，提供不同的產業鏈上廠商所需的服務。這個分散式的網絡生產體系，是臺灣工業化過程的特色之一 (Hsieh 2015；謝斐宇 2019)。

我們用「跨鏈創新」一詞，來說明分散式生產網絡中間財部門專業製造商的跨產業技術學習、突破及技術擴散的創新過程。跨鏈指的是一群專業製造商跳脫原本產業鏈或單一商品鏈架構，廠商透過彼此之間技術協力合作的水平連結，尋求更廣泛的周邊產業技術網絡的資源與協助，從原來的生產網絡進入到另一個不同產業的生產鏈，所產生的技術學習與自主創新的過程。我們認為這種創新的類型牽涉到如何將人、資源、知識和社會網絡重新排列組合，甚至彙集以前沒有關聯的資源來達成經濟目的，並創造新的機會 (Granovetter 2005)。這種創新類型不容易被列在研發支出或專利數量等統計指標當中，而需要透過行動者之間的具體社會關係和互動，進行質性的探索才能掌握得到。也就是說，透過廠商之間的網絡、各種社會關係及行動者的連結方式，以及

4 大家最熟悉的例子即是台積電的晶圓製造。他們所提供的服務及產品，並不是消費者所理解的「最終成品」(final product)，因此不是產業價值鏈上所謂的品牌商或是在單一產業鏈下的「領導廠商」(lead firm)。

所產生相對應的結果，而不只是局限在單一行動者（廠商）內部的研發，才能理解創新是如何在網絡之中發生（Block and Evans 2005）。

2. 跨鏈創新的機制：「技術互賴」與「技術趨同」

技術趨同與技術互賴的概念，提供我們理解專業製造商如何在臺灣分散式生產網絡中，建構技術能力、及技術學習和擴散的條件、範圍及方向。Rosenberg（1983）以美國經濟發展史為例，提出「技術互賴」（technological interdependence）的概念，論證技術的形成與創新通常是鑲嵌在更大的技術關係網絡之中。這種技術互賴的關係網絡觀點展現在以下三種面向：

第一，技術互補性（complementarities）：一種新技術的形成不可能在沒有其他既有成熟技術的支援下開展。也就是說，A 廠商的突破必須仰賴 B、C、D 等其他廠商的研發成果，因此分析技術創新應該以「系統」的觀點加以理解，這意味著突破往往不是來自單一個別廠商，而是一連串的技术突破讓創新得以發生。

第二，累積的漸進式創新（the cumulative impact of small improvements）：基礎創新並不常見，對基礎創新進行小範圍的修正調整，雖然並不容易察覺，最後也能逐漸累積成較大的技術變化，並對經濟成長產生可觀的效應。例如，涉及材料處理上的進步，以及重新設計生產技術或降低維修成本（Rosenberg 1983: 55-70）。

第三，跨產業技術關聯（inter-industry relationships）：指的是整體技術環境的外部經濟效應，而且特別強調產品生產過程中間階段的專業製造商在技術創新過程中扮演的角色。這些技術突破大部分都是發生在「中間財」，例如新材料、新機器設備、新零件或技術製程，因為它們不是最終產品，在傳統以最終產品為

主的測量指標中，這些製程經常不會被呈現；加上這些廠商的貢獻和投入，反映在跨產業間的流動上，因此他們的創新活動不容易在既有產業分類的範疇被看見（Rosenberg 1983: 71-72）。

除了技術互賴，另一個用來解釋技術變遷（創新）的相關概念，是「技術趨同」（technological convergence）：指的是生產過程中相似的製程如何造成產業技術的擴散，常見於機械與金屬產業。機械生產所遭遇到的問題都很類似，包括如何切割、開採、熱處理或冷卻生產過程中以金屬為主的材料。具體來說，這些突破來自於設備製造廠或工具機廠商，最初是接受他們服務的買家受益（通常在其他產業），然後這個突破也對其他部門提供免費的技術知識的投入，因為基於金屬的相似性，其他產業也能受惠於這個改良的加工設備。因此，創新與突破通常是在解決中間生產流程的特定問題時產生，同時也免費提供其他金屬應用產業在技能或技術的創新投入，促成技術傳播與新技術的使用（Rosenberg 1963b: 423-424）。

這個以技術網絡為中心的觀點，將各種專業製造商的研發與創新搬到前臺，他們也能驅動技術變遷，因此創新並非最終成品大廠的專利。技術變遷並不只是來自「創造性破壞」的基礎創新，更多的是對既有技術的修正、調整，加以重組而創造出全新應用的方式，這種將新的想法融入到產品中，進而創造附加價值的經濟活動，也是一種創新的類型（Nelson and Rosenberg 1993: 4）。

3. 分散式網絡與跨鏈串聯的公共研發機構

上述 Rosenberg 的概念幫助我們理解專業製造商如何驅動技術學習，以及強調非線性的網絡及系統的概念來理解技術變遷，但是這個觀點的預設仍然是只要有經濟誘因或是需求出現，

創新就會發生。然而即使廠商之間存在技術互賴的網絡，如何跨出產業鏈的第一步，或是在分散式生產體系中，跨產業間的組織網絡如何連結而產生技術的擴散與創新，因為缺乏行動者之間關係或所處社會結構的討論，「如何發生」的問題仍然沒有解答。再者，許多技術的變遷是因應產業技術或社會變遷，或是為了解決特定問題、改善特定使用經驗，所產生的交流和帶動的技術探索進而發展的網絡連結，通常不會只局限在有交易關係的上下游供應鏈，而可能朝更多元關係的網絡進行（Christensen et al. 2016）。

我們認為，在分散式生產網絡裡，廠商的自主學習研發，事實上是將各種外部網絡的學習資源進行整合的一系列探索過程（Sabel 2012）。國家則在分散式的網絡體系中建構公共財，透過公共研發機構來傳播知識，進而協助廠商提升能力，解決個別廠商自我學習研發的局限。公共研發機構提供的服務和知識，包括各種非正式的學習交流及經驗分享，能夠協助廠商解決具體問題、縮短學習曲線、降低研發門檻，進而鼓勵廠商探索新技術（謝斐宇 2019）。因此，我們認為，公共研發機構不只是由上而下、與個別廠商的合作技術轉移，更是臺灣分散式生產網絡中的一環，串聯不同的生產網絡，引發廠商探索新的技術，是資訊學習及網絡關係的傳播站。公共研發機構和公協會居於不同產業和傳播知識的橋樑，亦即結構洞的位置，協助廠商連結到不同的產業鏈，而公共機構和公協會與廠商交流時，也能即時獲取市場上與生產技術相關的最新開發資訊，進而推動與其他產業鏈結合，幫助其他產業技術突破。這有別於結構洞理論所提出的「鷸蚌相爭，漁翁得利」，也就是網絡節點的第三方壟斷資訊進而獲利的論點（Burt 2004；川上桃子 2017）。在這個分散式網絡中，公共研發機構與中小企業之間的連結多元，協助生產網絡解決問題，技術與知識的傳播也不只是透過正式的研發聯盟或合作開發案，

更是在上述許多解決疑難雜症的過程或是交流中產生。

目前有關跨產業技術學習的臺灣案例研究，例如，Hsieh (2015) 的自行車產業研究，說明自行車零件製造商，向其他產業取經，帶動自行車技術的突破，造就了臺灣自行車產業在全球重要領導的地位。劉清耿 (2020) 的汽車安全氣囊製造的研究，以及陳東升 (2008) 的半導體產業研究也指出：專業製造商在產業技術創新及擴散過程中扮演關鍵的角色。但是這些研究多半聚焦在個別零件廠商為了解決自己所在的產業供應鏈中的問題，向研發機構取經，或是公共研發機構（工研院）促成在地與全球技術網絡的連結，達到本業技術突破的目的（陳東升 2008）。上述的產業個案著重在既有產業內的網絡或是個別廠商的學習，與研發機構的互動主要發生在既有產業中的生產網絡與關係。本文提出與上述說法不同之處在於指出，專業製造商是跨鏈創新的驅動者，而公共研發機構是在地分散式網絡中跨產業鏈之間弱連繫關係的連接橋樑。

我們將透過熔噴設備國產化的案例，來說明中間部門的專業製造商如何在臺灣分散式生產網絡中實現創新和突破。本文透過采豐與寶特這兩個案例，說明專業製造商從解決其他產業的特定問題，透過技術互賴與技術趨同的探索，從與原技術網絡的廠商協力合作，進而連結到其他產業技術網絡尋求資源與協助，包含產業公會與公共研發機構等，進行技術學習跨鏈創新的過程，所獲得的成果還能反饋到周邊廠商，進而技術擴散帶動其他產業的發展。

本文的案例是本研究團隊針對臺灣 COVID-19 疫情爆發之後，進行有關口罩及 PPE 在地產業鏈建構的研究過程中，所觀察到的資料成果之一。到目前為止，總共針對參與臺灣 PPE 供應鏈的各個行動者進行了 30 個訪談。每個訪談平均約 2.5 小時，並

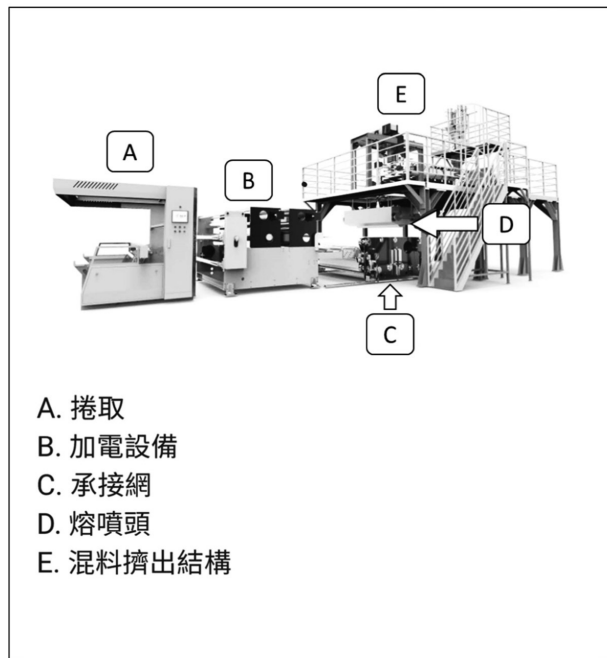
將訪談內容轉謄成逐字稿。本文著重在熔噴設備的故事，所以僅引用與這主題相關的訪談（如附錄 1），相關資訊都經過交叉核對。此外，其他口罩生產商及 PPE 上中下游生產鏈的訪談，儘管沒有直接引用，則為本文提供了寶貴的背景資訊。本文實證資料主要來自對關鍵行動者的深入訪談（各兩次），包括兩家案例公司的董事長（計畫的主要決策者），以及其中一家參與設備開發的工程師團隊。我們也兩度拜訪不織布公會理事長，並且和紡織綜合研究所的相關工程師進行了訪談，以理解他們在這個過程中的角色和貢獻，並交叉驗證兩家設備製造商的角色，包括後續設備使用者的反饋。

本文試圖呈現受訪者當時如何解決問題並完成開發，按照時間序列追溯這些廠商如何透過廣泛的技術網絡及社會網絡動員資源，解決當下所面臨的技術問題，分析行動者如何透過「技術互賴」和「技術趨同」等技術特質，評估跨鏈的方向及可行性的過程，從而成功促成中小企業網絡的群體學習及技術擴散，達到實現跨鏈創新的結果。文中提到的人名及公司名稱都以匿名處理。

