

國立臺灣大學工學院建築與城鄉研究所

碩士論文

Graduate Institute of Building and Planning

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

從網通到電信：臺灣網通廠的發展及追趕

From Netcom to Telecom: The Development and The Catch-Up
of Taiwanese Network Communications Manufacturers

趙政諺

Jheng-Yan Jhao

指導教授：陳良治 博士

Advisor: Liang-Chih Chen, Ph.D.

中華民國 112 年 1 月

January, 2023



謝 誌



當城鄉所小型畢業典禮一結束，儀式性宣告我們研究所生涯的轉捩點，宣告我們必須得從團體決策、活動中脫離，轉向個體孤寂的求知與書寫後，不知不覺也來到告別碩士生涯的時間點。走筆至此，突然回想起某次在人來人往的松山車站街角與朋友對談，彼此心有戚戚焉地表示想寫出一本無愧自己求知旅途的作品，而在這個時間點回頭檢視整個求學生涯，我終於肯承認自己的偏執、病態與不甘流俗，就是造成自己浮濫這些珍貴的時間。即使內在如此譴責自己，但是「每個人都有自己的時區，不需要跟別人比較」的瀟灑生活哲學，是我一直以來深刻感受並付諸實踐的理念，也讓我這些年總能以各種原因反擊掉外界的不諒解，從而生活地相對從容與自在。

然而不知道為什麼，當自己年紀超過 25 歲時，那些我原本擱置一旁而不理會的社會期待，某天在我熟睡時輕巧巧地在心底種下種子，直到一回神卻早已攀纏並吮蝕我的恣意瀟灑。即使如此，我深刻明白自己既享受著不受社會框架綁縛的愜意，同時耽溺著這些源自於年齡的生存焦慮，只因自己清楚「個人的孤單」並不只是個人心理狀態或生命本質的問題，而是內在自我正在嘗試抗衡外在社會的侵蝕。因此，每個階段對自己的不滿、吶喊與咆哮，都是試圖在充斥著失落、無奈、苦悶的社會中，找到自己存在的獨特意義。

對大家枯燥乏味的求學生涯，身旁不乏有人疑問為什麼一樣是碩士班，我的比較好玩？因為不是只有我孤芳自賞自己的存在意義，而是這群在城鄉所認識的各個朋友們，也同樣在找尋意義並肯認別人的存在價值。中南拌島夥伴是自己面臨初熟階段時的重要夥伴，經歷過我的悲傷、我的難過、我的放縱、我的恣意、我的任性、我無意間的失蹤或消極。你們是在我像孩子沒有目標往前邊走邊哭時，回頭卻仍能發現你們一直都在那，在我最需要你們的時候一直都在，不管我的狀態如何。

寫論文的日子很有趣，我不會忘記跟良治暢飲啤酒的畫面，同樣不會忘記每次老師喊出「加油加油」或拍拍肩膀只為了給我動力；我不會忘記產業研究室的各位如何挑燈夜戰只為了應付兩週一次的團體報告；我不會忘記早上十點計畫書口試，凌晨一點下腹痛而走路到旁邊的忠孝院區；我不會忘記城鄉所的同學們是如何堅持介入社區之後，就必須擬定好完整的退場機制，只為了對社區負責；我不會忘記碩一不太能喝酒，而在公館樓上下亂竄只為了咬到朋友；我不會忘記參與學生會的各位，是如何為了城鄉所而做了許多努力；我不會忘

記一直以來在城鄉所很照顧我的秀妹、學長姐及每位老師。我不會忘記、不會忘記。

即使網路上許多人苦勸千萬不要在謝誌寫上自己的伴侶，但若沒有你，我沒辦法撿拾起破碎的自己、沒辦法拼湊起完整的自己。曾經自己難過時，總會躲在罐頭遊具的黃色塑膠製溜滑梯裡，那感覺就像被某種東西給緊緊包覆住，卻又不得不吹著風面對現實，但如今你的存在是我最根本、最珍惜的快樂。

最後感謝協助我完成這本論文的每個受訪者們，希望我最終繳出的成品並不愧對你們當初願意接受訪談的信任。

2023.02.18 寫於論文上傳截止時間前。

摘要

隨著行動通訊世代演進、資訊技術（IT）與通訊技術（IC）匯流趨勢，以及基地台架構解耦（de-couple）趨勢之下，使基地台市場領先者地位受到挑戰。本研究以臺灣網通產業的小型基地台（small cell）為例，探討臺灣網通產業如何轉型至電信產業。具體而言，本研究嘗試回答以下兩個問題：（1）後進者如何建立及升級其技術能力？他們又如何抓住擴大市場的機會之窗？（2）公共研發機構在臺灣網通廠進入電信產業的過程中扮演了什麼角色，以及對這個過程產生了什麼影響？

本研究採質性研究方法，主要透過與臺灣網通廠、公共研發機構及電信運營商進行深度訪談以蒐集資料。研究發現：臺灣網通廠利用長年鑽研電腦周邊設備製造以及深耕數據傳輸（datacom）技術優勢，使其達成「少量多樣」的範疇經濟生產模式，進而實現以下三方面的演化：（1）市場：從 OEM、ODM／零售網通市場，轉向白牌／解決方案供應者的電信市場；（2）技術：從單一產品及產品內系統整合，轉向產品間系統整合及提供整體解決方案；（3）區位：從基於臺灣的研發生產、跨境生產體系轉向空間佈局更加全球化的生產體系。此外，本研究亦發現公共研發機構在臺灣追求進入具有更高技術、資本門檻的電信市場方面發揮了重要作用。公共研發機構透過提供各種自上而下的技術與制度支持，促進臺灣網通廠的轉型。然而由於電信市場具有屬地性及穩定性的特點，公共研發機構和臺灣網通廠仍需要等待其他機會以挑戰先行者的優勢。