三、熔噴設備國產化

（一）什麼是熔噴機？

2020 年初全球疫情開始蔓延期間，各國醫療防護物資短缺，臺灣即使迅速增產口罩機，仍需要有足夠的原料供給才能完成。如前文所述，口罩關鍵原料——熔噴布也必須同時增產，若是生產熔噴布或熔噴設備廠商無法及時供應，還是無法完成口罩的生產。這正是當時許多國家買不到口罩，又無法自行生產的主要原因。



- A. 捲取
- B. 加電設備
- C. 承接網
- D. 熔噴頭
- E. 混料擠出結構

圖 2：熔噴機設備
(資料來源：訪談D1提供)

圖 2 是熔噴機的基本構造圖，從產線下游終端產品到上游原料進入，可分成五大部分：捲取 (A)、加電設備 (B)、承接網 (C)、熔噴頭 (D)、混料擠出結構 (E)。其中最關鍵、最複雜的模具便是熔噴頭，特別是內部噴絲板微細孔的加工製作。噴絲板的噴口直徑是 0.2 到 0.35MM 之間。以目前市場上標準量產熔噴模具為 1.6 公尺寬幅而言，一組噴絲板上需加工的微孔數量在 2,300 到 3,300 孔之間，需要精密的微鑽加工技術，過程中只要任何一孔的加工有任何缺失，整個噴絲板就不能用。疫情前，臺灣小型的熔噴布生產業者通常是從日本及歐洲採購關鍵零件噴嘴及模具，其他部分則採用臺灣或是中國等其他國家的零組件，再

自行拼裝熔噴設備。⁵

儘管過去缺乏製造熔噴設備的經驗，卻有臺灣廠商可以在兩個月之內建造出機臺和關鍵零件熔噴頭：采豐機械在兩個月內研發完成並取得專利；另一間廠商寶特工業也於同一時間完成熔噴設備的製造及生產線，幫助其他領域沒有相關經驗的廠商進入熔噴及口罩製造。他們是怎麼辦到的？這兩家公司如何建構出他們以前不具備的技術能力，而達到供應鏈的「國產化」？這是本文所希望解答的問題。

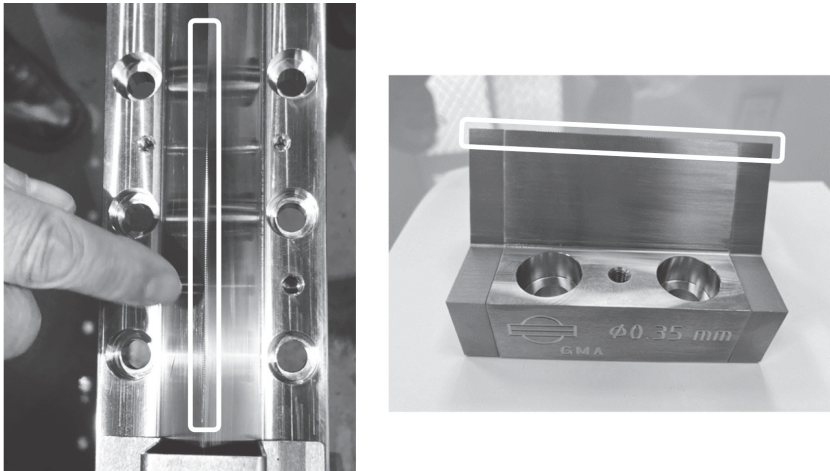


圖 3：安裝在模具設備上的熔噴頭實體（左）和熔噴頭模具樣品（右）

註：白框內即上述細如髮絲的噴絲口。（照片為作者訪談時拍攝）

（二）兩個案例

采豐與寶特這兩家廠商在 2020 年 3 月，就分別開始探索建造熔噴布設備的可能性。⁶這兩間公司都在塑料成型相關產業的塑

5 訪談 D1、E1。受訪者也提到，同業當時的認知是噴頭一定要買日本的（訪談 F1）。

6 訪談 A1-1、B-1。

膠材料和設備方面擁有豐富的經驗，但之前沒有 PPE 或熔噴布設備方面的生產經驗，當時也沒有任何一家臺灣熔噴布製造業者與他們接洽。

1. 采豐機械

(1) 技術趨同的廠商背景

采豐機械位於梧棲的一個工業園區內，其專業是製造塑膠押出（extrusion）模具（T 型模具），是一間典型在中間部門的設備製造廠商。采豐的姊妹廠——LM，則專門製造塑料相關產品的生產設備，兩者的專長是原料從固體到流體的押出主機及相關模具，客戶涵蓋了使用塑料押出成型的各類型生產廠商，從較簡單的食品包裝業（如午餐盒、紙杯內的防水塑膠薄膜），到技術密集型、精度要求較高的 LCD 薄膜產業。這些廠商就如同 Rosenberg（1963a: 220）所提到的資本財製造商以其專業的技術能力，為下游大量生產製造商提供客製化的生產設備。

COVID-19 疫情大爆發期間，許多國外買主向采豐詢問購買熔噴機關鍵零組件噴嘴的可能性，這突如其來的需求和詢問引起了采豐董事長解決這個問題的興趣和動力，於是開始研究製造熔噴設備的可行性。這些向采豐詢問的國外買主，大多都是熔噴布買賣的貿易商以及使用熔噴設備的製造商，他們都不是製造熔噴設備的廠商，也就是說，采豐去開發熔噴設備的技術學習過程，並不是傳統文獻中所謂的典型代工（OEM）情境：廠商並不能從買主那裡得到製造設備的知識和技術知識。

采豐原本並不知道自己的專長可以用在熔噴設備，也不瞭解製造 PPE 相關產品的生產設備，臺灣 PPE 及不織布產業的廠商，當時也不知道采豐這家廠商的存在。然而，不認識 PPE 或是熔噴相關的產業，也沒有操作相關設備的經驗，如何決定投入開

發熔噴設備？采豐董事長表示，當時他們去紡織綜合研究所（以下稱紡綜所），⁷ 支付新臺幣 10 萬元，「做了一次實驗」之後，他就確定應該可以做。所謂的實驗就是觀摩生產設備的試作，將材料餵給紡綜所的小型熔噴設備，製作了一小批熔噴布，讓他們第一次看到熔噴設備的運作和瞭解熔噴布製程的軟硬體需求。過去累積的專業加工及設計能力，讓采豐團隊評估他們有能力且有信心在短時間完成：

我們去看了以後，我們就覺得這個機器應該是可以完成的。因為我們的專長就是可以流動的物體，我們都叫流體，針對流體設計，已經做了大概三十年，這一段是我們最大的專長，一直到模具，這難不倒我們。⁸

接著開始評估熔噴設備與專業能力的關聯，以及需要學習及克服的部分：

它的關鍵點就這裡（指噴頭），差別就在於這一個噴孔，其他的都是我們的專長。……因為這個模具原本大家可能沒有想到是跟我們有相關，因為它只是一個微細孔的加工，但要做超過一米六（模具的長度），其實真的是有難度……那這些熔噴布所需要的軟硬體條件，其實我們那時是全部不懂。⁹

其實這個東西對我們來講，主體不變，那可能是 20% 的技術在裡面，因為我們在以前沒有看過，沒有做熔噴的經驗，但是我們有做擠出機的經驗，熔噴就是擠出

7 紡綜所全名為財團法人紡織產業綜合研究所，成立於 1971 年，專注於紡織產品的品質控制、追蹤與研發，以應對紡織產業的快速發展。參見 <https://www.ttri.org.tw/tc/page.aspx?mid=10>。

8 訪談 A1-1。

9 訪談 A1-1。

機，只是說它出來的產品，跟它的模具的噴法是變成用噴的，大概 80 到 90%，跟一般的擠出機是一樣的。¹⁰

也就是說，「技術趨同」的特性是廠商評估如何去進行這個設備的開發所依據的方向，從解決製程中的關鍵技術問題著手，讓模具從擠出成型變成用噴的方式讓材料成型進而去研發。

(2) 熔噴機械開發與開放的技術加工網絡

采豐一開始先從模具的噴絲板（噴嘴）著手（見圖 3），這是熔噴設備中最關鍵，也是技術最密集、最困難、最耗時的零組件，常態下製造這個零組件至少需要費時四個月。雖然塑膠押出設備的模具是采豐的核心能力所在，但是當時面臨的關鍵挑戰是，之前製造的模具只有幾百個孔，而用來製造熔噴布的模具至少需要 2,000 個孔，每一個磨洞的孔差不多只有 0.3mm，而且模具長達 1.6 公尺，比過去所做的都要大，且精度要求更高：「只要有一個孔失敗了，那個模具就不能用了。」¹¹

因此，采豐投入許多時間及精力，研究如何精密地開發這個模具的加工製程，包括如何在短時間內進行加工工法的設計，以及如何鑽孔和選用合適的加工刀具，讓模具可以達到要求的精密度，而且一針不斷。

這一個孔我們連續加工也要花掉兩個月左右，就是什麼都不要做就是做這個孔就好，做這個孔之前還有很多地方需要加工，所以我們就開始在做這些粗加工的時候，就開始研究這個孔要怎麼去加工它，刀具要怎麼選擇，去研究刀具怎麼加工它，刀具的角度，刀具的材質。那

10 訪談 A2-4。

11 訪談 A1-1。要瞭解每個孔有多小，可以想像每個孔的直徑約莫一根頭髮的直徑，因此有細如髮絲的說法。

個很重要的角度，要不然它很容易就斷掉了，它鐵屑要怎麼跑出來啊，然後怎麼拋光，怎麼研磨，就是研究這段在做這個外表的時候，大概有一個禮拜的時間我們就在研究這個，研究這個大概十幾天吧。¹²

如果按照「技術趨同」的原則，臺灣有許多家塑膠擠型設備及模具的公司，為什麼只有采豐能夠實現這項技術？主要的原因在於采豐是 T 型模具加工廠商當中，少數擁有高精度的微細孔研磨機以及相關的精密加工設備和經驗：「要有機器啊，你就要搭配微細孔加工，還要有做這個流體的流道設計及加工這些經驗。」¹³ 但擁有加工設備機械不見得就能達到目標及這種精密度，挑戰在於對材料的瞭解，以及相關製程和流道的設計。

這些精密加工的製程涉及多種工藝，需要精進各種技術能力，研發出新的加工技術以達到所需的精度，從流道設計到開發量身訂做的微細孔加工刀具，需要層層相扣的技術能力。以所需的刀具來說：

其實它（刀具）每一個材質，鑽尖角設計都不一樣，還有路程也不一樣，在切削的條件，轉速、進級、切削液、溫度，跟機械特性全部都要符合，才有辦法一支 2,300 多孔的模具，沒有任何一孔都是 lost（漏）掉的。……因為以前我們做的只是小組（指模具）的，頂多大不了 200、300 孔，對我們來講是可以做的，但是我們今天是要量產（指鑽的孔數），每個月要量產那麼多，那麼長，那麼多孔，幾十萬孔，所以變成說第一個刀具壽命、穩定性一定要夠。我們經過測試，也瞭解到說，孔內的

12 訪談 A1-1。

13 訪談 A1-1。

精度要到多少，裡面的光滑度要到多少……。¹⁴

為了解決熔噴噴頭需要的精度，采豐鑽研微鑽加工技術，開發出可以加工這個特殊鋼材（模具）的刀具及相關製程，進而建立他們以前不具備的加工技術能力。¹⁵ 當時原本是要採購美國的航太工業用的鑽研刀，但是疫情期間只能買到少量，而且經過試用也沒有完全符合他們的需求。於是，采豐選擇自己研發出合適的刀具（見圖 4）。

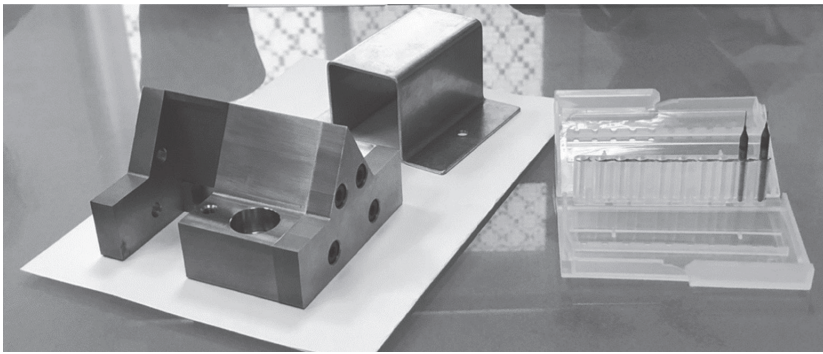


圖 4：噴頭模具樣品（左）與鑽孔刀具（右）

他們（指刀具代理商）交不出來，因為疫情期間，他們的庫存也不夠，因為我們要的量算很多，那時候我們也有買美國的，也有買日本的，其實我們有抓一些條件，測試起來他們各有自己的優缺點，但是我們自己會拿捏，我取美國這家的使用壽命，日本的塗層，然後美國的鑽尖角的設計，所以我們綜合所有的設計，我們自己畫圖，然後再轉交給刀具研磨廠去做加工，所以刀具算是我們自己研發，包含選棒材，包含所有的刀具的相關參數，然後它最後的塗層，就是它的鍍層，都是我們自

14 訪談 A2-2。

15 訪談 A2-2：「微鑽的話算是這一次，從熔噴開始才有接觸到，平常不會用到微鑽的」。

己的選擇。¹⁶

這個加工技術的研發涉及跨產業學習：

我們基本上不會特別去為了加工的東西，去開發它專用的刀具，因為那個成本太高了，基本上都會用現有的。因為這個微鑽是跟一般的架構是不一樣的，它其實是完全另外一個領域了，對我們來講它是有一定的難度。¹⁷

采豐透過臺灣的技術加工網絡，¹⁸找到刀具合作的供應商，應用在開發特殊鋼材需要的微鑽加工的刀具：

這是從（手機）業界問，如手機上面有很多很小的螺絲孔，包含喇叭孔，有的手機本體是鋁合金跟不鏽鋼組成，一定跟微鑽有關係。他們既然這種材質能做，那為什麼我這個 630（指特殊鋼）不能做，差別在哪裡？我們從中取得資訊以後，買國外的刀具再回來比對，我們自己會量測，我們投影量測出來，原來它是用這個角度，它是用這一個螺旋角，為什麼它可以鑽，我們就自己再去測試，然後因為廠商會基本提供一些參數，我們自己會再匹配過，找到一個最好的參數、最好的角度，我們再去重新設計一把刀具，再委外，因為我們自己沒有磨刀機，那就很精密的東西，我們再委外給磨刀廠去磨。¹⁹

16 訪談 A2-2。

17 訪談 A2-2。

18 微鑽加工的技术廣泛應用在 3C 電子產業（輕薄短小的特性），像是手機機殼的孔件，但是材料不同，精度及孔度設計要求都不一樣。

19 訪談 A2-2。

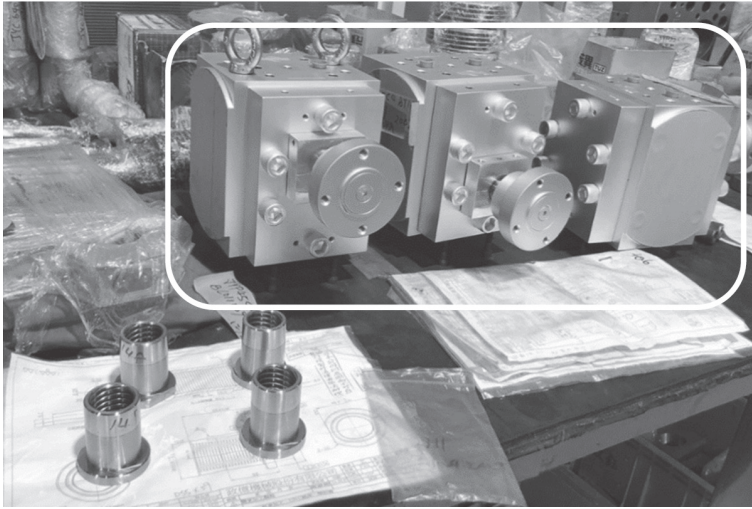


圖 5：控制出料的齒輪泵及其零組件（白框處為齒輪泵本體）

除了熔噴模具加工技術的突破，另一個熔噴設備零組件的關鍵突破是開發出齒輪泵（gear pump）來控制液態的材料經過流道以製成熔噴布（見圖 5）。²⁰ 雖然采豐以前有開發塑膠押出齒輪泵的經驗，但用在不同的塑材，這個突破即是要因應熔噴的出料方式，提高精度控制而去做的改變：

它要保持一個穩定的流量，這就是我們本來有在生產，只是我們生產的那個流動 mi 就是它的流動指數沒有高到 2,000。只是以前做的那個 mi 就大概是 30、50 這樣，頂多就是在 100 以內的，這差距就是我們這次的原料都大概 1,600 以上到 2,000 嘛（流動指數），所以它（指熔噴材料）非常的水，就跟水一樣，很容易溢出來，很容易就漏料，我們的 pump 是不適合用的，所以我們必須要再改造。這真的是這一次的一個突破的關鍵零

20 熔噴布製造業者過去是從德國和瑞士進口這一關鍵零組件。

組件。²¹

原本的原料（指他們平常用的塑材）我們加溫後可能會像麥芽糖，或是再稀一點，但是這種熔噴用的是像水一樣，因為這是齒輪跟齒輪，所以這個設計很重要，要不然很容易就漏了，它太水了。²²

除此之外，他們也添購許多電腦數值控制工具機（CNC），並依照他們的加工需求將工具機進行調整。這些加工設備大多是其他臺灣廠商自製的設備。這些例子也說明臺灣整個機械製造業及其開放式的技術加工網絡能夠支持這樣的精密加工，讓這個開發可以在短時間內成為可能。

（3）協力網絡的技術互賴

要開發這臺設備還需要利用其他協力廠商的專業，采豐是無法獨自完成的。采豐應用相關企業 30 年來累積的經驗人才和專業知識來實現這個任務：「再加上我們每一個工程師，我們這個集團大概有 300、400 個人，我們的各方面的人才都集結來說，什麼點就誰去克服。……這些人才，就是幾十年的經驗，為了這個產品，就是我們要馬上製造跟開發出來。」²³ 例如與 LM（姊妹廠）和其他協力廠商的分工：

我們就這樣整條生產線大概有 2,000 個零件，我們把它擬出來後，發現到模具是最久的製品，所以我們就把這整臺機器的責任就開始撥工作給各個關係企業公司，比如說 LM 就負責要把這個押出機的，這個（靜電）駐

21 訪談 A1-1。

22 訪談 A1-3。

23 訪談 A2-1。

極機要買回來組裝，看是怎麼組合啊，還有真空成型臺啊，吸引臺啊，還有這個收捲機。²⁴

除了 LM 負責開發整體設備之外，其他協力廠商如 SL 廠、TC 廠、CY 廠等材料 and 零組件加工廠商，各自利用其專業和資源來共同實現這個開發案。這些公司都位在同一個工業園區內且彼此相鄰，是采豐的關係企業，但是這些廠商有自己獨立的銷售通路及客戶，並不全然依賴母公司。²⁵如同臺灣許多的專業製造商，他們各自專注於一種加工工序、或是零組件的製程，或是設備製造。這些廠商都在設備開發過程中貢獻了各自的專業，有些協助提供材料與技術知識，有些則分享場地及生產薄膜的知識。例如 SL 是一家專門生產可用於生物分解產品的塑膠薄膜製造商，在薄膜製程上的專業協助拓展了熔噴布製程中的生產知識，尤其在生產製程的參數調整、調校機器等測試條件上與采豐有很多交流。在設備開發出來後，SL 後來也投入了熔噴布的生產。後續許多設備製程的改良，都是透過 SL 及購買設備的客戶的製造經驗的回饋。²⁶

從「技術互賴」的角度，所有製程及開發環環相扣，相關合作廠商都要一同精進才能實現，不是按圖模仿就能打造出機器：

其實就像我現在，講真的，我把刀具洩漏給我們的競爭對手，他沒有我相關的參數，也沒有我相關的條件，他也是做不出來的。其實它是環環相扣的。就好像一臺機器，從主軸、刀把，再到刀件，它要經過三關，那你這三個關卡你要怎麼穩定度到最後的偏擺度在幾 μ 內，這都是環環相扣的，主軸沒有準，刀把再準也沒有用，

24 訪談 A1-1。

25 訪談 A2-3。

26 訪談 A2-3、A1-3。

那你主軸有準，刀把不準，那也沒有用，所以這是一關扣一關的。²⁷

這些例子具體說明了這些製程上所需的技術能力和專業的互補，都是為了解決特定問題——即熔噴不織布模具及設備的需求——而構思的解決方案。技術突破來自這些專業廠商的技術知識和解決特定問題的能力及分工，缺一不可。所以研發是結合眾多的專業及與其他廠商合作，不是一家廠商獨自完成。

(4) 解決問題驅動的跨鏈創新

采豐團隊強調這整個熔噴設備的設計，是因應疫情下 PPE 業者對於熔噴布的需求，解決特定的問題而做的客製化設計。對他們而言，設計及開發新設備，就是解決特定問題和需求，找到滿足要求的解決方案，而不是遵循既有的藍圖來打造或模仿：

所以我們比較著重在於它的產品的要求到底是什麼，而不是我機臺要做成怎樣，它才能生出這個產品，這是不一樣的概念。……我只要能做出熔噴布，也就是熔噴布機臺，如果以這個角度來切入，說你要做一個機臺的話，它就比較不會搞得那麼複雜，因為你是沒有局限住的，而是我怎麼去做出這個布。²⁸

首先，他們根據臺灣熔噴布製造廠的需求及產量，重新設計機臺設備，而不是遵循傳統的重工業大型熔噴設備的設計。采豐的設備更適合臺灣的工廠，歐製設備的高度是 6.5 公尺，因為歐洲設計的設備是配合重工業大規模大量生產，采豐的則是 3.8 公尺高，有利於中小型製造商需求及臺灣廠房的設置。他們在設計

27 訪談 A2-2。

28 訪談 A2-4。

上跳出既有框架的思考模式，採取的工法與日本噴頭製造商的工法截然不同，但沒有在品質、產能和精度上妥協：

因為我們很多東西不是看到了（指逆向工程），是我們自己也設計。只是我們設計不像日本是做這個機器五十年，他們就是一直在做熔噴的機器，那我們是臨時來做的，所以設計完全是當下思考。……機器要怎麼樣把它縮小，要怎麼樣就是快速的造起來，這都需要設計。以前的那個螺桿的直徑都是九十以上，都很大，我們做才七十五，設計上就很小的一個螺桿就達到這樣的產能。²⁹

我們一些工法跟我要最短時間做完那個工法全部都不一樣。³⁰

為了改善熔噴設備後段生產的流程，采豐／LM 也對收捲機（捲布）重新設計：

我們其實做了好幾十種收捲機，但是從來沒有做過這種熔噴布的收捲機，我們發現收捲機收捲好了，一整捲一米六，要再送到分條機去分條，就又要做一臺分條機，這樣實在是太過耗時，我們就想辦法把它設計在這個收捲機裡面，可以直接分捲然後就上口罩機。就把它分捲成九個，所以我們這個寬度才會設計成一米六，這原因就是為了做成口罩。³¹

這些例子反映出專業製造商解決當下問題的即興創作能力，是奠基在他們長期累積的經驗與技術能力。

29 訪談 A1-1。

30 訪談 A1-3。

31 訪談 A1-1。

采豐及其協力廠商在不到兩個月內，完成了第一臺熔噴設備，並且也試做了第一批熔噴布。董事長回想當時的情況：「反正非常快，那天是母親節，5/8左右，第一試大家開心到不行，一試就試出來我們有想要邀請紡綜所來，但是跟他們也不是很熟，他們人還沒有來我們就開出來了啊，他們就拿布回去檢測。」³²也因為這個關係，紡綜所向熔噴布生產的龍頭企業——MC公司提到采豐可以做出熔噴生產設備，建議他們去看看。

MC廠商驚訝於采豐提供的是整機設備，包括熔噴機臺外的相關設備（像是靜電駐極機），而且設計出更容易上手的模組，不像以前要購買關鍵噴頭零件，再自行拼湊組裝一臺設備：「整套的。而且連分條都做好。然後呢，就是三個貨櫃來，裝起來就可以了。……就是它的模組化已經比以前好很多了。」³³透過使用者回饋及分享生產經驗，讓采豐能進一步改良設備的設計，改善熔噴布的壓差，讓口罩更為透氣。能夠在短時間完成熔噴布的增產，更是防疫期間的一大貢獻。

總的來說，采豐的案例具體闡述了創新和技術突破是如何在中間部門（生產設備廠商）發生，「技術趨同」和「技術互賴」的特質，說明了這些專業製造商如何衡量既有的技術能力及創新的可行性。解決問題和特定需求的邏輯指引著研發的方向，因此是有別於複製或是模仿的學習：

變成說我們去開發機臺，不是說用原生機臺去 copy，而是我們去怎麼讓它達到水駐極（指新技術的應用）的效果，一樣的原理，但是我們的做法可以用我現在的資源，我有什麼辦法去達到它，那它還是一樣是水駐極，

32 訪談 A1-1。

33 訪談 E1。

但是它是屬於我們的水駐極，而不是說水駐極本身這個東西是我們開發，而是我們的水駐極機臺是我們自己開發，不是去 copy 人家。³⁴

再者，這些創新需要廠商彼此的專業共同完成，接著就能反饋到周邊廠商，將無形且免費的技術成果帶動其他產業投入相關生產領域。比如說，采豐一開始的解決方案是因應疫情臺灣對於熔噴布的需求，這個研發過程中的突破，進而增進自己的專業加工及設計的能力，之後廠商就運用這個開發經驗所學得新的技術，來開發其它紡織材料生產設備，例如生產紡黏布的機臺。同時，一旦熔噴設備國產化，由在地的設備廠商提供基本熔噴布生產知識，降低進入門檻，進而吸引許多現有的 PPE 廠商或是新的業者投入熔噴布的生產，關鍵零組件的國產化也代表解決了設備維修的問題，縮短時間及生產成本，臺灣的 PPE 產業因此蓬勃發展。雖然采豐最初製造的設備僅能滿足常規醫用口罩的最低要求，然而經過持續改善製程和設計，並探索可能的新應用，已進而轉向高級濾材的研發與製造。³⁵

采豐及其合作廠商運用他們平常在塑膠擠型設備及模具累積的製造、加工技術和設計能力，動員既有的供應鏈合作夥伴的專業技術，和其他產業網絡中的資源，在兩個月內完成熔噴設備國產化的開發，這個突破應被理解為創新，因為廠商開發出的設備幫助解決疫情引發的熔噴布需求，帶動相關產業的發展，同時建構了他們以前不具備的技術能力。這個技術學習／創新的過程更有別於既有認為技術學習來自 OEM 代工或向買主學習的觀點。

34 訪談 A2-4。

35 訪談 A2-3。

2. 寶特工業與 SBP 熔噴聯盟

(1) 技術趨同的廠商與聯盟組成

寶特工業位於臺中市烏日區，是一家專門製造 PET 與 PP 材質寶特瓶吹瓶機的廠商，也是生產客製化模具和資本財設備的專業製造商，提供瓶裝水和可樂等飲料的寶特瓶生產設備。寶特的專業在於塑膠成型設備及相關模具的設計及加工，擁有各種金屬加工技術及模具製造的專業知識。寶特過去對於 PPE 產業並不熟悉，也不認識該產業的廠商。

早在 2020 年 3 月，熔噴布產量短缺的大量報導激發了寶特負責人的好奇，為投入熔噴設備研發的契機，3 月 9 日公司內部即召開第一次會議：

我就請我們研發部的同事，去把這東西到底是什麼，做一個 report，然後來跟我們做簡報。我們聽完了，其實裡面的材料我們並不陌生，就是 PP 的材料，……這些熔料我們都非常熟悉。那 PP 的材料既然我們不是很陌生，那我們也有押板材，我們有押 PLA 的板材，其實他跟押板材的製程也很像。³⁶

雖然發現這些相似之處，在決定投入開發之前，寶特對不織布加工的製程一無所知，所以是從 PP 材料的專業來理解熔噴布設備的開發，也就是從「技術趨同」的角度切入：

徹頭徹尾我都覺得我們都還是在做塑膠加工，就是這個現在我們戴的這些（指口罩）都是塑膠啊。我一直看這個事情就是這個樣子而已，可能不同的就是沒有在這個行業領域，你可能覺得這和瓶子不同，但是確實就是一

36 訪談 B1。

樣啊，就是塑膠啊。³⁷

於是，塑膠材料共通性的「技術趨同」，驅動了資本財設備廠商對技術創新的可能性與應用的探索，從而解決問題及創新突破：

對 PP 這個塑膠材料，其實不是那麼的陌生，那個加工的製程等等，但是我們熟悉的領域在把它吹成瓶子。……其中有一些部分，物理現象其實是很像的，就是我們是把塑膠材料，PP 塑膠材料或 PET 的塑膠材料，用氣的方式把它做延伸，吹成瓶子，那不織布的纖維，這種熔噴也是用氣的方式，去把絲（塑膠）拉長，本質上面是同樣的一個物理現象，只是用不同的形式跟型態，那對於這種塑膠加工的科學來說，專業的知識領域背景是一樣的。就是外部的人看好像覺得不一樣，但是就科學的角度來看，有很多相似的地方。要加熱，要達到塑膠材料的加工的溫度，要被延展，這些個物理現象其實都是一樣的。³⁸

除了寶特開始進行研究，剛好也有廠商正在探索。於是和 STM、PL 共組 SBP 熔噴布生產聯盟。³⁹ 聯盟成員各自的專長對應開發熔噴機設備的技術關聯性，說明了聯盟的組成：

在那個當下，剛好業界的朋友，就是 STM 的老闆也在研究不織布加工的製程，他的專長也是對塑膠材料的加工，做類似壓克力板，PET 的板子，PP 的板子，類似塑膠紙箱的中空隔板。更接近於要做成不織布口罩的地

37 訪談 B2。

38 訪談 B2。

39 訪談 B1。SBP 熔噴聯盟的 SBP 是由文中三家公司的英文縮寫所組成。

方，只差模具不一樣；他的模具是一個長條形，然後這個出口的地方就是等同於這個板子的厚度。那纖維的話，你可以想像它出來的地方，是一個孔、一個孔，那塑膠料出來就是一條、一條絲，這個時候就要靠氣體把塑膠料延伸，這又回到我們用氣體去加工塑膠料的專業了（指寶特），還差一個要把它吹得更長。各位有沒有發現，還少幾個角色的扮演，就是說既然是一個模具塑膠加工，透過一個模具出來是一個細長型，一個細細長長的線，然後再用高溫氣體拉長，那要把這個線收起來。能夠把布收起來，在朋友當中，原來做釣魚線的朋友，就有很多收捲的機器。那這個部分的專長就是PL了。⁴⁰

（2）技術互賴與同儕學習

完全沒有不織布設備開發的經驗，又面對高度不確定且時間緊迫的計畫，聯盟成員的專業技術能力以及其技術互補的分工，讓協同開發變成可能：

那在那個短期間裡面，一家公司要去把這些工作完成，可能時間上不允許……透過這種瞭解整個機器的運作原理，然後拆分成不同的技術段落，尋找現有的臺灣設備廠家，他們既有的技術能量跟能力，可以整合起來，這個事情就可以完成了。但是，若一家公司全部附帶所有的事情就不一樣了。以我寶特一家，不找STM，不找PL，那差遠了。我打個比方就是100分，各家假設（各）占三分之一，也就是33%，那我講我具有85%的能量，指的是我33%裡面的85%。那我還差66（%），加這個33的乘以15%，缺的，那要很長了喔。但（三家）加一加，你就覺得其實離完成工作不遠了啦。但是這件

40 訪談B2。

事情是大家齊頭並行，每一家對於承諾的事情都要做到喔。⁴¹

最後，一筆訂單直接讓這個聯盟從評估到成型，將想法化為具體的行動投入開發。WH 公司是食品包材供應大廠，主要生產紙盒、紙杯等，當時正探索進入醫療用具的機會，表示如果寶特等廠商能夠開發出熔噴設備，他們有興趣購買。這筆訂單把三家公司的身家信譽綁在一起，變成一個合作案，給予時間壓力，約定在兩個月內完成。⁴²

SBP 聯盟的分工是利用各家公司各自的專業知識和核心能力，以相互補充的技術專長加快產品的開發。SBP 聯盟一共動用了 300 多名工程師、投入了兩個月的時間來完成這項任務：STM 負責前段的塑膠熔融、擠出、壓出（圖 2 的 E）；寶特負責模具、噴氣、製程、成型、成網、材料過濾、靜電處理（基本上是圖 2 所指的 B、C、D）；PL 則負責後段收捲的製程（A）。寶特同時也扮演主導和協調的角色，包括負責整合所有開發計畫、研究熔噴布過濾檢測標準和相關法規及檢測設備。⁴³

在合作的過程中，聯盟的每一家廠商都專注於自己負責的模組，除了例行的正式會議以及每天的資料上傳外，⁴⁴他們也在業餘時間透過電話或網路進行討論，沒有一個成員在熔噴產業中有經驗可以領導別人，我們將這稱作是同儕之間的學習。成員之間的關係並不是像供應鏈中的買方對應於供應商的上下游關係，而是一種橫向和鬆散的耦合關係（loose coupling）：

41 訪談 B2。

42 訪談 B1。

43 訪談 B1。寶特以前曾經找其他廠商一同為客戶設置整廠生產線，至於與其他廠商一同開發一個新的設備，這是第一次。

44 寶特當時架構了雲端伺服器，供聯盟的成員上傳各自的研發成果。

我們平常都是朋友，大家都是機械公會的會員。我之前是塑膠專業委員會的副會長，這一屆才接會長。彼此大家多少會認識，我們也有跟 STM 買設備在使用。PL 也是認識，但是那個工作的交流比較少，他同在機械公會的塑膠加工領域……大家多少都會因為國際展覽的時間碰在一起。其實在臺灣的塑膠行業領域，口碑好的，名氣好的，就是我們常常碰面的這些個廠商，……能夠在國際市場上占有一席之地。基本上大家都沒有特別去宣揚，但是表現非常好……。⁴⁵

雖然彼此過去沒有太多的商業往來，但是透過水平的連結，像是機械公會中塑膠專業委員會的互動以及國際參展，各自在業界的聲譽以及專長領域的翹楚，建立對彼此能力的瞭解及信任的共識及共事的基礎，一起合作進行這個開發案。

(3) 跨鏈連結的研發創新

SBP 成員不僅在聯盟內部相互學習，也向聯盟外的廠商請益，像是向石化材料供應商、塑膠中心等研發機構尋求材料方面的協助，同時也向逢甲材料系、紡綜所等機構請益。另外，他們也從那些有操作熔噴機器的專家吸取實際生產經驗中的技術知識，更利用臺灣中部精密機械產業的技術資源來幫助他們解決疑難問題。這些都是建立在他們產業中長期累積的經驗人脈，以及和其他業者及研發機構互動所構成的網絡，所以當碰到問題時，知道去找誰詢問：

我們原來就跟業界有很深的交往，我們跟工研院、塑膠中心、精密機械發展中心、機械公會、機械零組件公會，其實我們都平常就有在往來，……那不管是這些公法

45 訪談 B2。

人跟學校的產學合作，其實我們也都是經年累月，不曾中斷，現在我們也跟成大，也跟虎科大，那之前我們也曾跟雲科大、中興、逢甲，我們都有很多的產學合作，甚至當時有透過同學去問逢甲紡織，現在叫逢甲材料科學吧。⁴⁶

那麼 SBP 聯盟如何跨越自己在塑膠機械的專業及網絡，建立生產熔噴設備及熔噴布生產的知識，達到跨鏈創新的結果？首先：在沒有 PPE 產業知識的情況下建立自己的知識與技術能力，向紡綜所請益是他們跨鏈的第一步。他們從研讀已發表的論文和相關文獻開始（像是紡綜所發表的相關研究），並將這些知識融入他們的設計中。⁴⁷ 其次，他們也邀集了產業資深前輩和專家來解決問題。因為向紡綜所請教測試的問題，進而和不織布公會有所聯繫（後面會說明）：

要跨了，那個時候請教的朋友不單單只是塑膠加工的朋友，因為你需要的專業知識，塑膠只是一個出發點而已。你開始做這些個產品之後，那些不織布的專業知識跟檢驗，那是另外一個領域的。在機器還沒造好的時候，那個 C 理事長跟紡綜所他們的人都有來關心過。⁴⁸

透過紡綜所的推薦，他們向中部的檢測單位如中山醫學院職業安全衛生實驗室諮詢檢測服務。公共研發機構的測試實驗室通常不僅是測試的場所，同時也是資訊情報交流站。交流的內容包括如何達到標準、問題在哪、如何解決，以及排除研發上的障礙，和各種 PPE 產業專業知識的非正式交流。透過與 PPE 相關的檢測單位合作，進而學習關於熔噴檢測的相關知識：

46 訪談 B1。

47 訪談 B1。

48 訪談 B2。

我找中山醫大……他們有一個主任來跟我們上課，解釋法規。那最快的方式就是紡綜所那邊訂設備，我也問美國，我也問中國，反正就是分好多條路，因為時間到了我必須把這個工作完成。還要出 report，那中山醫大，那個職安會 L 老師那邊就協助我們，我們當時就這裡早上做好了，然後就馬上把開車過去二十分鐘。他們有一個檢測中心，我們就去找他，然後在檢測的過程當中，就知道這些要注意什麼，處理什麼。⁴⁹

進入熔噴設備及生產，其中須補足的專業知識及相關設備包括檢測、過濾及靜電駐極等。SBP 聯盟積極的從原來的網絡延伸拓展向各領域專家請教，從紡綜所到具有產學合作經驗的大學教授，從中學習關於靜電駐極的理論和生產知識，並將其應用：

他們（指紡綜所）也寫了很多有關熔噴方面的論文，請同事們去把那些論文一本本去找來讀啊。⁵⁰

其實在臺灣有很好的環境，你只要進到博碩士論文網，你去看一下，原來某某老師做過這個事。如我看到了逢甲的老師，有做過靜電駐極，他的論文強調的是在不同溫度底下，靜電駐極的效果會怎麼樣，我就找一下那個老師的背景，我發現他曾經執行過的計畫案是我周遭的朋友。我就請我的朋友，那個某某老師做過這個題目，是不是產品發表會的時候可以把老師找來，然後那（位）老師就很熱心的來了，然後就聊啊。⁵¹

另外在執行計畫的過程當中，我們找紡綜所直接針對我

49 訪談 B1。

50 訪談 B1。

51 訪談 B2。

們的現況，替我們量身打造不織布的課程。紡綜所就安排了文化大學 W 老師來上課，然後同事們就拿了很多的問題，老師上完課就馬上請教老師，老師自己也有實驗室，碰過太多這方面的問題，所以就一一地跟我們解釋這是什麼情形，這溫度太高，溫度太低，（或）風太強等，就幾堂課之後，一群同事（已經）實際從事這方面的工作，再加上老師依照實務碰到的這些情形做解釋，可能朝哪個方向解決問題等等，更多的（問題）就解決了。⁵²

這些專業技術及相關的技術細節，就在這些看似非正式的討論中傳遞，這些研發過程往往無法透過正式量測工具來捕捉，也因為這種形式的研發與資訊交流不是在廠內發生，而是在臺灣分散型加工網絡中跨產業的傳播，因此超越了對產業界線（industrial boundary）既有的認知。

再者，這些專家的提點及經驗分享，縮短廠商學習摸索的曲線，幫助理解技術的秘訣，像是和紡綜所專家的簡短交流，幫助他們找到問題的解方：

不織布生產的過程當中，要成為熔噴布具有的過濾效果，其實不是單單一個 PP 材料能完成，還要有添加劑，那添加劑有什麼特性？這些特性在製程當中，要做什麼事情、要留意什麼？在建置這整個生產線的時候，這些材料的配方、製程 Point 的管制，是不是都有考慮到了？那既然是一個工程的事情，點一下，大概就知道這個有做，這個沒做，這個沒有注意到，就減少了很多摸索的時間，這個可能十分鐘的對談，比起要看書要看一個禮拜。或者是說我們聊完了之後，可能之前我看過的

52 訪談 B2。

paper，有看過但是沒有詳細看，覺得不重要，或許他這樣談一談，那個很重要，可能要回頭再去看看，那裡面講的內容是什麼。

那（指駐極材料）就有很多的選擇了嘛，有的 Niosh 可以選擇 A 選擇 B，那會有產生什麼效果，類似這些其實紡綜所他們有很多的經驗，他就聊一聊。那個賣材料的來，給了一大堆材料的 data。經過他（紡綜所專家）這樣簡單的兩句話，喔原來這些 data，這個在講這個，這個在講這個，知道了，回過頭再叫材料的人過來，這個也都是縮短了很多的摸索。你去找材料的人，他就是賣你材料而已，他想賣你他想賣的。若沒有他（指紡綜所專家）從使用端的經驗，簡單的描述一下剛剛我講的這些事，我們就知道，原來真正在產品的應用上面，可能我們要選擇哪一個方面的駐極體是對我們最有效的。⁵³

這些不同形式與跨領域的學習及探索，超越既有研發邊界的理解。這不是草根研發，也非單純的代工或是做中學，而是立基在理論基礎上，進行實際的驗證和測試。只是這些知識的學習和資訊流動的管道，是在分散式網絡的產業結構中，透過非正式場合的討論交流發生，不是只在自家廠內實驗室發生。⁵⁴ 這種交流和經驗分享的互動模式，普遍存在於本個案與研發機構、與其他公司之間。

在接近完成的時候，寶特找來熔噴產業前輩幫忙，解決當時產線開不出來的危機。當時是 2020 年 6 月，聯盟做出了第一臺

53 訪談 B2。

54 譬如說當我們詢問聯盟現在是否繼續開會討論時，受訪者的回答是：「不用開會，我們電話聊天時都在討論這些問題。」（訪談 B1）

設備並進行試運轉，然而直到發表會的前五天，都還沒辦法達到設定的產量和品質：

就好像我們造一輛跑車，最後還是缺一個賽車手啊，能夠上到車子裡面去把跑車的性能試出來，同樣的道理，機器造好了之後，所有這幾家廠商，雖然大家都對 PP 的材料不陌生，但是也確實沒有任何一家真的有做過，把它做成絲，結成布。……我們還缺一個真正使用過熔噴機，然後用熔噴機生產熔噴布的人，所以在機器還沒造好的那一陣子，其實我們就已經開始陸陸續續地想方法地去連結這方面的專家。⁵⁵

經過找到的專家在機臺的測試與參數調整上指點，才終於解決問題。⁵⁶ 諮詢的過程也不是透過正式契約安排進行，也就是說，這些交流是以解決問題在先，合作業務未來也許會伴隨而來，但不是先有正式契約，才有 L 博士的專家諮詢：

那就幾次的碰面啊，就跟他請教啊，剛好他自己本身也還在從事這方面的事情，他也希望瞭解我們製造出來的機械設備的品質，……他花了很多的時間、精力，去瞭解這一臺機器，也協助幫忙點出這個機器上面有一些製程，或者什麼應該要改進的地方。他下一步的計畫是，如果有機會透過他的人脈，要把這個機器銷售到美國。⁵⁷

上述的內容說明了透過分散式產業網絡中各種情境的弱連繫，延伸認識相關領域的人，跨領域交流因而可能。

55 訪談 B2。

56 在後續的新聞中，寶特也對這些幕後的協助者表達感謝：「幕後有非常多付出的英雄，有『熔噴濾芯之父』的 L 博士及其團隊更是功不可沒，在機臺的調校和測試都給予聯盟很多點撥指導。」（經濟日報 2020/06/23, A10）

57 訪談 B2。

此案例的研發過程，一開始是自學，就像研究生一樣研讀書籍文獻，然後彙整問題，請教各種專家和具有業界經驗的人來尋求解決方案。這說明廠商透過開放式產業網絡，串聯不同領域的專業知識和應用，來減輕自己學習的局限。這些突破其實是在一連串的學習探索的過程中形成：

這些工程的參數很多就在論文、技術資料上面很多都可以找得到，所以在建構這些設備的時候，就把別人所看到、想到的所有問題在設計的階段就把它放進來。……反正每一個關卡都有工程上要克服的問題，……就好像大家都有共同的經驗，學游泳。游泳的書看了一大堆，下了游泳池就是不會游泳。……就叫一個真正會游泳的，到底你哪個姿勢不對，這個調一下，這個哪裡不對，趕緊調整，把這些成果，就是成績調整到正確的位置，那當然後來陸陸續續還是有再做很多的優化。⁵⁸

這個研發案並沒有在達到熔噴布生產的門檻就結束，寶特繼續探索新的應用並改進設計和生產。例如，儘管最初第一臺設備是外購關鍵零件噴絲板，但他們後續投資新的加工設備，應用吹瓶模具加工製程的專業知識來開發這個模具，建立在這方面的加工技術能力：「把生產製造的能力也重新在我們自己內部建立起來，後續 WH 老闆，要買噴絲板的時候，就是我們自製供給他的。」⁵⁹ 此外，他們也繼續探索熔噴產品的新應用，例如使用不同的材料，如生物可分解材料，或探索在香菸濾嘴上的應用，並通過合作案和研討課程與紡綜所進行後續合作。

這個案例具體呈現設備廠商如何透過運用分散式產業網絡的各種資源學習，以及如何藉由「到處請教人家」來解決問題，藉

58 訪談 B1。

59 訪談 B2。

此克服他們在自主學習及同儕學習的局限，也克服了做為新手將所學付諸實際生產過程中的種種問題，最終建立了在熔噴材料和製造設備上的知識及技術能力。這些技術能力的養成，包括提出問題及訊息判斷的快速吸收能力，是建立在廠商多年專業經驗的累積，以及許多相關協力廠商的技術能力共同完成的，缺一不可。

（三）跨鏈的橋樑：公共研發機構及產業公會

熔噴機國產化的兩個案例，具體說明專業製造廠的技術能力透過「技術互賴」與「技術趨同」的機制，尋找「跨鏈」的技術網絡的範圍及評估可行性，進而跨出既有生產網絡，動員其他網絡及資源，進而連結到另一個產業的生產網絡。但是要如何開始跨？要如何和過去都沒有任何接觸的 PPE 產業的人、事、物開始建立關係？如果沒有成功地跨出第一步，就不會有學習新產業的技術及知識的可能。

上述的兩個案例中都提到，要取得那些他們原先沒有的知識，第一步就是與紡綜所聯繫，因為紡綜所提供廠商測試的服務以及檢測的標準和規範，特別是醫療等級的熔噴布標準。⁶⁰因此，紡綜所的測試服務，成為本文案例轉換跑道「跨鏈」的進入點：

最主要還是對於熔噴布本體的檢測標準，這個對我們來說是非常重要，一開始我們只知道說，布出來是長這個樣子，然後再來是這樣子的布有沒有符合到現有醫療等級的規範是怎麼樣，所以他們在這一方面的資料，就是

60 「而且他們也有檢測設備」訪談 B2、A2-2。紡綜所也提供廠商有關測試設備選購的建議。

對我們幫助很大。⁶¹

在開發過程中，公共研發機構是一個重要的樞紐，串接起不同的生產網絡，鼓勵探索不同的解決方案。首先，公共研發機構幫助縮短廠商的學習曲線，采豐／LM 團隊當時去紡綜所做實驗的工程師，描述在紡綜所第一次看到熔噴成型的生產方式：

在那之前我們完全不知道模頭噴到底是什麼，因為我是機械廠的，以我來看，我完全不知道說模具可以用噴的，我也不知道噴是什麼。我們以前出來的東西是流的，它不是一個模，就是一個板子。⁶²

在當下他們並不認識 PPE 產業的業者，所以紡綜所是他們跨鏈學習進入熔噴布設備及生產知識的第一步。

寶特也是透過紡綜所與 PPE 產業建立聯繫。一開始是先向紡綜所請教測試過程中的疑難問題，這個互動帶出了後續與 PPE 產業的連結與資訊交流。測試組 H 博士將這家廠商正在進行熔噴設備開發的消息告知不織布公會 C 理事長。當時不織布公會負責口罩國家隊熔噴布的分配，正為了熔噴布短缺的問題苦惱，若熔噴設備能夠在地化生產將有助於熔噴布增產，解決眼前急迫的問題。寶特透過紡綜所的測試服務和不織布公會建立聯繫，產生後續的交流與相關協助。⁶³ 之後，不織布公會成員參加寶特的產品發表會，也在同一天拜訪采豐，因此和兩個廠家有了直接的接觸。

61 訪談 A2-5。

62 訪談 A2-4。

63 訪談 B1、B2。「因為過程當中我們不是在業界都要請教人家嗎？要到紡綜所問啊，那自然而然就知道這裡，後來 C 理事長也打個電話說他要過來瞭解一下目前的狀況、碰到什麼困難、有什麼需要協助的，他就來啦！他帶了，我記得 H 博士、P 博士，還有那個所長室的 S 特助。」

另外，研發機構提供測試服務時，許多問題的解決、障礙排除以及資訊交流也同時發生在這些情境中。例如，研究人員根據測試結果分享如何改善品質，以及問題的解方和相關製程知識，這些交流內容及經驗分享，以及後續技術網絡的聯繫，往往超越測試服務本身：

我們後來還是有很多的布料送去 H 博士那邊，就常常到現在也還在煩他，那包括 P 博士也都是，陸陸續續都還會煩他們，其實這個部分，要看廠商自己有沒有提問。你有提問，這些公法人他們不會藏私的就跟你電話或者是交流的過程當中就會跟你說。他們都會很樂意去回答這些事。⁶⁴

這些聯繫說明了研發過程中非正式的面向，也就是說這些研發活動不只是在公司內部發生，而是透過許多與他人的各種互動和交流進行的。

這些案例說明有關技術和市場等產業知識，透過非正式互動和交流傳播，跨越了廠商平時所處的生產與商業交易網絡，在分散式的生產網絡的情境下，從一個產業鏈進入另一個產業鏈，知識在交流及這些會面之中傳播，公共研發機構及公會是這些不同技術網絡的節點及切入點，跨鏈創新於是發生。公會 C 理事長回憶當初與寶特見面的情形及他當時的想法：

那時候我記得他那第一臺機器快好的時候大概還有兩個禮拜、三個禮拜左右，還是更久。那東西還不行，所以還在測。我好像去他那邊兩次，就是都是帶紡綜所的人，他們對熔噴布都是最熟的。……那時候都完全純幫忙。那我帶他們下去，主要是讓紡綜所的人更瞭解他的

64 訪談 B2。

設備。紡綜所他們在技術上很強，那我們業者的話，等於是這個後面的需求會比較知道，所以等於是大家配合起來。H董又是技術的，所以基本上就大家講得很愉快，知道那個 key 在什麼地方。所以等於是幫他們……因為對我來講最重要的是，怎麼樣讓他們的設備能夠很快的上市而且很穩定。⁶⁵

這兩個案例的廠商與研發機構的交流，說明了分散式的生產網絡中，解決問題導向和網絡之間的技術互補特性考量所衍生的技術學習，不是來自既有熟識的人際網絡，也不是單純市場導向的使用者付費的商業活動。以不織布公會 C 理事長與紡綜所的研究人員向采豐、寶特等新進廠商分享資訊及技術交流為例，最初是為了要排除障礙和解決當下問題，不是因為人情，也不是商業考量，但是一旦問題解決了，技術能力建立了，業務機會或生意可能即隨之而來：⁶⁶

紡綜所那時候我覺得蠻幫忙的，那時候他們忙得不得了！因為口罩廠商都要找他們測試啊。那他就還要撥時間出來幫他們（指采豐和寶特）測東西，可是這個沒辦法，為了希望能夠讓他們很快進去投產的話，就要幫他們這個忙。他們也沒測試機啊，那時候都買不到測試機。

其實這段時間我覺得賺錢是要賺錢啦，但是大家剛開始做這件事情的時候不是為了賺錢，先想解決事情。然後賺錢才是後面附加的，妳知道嗎？就是讓他知道說我們現在不管公會或者是紡綜所都有這些能量，看看我們能

65 訪談 D2。

66 這裡指的是後續紡綜所與這些公司有一些研發合作案，因為這些廠商後續進入熔噴產業，要繼續精進；但當下的交流是沒有將這些考慮進去。

夠幫你做些什麼。因為他也是不熟（口罩），那口罩我最熟，所以我們就會能夠把這個部分給他一些建議。⁶⁷

對於紡綜所的研究人員來說，這些拜訪和交流的過程其實也是在衡量兩家公司技術的能力和達成任務的可行性。⁶⁸ 因此，這些會面交流對於雙方來說都是學習，水平的雙向學習，而不是只有研發機構轉移技術給廠家的上對下關係。當時政府提出熔噴機國產化的補助計畫，⁶⁹ 來解決熔噴布短缺的問題，因此紡綜所研究人員關心這些公司的技術水準，因為牽涉到這個方案的可行性，以及能否解決當下熔噴布短缺的問題。紡綜所介紹熔噴布 MC 製造商給采豐，其實也是藉由 MC 來瞭解這個設備製造商的技術能力可否實踐這個方案。所以這些引介及交流過程，不僅涉及熔噴布生產業者與設備廠商的交流，還涉及評估新進設備商的技術能力，以及是否需要進行備案。⁷⁰

因為熔噴設備補助方案，紡綜所協助采豐和 LM 進行測試，並分享靜電駐極和熔噴不織布生產的知識，⁷¹ 采豐團隊也提到他們與紡綜所的雙向交流經驗，以及他們的投入如何活絡熔噴產業：

67 訪談 D2。

68 訪談 F1。

69 經濟部工業局透過「熔噴不織布機建置計畫」，補助國內 2 家熔噴布生產大廠各採購一臺國產熔噴設備機臺。經新聞，2020/07/02，「台灣首座 100% 國產熔噴布新機正式啟用」，取用自：<https://www.economic-news.tw/2020/07/meltblown.html>。檢索日期：2022/04/26。這裡必須特別說明的是，這個補助計畫不是誘使廠商投入產品開發的關鍵因素，事實上，補助計畫是政府得知有廠商投入設備研發後才提出來。該計畫充其量可以說是促使紡綜所將設備使用商與新的設備開發商聯繫起來，尋求共同解決問題的合作，並透過一些交流拜訪，讓新進的設備開發商順利開發出符合 PPE 產業需求的設備。而這些研發過程是在非正式的情境裡發生，有別於既有正式研發的補助。

70 工業局前民生工業組組長提到他當時的擔憂：「我知道他們（指熔噴布生產廠商）有哪些東西，我說你最難的就是那個頭（熔噴頭）。其實當初我沒有想到他（采豐），我說他要去鑽可能大家也沒有信心。」（訪談 C1）「請熔噴布廠商用他們備用的噴嘴來拼裝一臺新的機器，這就是當時政府增產熔噴設備並提供 2,000 萬補助計畫的緣由。」（訪談 F1）

71 訪談 F1。

紡研所其實他們一直希望有人來做這種設備，不織布的設備其實臺灣幾乎沒有人做。所以他們看到我們願意投入，甚至連紡棉機都願意投入的時候，他們其實是滿感動的。他跟我講說，我們（指熔噴布產業）30年來像一灘死水一樣，然後現在感覺好像那個水有開始動起來了，所以其實現在來講，反倒比較多的合作，都是紡研所提出來跟我們配合。⁷²

於是，紡綜所是防疫熔噴設備國產化過程的跨鏈創新學習的樞紐，同時也是資訊情報站。產業知識的傳遞，不只是在正式安排的技術服務或是技術轉移，技術也是雙向交流，問題的解決則在各種情境中進行。再者，不織布公會在這過程中也是另一個重要的公共機構，在這兩個案例中做為連接公共研發機構和 PPE 產業及跨鏈廠商之間的橋樑。

四、結論與討論

本文透過采豐和寶特兩個案例，說明疫情當下臺灣廠商如何開發出符合標準的熔噴設備，成功達到國產化的過程。采豐及其協力廠商在熔噴模具及設備的技術突破，讓 PPE 業界人士感到驚訝。而在寶特的案例中，SBP 聯盟提供整個熔噴設備及製程的解決方案，生產知識及檢測方法也幫助新進廠商 WH 及其他廠商順利投入醫療口罩及熔噴布生產，並取得國家醫療證照。這兩個案例所開發出來的設備，伴隨整套的相關生產及檢驗知識，降低了新進廠商的進入門檻，技術因而蔓延。

熔噴布設備的突破帶動後續的技術擴散，不僅激發了下游熔噴布生產廠商的投入，同時帶動上游廠商台塑與台化針對熔噴粒

72 訪談 A2-3。

子的材料投入研究，研發材料的配方，而寶特和采豐這兩家跨鏈加入的設備廠商則持續探索熔噴材料在其他領域的應用。⁷³ 技術突破與創新來自一群人共同去研發，如業者常說的「打群架」，而不是單打獨鬥。也就是說，中間部門的突破，帶動產業的發展，誘發更多周邊相關的探索與創新。於是，臺灣的熔噴布產線從疫情前的六條產線，在六個月內增加到 50 多條線，成功解決熔噴布短缺的問題，以及吸引許多廠商進入熔噴布生產，也幫助臺灣防堵疫情獲得成效。

這個跨鏈創新的觀點，超越現有對於臺灣中小企業技術學習及創新論述的理解：包括認為中小企業因其小規模及零散化的結構，多是無技術的生產者，不投入也沒能力研發，只能從事 OEM 代工，而且他們的技術通常被視為是複製或是模仿。再者，技術創新通常被認為是來自最終成品大廠，研發及學習來自領導廠商，或是企業內部，或是來自國家由上到下的個別廠商技術移轉。本文案例指出：這些技術突破與創新，發生在分散式生產網絡的情境下，源自於不同網絡和同儕的橫向學習，是由專業製造商及其帶動群體的研發創新行動。所以網絡中廠商的研發不僅是在廠家內的實驗室進行，也積極利用外部資源從事研發，解決技術上的問題及需求、帶出各種互動討論，而不是因為人情。它發生在各種情境中，超越了正式的、由上而下的互動，在非正式場合之間，甚至跨產業或到過去沒有機會接觸到的生產網絡與相關人事物，透過各種串連進行技術知識的交流。因此，網絡之間的學習來自各個方向，跨越既有理解的產業界線及分類，跨鏈創新於是可能。

於是，中間部門的生產設備國產化，以及這個過程所帶動的技術創新，提供我們重新思考產業升級的指標與創新的驅動者。

73 訪談 D1。

傳統後進國家的產業升級，通常是指從傳統產業到高科技的跨部門升級，或是國家透過研發補助來鼓勵廠商投資進入新興產業及創新，但是這些所謂高階的製造，通常伴隨進口關鍵零組件及資本財的生產設備，創新指標是最終成品及其個別廠商技術能力，本文呈現中間部門的生產設備國產化，及群體所帶動的技術突破和擴散，提供另一個理解產業升級及創新的具體案例與指標。

紡綜所與產業網絡互動的經驗，讓我們重新定義公共研發機構在分散式生產網絡體系的角色。本文提出公共研發機構是臺灣分散式生產體系的一環，位居結構洞的位置，促進不同生產網絡之間的傳播資訊，以及產業鏈間的連合，本身也從這些交流中受益。公共研發機構不只扮演在新興產業橋接全球技術網絡，獲取國外新資訊和技術，來連結在地技術網絡，以彌補在地協力網絡強連結的資訊閉鎖的弱點；更重要的是，它們串連在地不同產業鏈，協助專業製造商驅動技術研發的網絡，傳遞資訊縮短學習曲線，促成供應鏈國產化。本文提供一個分散式生產網絡如何研發創新的不同圖像，解釋了分散式生產網絡廠商的多元學習取徑。

市場需求或是政府的誘因可以解釋廠商的創新嗎？本文案例對於疫情需求的快速回應，一開始起於市場需求，疫情導致 PPE 需求激增，誘使企業投入研發回應，也因為疫情的急迫性而使得國家必須介入 PPE 產業，協調 PPE 供應鏈及口罩生產。然而，光是市場的需求或是國家的介入並不表示設備開發就會成功。COVID-19 疫情期間，PPE 物資全球供應短缺，許多國家也都嘗試發展自主的 PPE 供應鏈或是試圖增產，但不是無法說服廠商，就是沒有能力生產熔噴布，更別說是生產設備，終究還是等待供應鏈恢復，仰賴進口來解決 (Dallas et al. 2021)。

政府的確啟動了熔噴機國產化補助計畫的獎勵措施，但並不是驅動熔噴設備開發的動力。如前所述，兩家廠商在三月份即時

回應了市場需求，開始探索開發熔噴設備的可能，而政府的國產化補助計畫是在五月才發生。廠商開發是自主的，利用分散式網絡的生產體系，及如紡綜所的測試實驗室等公共財和研發資源，而不是透過政府的研發補助才開始啟動。當時國產設備的補助計畫，反而說明了國家對於熔噴布生產業者的肯定，以此感謝這些廠商願意以低於國際市場的行情，大量生產熔噴布提供給國家的措施。也就是說，即使沒有這個補助案，在當時熔噴設備需求急切的情況下，廠商還是會自行研發的。只是有了這計畫，或許加速了紡綜所尋找可以合作且有技術能力的廠家，進而建立與案例中兩個廠商之間的聯繫，帶動後續的各種情境的交流。

那麼，在正常的情况下，跨鏈創新仍然可行嗎？熔噴機國產化案例中呈現的跨鏈創新，只是特定時空下，如疫情以及疫情造成的全球供應鏈斷鏈危機的產物嗎？熔噴機國產化案例，說明了廠商在分散式生產網絡的結構與國家合作，因應疫情爆發衍生的需求與危機。快速回應以及解決問題的能力則是來自長時間的準備（long-term preparedness），包括國家與產業之間長期的連結、廣泛工業基礎的能力，以及整合不同知識及專業領域以及製造的能力。舉例來說，製造熔噴設備國產化所需的知識與專業，含括上游材料的石化工業和不織布材料科學，以及下游的熔噴布製造的生產知識和技術。至於中間部門的設備開發，則連結了塑膠押出設備、金屬機械加工產業。設備製造商除了連結到其本業的網絡，也和機械公會及其他產業研發機構建立技術的交流網絡。這種以多重橫向聯繫來進行學習並建立技術能力，並非短時間能夠建立的，因此疫情期間觸發的創新，並不能視為是特定時空的產物。

最後，本文透過公共研發機構與分散式生產網絡的運作過程，重新概念化國家如何與中小企業網絡體系連結及合作。具體來說，國家與私部門的關係圖像不是從上而下，而是國家與網絡

中的行動者以多種方式聯繫在一起，遍及基層政府官員、研發機構的工程師與中小企業網絡，為分散式產業結構中的廠商提供「隱藏的創新基礎建設」(hidden infrastructure)，進而導引創新。稱其為隱藏的基礎建設，是因為它們與經濟活動的連結不明顯，貢獻不易被清楚看見。政府長期以來有許多播種式的技術開發探索計畫，儘管需求很小，也不一定受到注意，像是紡綜所自 2005 年建立的不織布測試實驗室、研發制定醫療級口罩和各種過濾材料的測試標準等，並與經濟部工業局共同投入不織布研究。⁷⁴ 另外，工業局在 1990 年初期與工研院、紡綜所和臺灣廠商合作，協助引進開發靜電駐極技術，促進在地供應鏈的發展。⁷⁵ 換句話說，公共研發機構（如紡綜所）與業界交流及研發能力，其實來自許多不受注意的合作計畫的長期累積與準備。

沒有人預料到 COVID-19 疫情的全球大流行，三年來國人共同遭遇防疫所必須遵守的各種措施，而口罩一直是我們最主要的個人防護工具，這個重要的防疫物資能夠充分供應，背後是許多行動者在緊急的狀態下透過網絡試圖解決問題的成果。以本文的熔噴設備為例，既有的模仿、代工或是國家領導的論述都不足以解釋，而是臺灣長期以來中小企業網絡體系的技術能力及產業韌性的展現，也就是專業製造商為了解決其他產業的問題，透過技術趨同與技術互賴的機制在分散式的產業網絡驅動群體技術學習與擴散，連結不同的產業網絡，公共研發機構和公協會等組織做為網絡結構洞的連結，所實現跨越既有產業界線的跨鏈創新，不但為疫情期間的臺灣守護大家的平安，其案例也兼具了實證與理論的意涵。

74 訪談 F1、G1。

75 訪談 C2。

作者簡介

謝斐宇

中央研究院社會學研究所副研究員。主要研究著作環繞在臺灣中小企業網絡的技術學習與創新，以機械相關產業為實證研究的案例，以及東亞國家發展模式的比較。目前聚焦解釋網絡式生產體系運作的機制與邏輯，重新概念化另類發展模式下國家與經濟的關係，進行中的研究包括東亞發展型國家的起源，冷戰脈絡下地緣政治與技術發展之間的關係。近作如“Taiwan’s Quest for an Innovation Economy: A Tale of Two Transformations”、“South Korean SMEs and the Quest for an Innovation Economy”、〈從頭家島到隱形冠軍：台灣中小企業的轉型，1996-2011〉等。

潘美玲

國立陽明交通大學人文社會學系教授兼系主任。美國杜克大學社會學博士。長期關注產業全球化與全球制度的關聯與社會後果，同時也進行跨國移民、難民、無國籍者的求生策略研究。Covid-19 疫情爆發以來，關注全球供應鏈的斷裂、轉移與重組的議題，包括 PPE 產業鏈以及臺灣半導體產業。編有《客家與族群研究的技藝》（與張維安、許維德合編，國立陽明交通大學出版社，2021）；《巷仔口社會學 3：如果贏者全拿，我們還剩下什麼？》（與王宏仁合編，大家出版社，2019）；《台灣的後基因體時代：新科技的典範轉移與挑戰》（與蔡友月、陳宗文合編，國立交通大學出版社，2019）。

鄭志鵬

國立清華大學通識教育中心與社會學研究所合聘副教授，主要研究領域為經濟社會學與制度分析。長期關注臺灣產業發展與轉型、臺商跨國投資，以及中國經濟社會轉變。近期關注焦點包括臺灣技職教育的技能形成、臺灣中小企業生產網絡重組創新，和臺灣青年人才的跨海

峽流動及其政治社會影響。相關論文曾發表在《台灣社會學》、《臺灣社會學刊》、《人文及社會科學集刊》、Harvard University Press、Routledge Press、中央研究院社會學研究所、左岸、大家等國內外期刊與出版社。

附錄1：研究訪談名單

受訪者編號	訪談時間	單位／職稱
A1-1	2021/04/06	采豐董事長
A1-2		采豐副董事長
A1-3		采豐總經理
A1-4		采豐生產技術經理
A1-5		LM業務經理
A2-1	2022/01/24	采豐董事長
A2-2		采豐生產技術經理
A2-3		LM業務經理
A2-4		LM區域經理
A2-5		采豐專案工程師
B1	2021/04/06	寶特董事長
B2	2022/01/12	
C1	2021/04/16	前工業局民生化工組組長
C2	2021/05/06	
D1	2021/03/26	不織布公會理事長
D2	2022/01/25	
E1	2021/03/29	前MC董事長
F1	2021/12/15	紡綜所不織布組組長
G1	2020/12/02	紡織產業綜合研究所產品部主任

參考書目

- 川上桃子，2017，〈漁翁得利：台灣筆記型電腦代工廠的學習機制〉。頁 467-494，收錄於李宗榮、林宗弘編，《未竟的奇蹟：轉型中的台灣經濟與社會》。臺北：中央研究院社會學研究所。
- (Kawakami, Momoko, 2017, Yuwongdeli: Taiwan Bijisingdiannao Daigongchang De Syuehsi Jijih [Value-Chain Dynamics of the Notebook PC Industry and the Rise of Taiwanese Subcontracting Manufacturers]. Pp. 467-494 in Lee, Zong-Rong and Thung-Hong Lin eds., Weijing De Chiji: Jhuansing Jhong De Taiwan Jingji Yu Shehuei [Unfinished Miracle: Taiwan's Economy and Society in Transition]. Taipei: Jhongyanganjiouyuan Shehueisyueh Yanjiousuo [Institute of Sociology, Academia Sinica].)
- 王振寰，2010，《追趕的極限：台灣的經濟轉型與創新》。高雄：巨流。
- (Wang, Jenn-Hwan, 2010, Jhueigan De Jisian: Taiwan De Jingji Jhuansing Yu Chuangsin [The Limits of Fast Follower: Taiwan's Economic Transition and Innovation]. Kaohsiung: Jyuliou [Chu Liu Book Company].)
- 王振寰、高士欽，2000，〈全球化與在地化：新竹與台中的學習型區域比較〉。《臺灣社會學刊》24: 179-237。DOI: 10.6786/TJS.200012.0179
- (Wang, Jenn-Hwan and Shr-Chin Gau, 2000, Chyuanchiouhua Yu Zaidihua: Sinjhu Yu Taijhong De Syuehsi Sing Chyu Jian Bijiao [Global and Local: Learning Regions of Hsin-chu and Taichung Compared]. Taiwan Shehueisyueh Kan [Taiwanese Journal of Sociology] 24: 179-237.)
- 林宗弘、胡伯維，2017，〈進擊的巨人：台灣企業規模迅速成長的原因與後果〉。頁 230-266，收錄於李宗榮、林宗弘編，《未竟的奇蹟：轉型中的台灣經濟與社會》。臺北：中央研究院社會學研究所。
- (Lin, Thung-Hong and Bo Wei Hu, 2017, Jinji De Jyuren: Taiwan Chiyeh Gueimo Syunsu Chengjhang Deyuanyin Yu Houguo [Size Matters: The Causes and Consequences of the Expansion of

Taiwanese Business Groups]. Pp. 230-266 in Lee, Zong-Rong and Thung-Hong Lin eds., *Weijing De Chiji: Jhuansing Jhong De Taiwan Jingji Yu Shehwei* [Unfinished Miracle: Taiwans Economy and Society in Transition]. Taipei: Jhongyangyanjiouyuan Shehueisyueh Yanjiousuo [Institute of Sociology, Academia Sinica].

陳良治，2012，〈國家與公共研究機構在產業技術升級過程中的角色及演化：台灣工具機業〉。《人文及社會科學集刊》24(1): 19-50。DOI: 10.6350/JSSP.201203.0021

(Chen, Liang-Chih, 2012, *Guojia Yu Gonggong Yanjiou Jigou Zai Chanyeh Jishu Shengji Guocheng Jhong De Jyuehse Ji Yanhua: Taiwan Gongyujj Yeh* [The Evolving Roles of the State and Public Research Institutes in the Technological Upgrading Process of Industries: The Case of Taiwan's Machine Tool Industry]. *Renwun Ji Shehueikesyueh Ji Kan* [Journal of Social Sciences and Philosophy] 24(1): 19-50.)

陳東升，2008，〈積體網路：臺灣高科技產業的社會學分析〉。臺北：群學。

(Chen, Dung-Sheng, 2008, *Jiti Wanglu: Taiwan Gaokeji Chanyeh De Shehueisyueh Fensi* [Making It Integrated: Organizational Networks in Taiwan's Integrated-circuit Industry]. Taipei: Chyun Syueh [Socio Publishing].)

劉清耿，2020，〈台灣汽車零組件產業的技術擴散與產業升級：從火藥、高壓氣瓶到安全氣囊〉。《台灣社會學》40: 47-88。DOI: 10.6676/TS.202012_(40).03

(Liu, Ching-Keng, 2020, *Taiwan Chiche Lingzujian Chanyeh De Jishu Kuosan Yu Chanyeh Shengji: Tsong Huoyao, Gaoya Chi Ping Dao Anchyuanchinang* [Industrial Upgrading and Technology Diffusion in the Taiwan Automotive Parts Sector: From Gunpowder and Gas Cylinders to Airbags]. *Taiwan Shehueisyueh* [Taiwanese Sociology] 40: 47-88.)

潘美玲，2008，〈從經濟奇蹟到後進發展——台灣二十年來國家機器與產業發展〉。頁 149-162，收錄於王宏仁、李廣均、龔宜君編，〈跨戒：流動與堅持的台灣社會〉。臺北：群學。

(Pan, Mei-Lin, 2008, *Tsong Jingji Chiji Dao Houjin Fajhan-- Taiwan*

- Ershih Nianlai Guojiajichi Yu Chanyeh Fajhan. Pp. 149-162 in Kua Jieh: Liudong Yu Jianchih De Taiwan Shehwei [Step in Forbidden Zones: Twenty Years Social Transformation in Taiwan (1987-2008)], edited by Hong-Zen Wang, Kuang-Chun Li and I Chun Kung. Taipei: Chyun Syueh [Socio Publishing].)
- 謝國雄，1993，〈事頭、頭家與立業基之活化：台灣小型製造單位創立及存活過程之研究〉。《台灣社會研究季刊》15: 93-129。DOI: 10.29816/TARQSS.199311.0004
(Shieh, Gwo-Shyong, 1993, Shih Tou, Toujia Yu Liyeh Ji Jih Huohua: Taiwan Siasing Jihzao Danwei Chuangli Ji Tsunhuo Guocheng Jihh Yanjiou [Tasks, Bosses and the Activation of Entrepreneurial Niches: A Study on Establishing and Managing Small Manufacturing Units in Taiwan]. Taiwan Shehwei Yanjiou Jikan [Taiwan: A Radical Quarterly in Social Studies] 15: 93-129.)
- 謝斐宇，2019，〈超越（發展）國家 vs. 網絡的迷思：重探現代經濟的替代發展途徑〉。頁 365-393，收錄於湯志傑編，〈交互比較視野下的現代性——從台灣出發的反省〉。臺北：臺灣大學出版中心。
(Hsieh, Michelle Fei-Yu, 2019, Chaoyueh (Fajhan) Guojia Vs. Wangluo De Misih: Chong Tan Siandai Jingji De Tidai Fajhan Tujing [Beyond the Developmental State and Networks: An Alternative Path to the Modern Economy]. Pp. 365-393 in Jiaohu Bijiao Shihyeh Siade Siandaising: Tsong Taiwan Chufa De Fansing [Modernity in Reciprocal Comparison: A Taiwanese Perspective], edited by Chih-Chieh Tang. Taipei: Taiwandasyueh Chuban Jhongsin [National Taiwan University Press].)
- 瞿宛文，2017，〈台灣戰後經濟發展的源起：後進發展的為何與如何〉。臺北：聯經。
(Chu, Wan-Wen, 2017, Taiwan Jhanhou Jingji Fajhan De Yuan Chi: Houjin Fajhan De Weihe Yu Ruhe. Taipei: Lian Jing [Linking Publishing].)
- Amsden, Alice H., 1989, *Asia's Next Giant: South Korea and Late Industrialization*. New York: Oxford University Press.
- Amsden, Alice H. and Wan-Wen Chu, 2003, *Beyond Late Development:*

- Taiwan's Upgrading Policies*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Block, Fred and Peter Evans, 2005, "The State and the Economy." Pp. 505-526 in *The Handbook of Economic Sociology*, edited by Neil J. Smelser and Richard Swedberg. Princeton: Princeton University Press.
- Burt, Ronald. S, 2004, "Structural Holes and Good Ideas." *American Journal of Sociology* 110(2): 349-399. DOI: 10.1086/421787
- Christensen, Clayton. M., Karen Dillon, Taddy Hall, and David S. Duncan, 2016, *Competing Against Luck: The Story of Innovation and Customer Choice*. New York: HarperCollins Publishers.
- Dallas, Mark P., Rory Horner, and Lantian Li, 2021, "The Mutual Constraints of States and Global Value Chains during COVID-19: The Case of Personal Protective Equipment." *World Development* 139: 105324. DOI: 10.1016/j.worlddev.2020.105324
- Gereffi, Gary, 1994, "The International Economy and Economic Development." Pp. 206-233 in *The Handbook of Economic Sociology*, edited by Neil J. Smelser and Richard Swedberg. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Gereffi, Gary, 2015, "The Global Economy: Organization, Governance and Development." Pp. 160-182 in *The Handbook of Economic Sociology, 2nd edition*, edited by Neil J. Smelser and Richard Swedberg. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Grabher, Gernot, 1993, "The Weakness of Strong Ties: The Lock-in of Regional Development in the Ruhr Area." Pp. 255-277 in *The Embedded Firm: On the Socioeconomic of Industrial Networks*, edited by G. Grabher. London: Routledge.
- Granovetter, Mark S., 2005, "The Impact of Social Structure on Economic Outcomes." *Journal of Economic Perspectives* 19(1): 33-50. DOI: 10.1257/0895330053147958
- Hsieh, Michelle F., 2015, "Learning by Manufacturing Parts: Explaining Technological Change in Taiwan's Decentralized Industrialization." *East Asian Science, Technology and Society* 9(4): 331-358. DOI: 10.1215/18752160-2883364
- Mazzoleni, Roberto and Richard R. Nelson, 2007, "Public Research

- Institutions and Economic Catch-up." *Research policy* 36(10): 1512-1528. DOI: 10.1016/j.respol.2007.06.007
- Morris, Mike and Cornelia Staritz, 2019, "Industrialization Paths and Industrial Policy for Developing Countries in Global Value Chains." Pp. 506-520 in *Handbook on Global Value Chains*, edited by Stefano Ponte, Gary Gereffi and Gale Raj-Reichert. UK: Edward Elgar Publishing. DOI: 10.4337/9781788113779.00041
- Nelson, Richard R. and Nathan Rosenberg, 1993, "Technology Innovation and National System." Pp. 3-21 in *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*, edited by Nathan Rosenberg. New York: Oxford University Press.
- Rosenberg, Nathan, 1963a, "Capital Goods, Technology, and Economic Growth." *Oxford Economic Papers* 15(3): 217-227. DOI: 10.1093/oxfordjournals.oep.a040926
- Rosenberg, Nathan, 1963b, "Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-1910." *The Journal of Economic History* 23(4): 414-443. DOI: 10.1017/S0022050700109155
- Rosenberg, Nathan, 1983, *Inside the Black Box: Technology and Economics*. New York: Cambridge University Press. DOI: 10.1017/CBO9780511611940
- Sabel, Charles F., 2012, "Self-Discovery as a Coordination Problem." Pp.1-46 in *Export Pioneers in Latin America*, edited by Charles Sabel et al.. Cambridge, MA: Inter-American Development Bank; David Rockefeller Center for Latin American Studies, Harvard University.
- Wade, Robert, 1990, "Industrial Policy in East Asia: Does It Lead or Follow the Market?" Pp. 231-266 in *Manufacturing Miracles: Paths of Industrialization in Latin America and East Asia*, edited by Gary Gereffi and Donald L. Wyman. Princeton, N.J.: Princeton University Press.