關鍵字：網通產業、小型基地台、技術學習、後進追趕、公共研發機構

Abstract

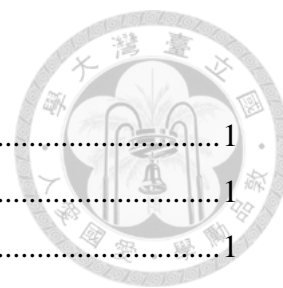


Given the evolution of mobile communication technology generations, the trends of information technology and communication technology convergence, and the decoupling of radio access network hardware and software architectures, leaders in the base station sector have faced greater challenges in the market. Using the small cell products in Taiwan's network communication (Netcom) industry as the case, this study explores how transformation from the Netcom industry to the Telecom industry was made possible in Taiwan. Specifically, it seeks to answer two questions: (1) How do latecomers build up and upgrade their technological capabilities? How can they seize the window of opportunities for market expansion? (2) What are the roles of public research institutes (PRIs) in and their influences on the processes through which Taiwanese Netcom firms were allowed to step into the Telecom industry?

This study adopts qualitative research methods and collects its data mainly through conducting in-depth interviews with relevant actors in Taiwan's Netcom and Telecom industries, and public research institutes. It is found that, being able to take advantage of their existing capacities in computer peripherals manufacturing and data transmission (datacom) technologies, and to achieve economies of scope in production, i.e. small volume and high mix, Taiwan's Netcom firms evolution manifested in the following dimensions: (1) Market: from the OEM/retail Netcom markets to the white-box/solution-provider telecom markets; (2) Technology: from the production of single products and intra-product system integration to the inter-product system integration and the provision of total solution; (3) Location: from Taiwan-based R&D and production, and a cross-border production system to a more spatially-globalized production system. In addition, this study found that PRIs have played important roles in Taiwan's pursuit of entering the telecom market with higher technology and capital thresholds. PRIs facilitated the transformation of Taiwan's Netcom firms through providing various top-down technological and institutional supports. However, based on this study, it is suggested that, owing to the telecom market is characterized by territoriality and stability, PRIs and Taiwan's Netcom firms still need to wait for other opportunities to challenge forerunners' advantages.

Keywords: Netcom industry, small cell, technological learning, latecomer catch-up, public research institutes

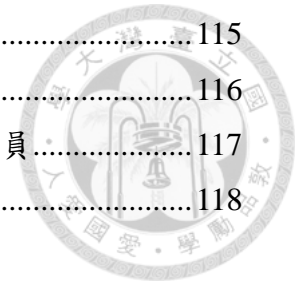
目次



第一章、	前言.....	1
第一節、	研究動機.....	1
一、	經驗現象探索.....	1
二、	綜觀臺灣網通產業.....	1
三、	回到理論層面.....	2
第二節、	研究內容與發問.....	3
第三節、	文獻回顧.....	5
一、	後進追趕理論.....	5
二、	地方尺度的技術學習.....	7
三、	區域尺度的技術學習.....	9
四、	全球尺度的技術學習.....	10
第四節、	研究方法.....	12
一、	資料蒐集.....	12
二、	訪談設計.....	14
三、	研究對象.....	14
第二章、	全球行動通訊與小型基地台之技術與產業發展.....	17
第一節、	全球行動通訊技術軌跡與產業發展.....	19
一、	行動通訊市場特性與服務型態變化.....	19
二、	全球行動通訊技術軌跡.....	22
三、	全球行動通訊產業發展變化.....	24
第二節、	小型基地台產業發展.....	28
一、	無線接取網路佈署（基地台系統）發展變化.....	29
二、	無線接取網路（RAN）開放化、標準化與白牌化.....	34
第三節、	本章結論.....	38
第三章、	臺灣網通產業的發展.....	41
第一節、	臺灣網路通訊廠商成員及成立背景.....	41
一、	臺灣網通廠成員.....	41
二、	臺灣網通廠成立背景.....	42
第二節、	臺灣網通廠設廠區位變化.....	45
一、	1990年代至2000年代：設址新竹科學園區一帶.....	45
二、	2000年代：西進中國設廠.....	46
三、	2000年代起：臺灣網通廠的全球佈局.....	51

四、	2018 年後：臺灣網通廠南進與鮭魚返鄉策略.....	53
五、	「臺灣網通廠設廠區位變化」結論.....	56
第三節、	臺灣網通廠之市場與機會.....	58
一、	有線網通到無線網通.....	58
二、	從無線網通到標準投入.....	59
三、	從網通市場轉型至電信及專網市場.....	62
四、	彈性化布局：中美貿易戰及疫情席捲的風險控管.....	69
五、	「臺灣網通廠之市場與機會」結論.....	70
第四節、	臺灣網通廠技術能力建立、學習與升級.....	72
一、	硬技術（hard technology）：生產與研發的技術能力積累.....	73
二、	軟技術（soft technology）：生產管理的技術能力拓展.....	83
三、	「臺灣網通廠技術能力建立、學習與升級」結論.....	89
第五節、	本章結論.....	91
第四章、	公共研發機構對臺灣網通產業的影響.....	92
第一節、	公共研發機構在臺灣網通廠代工期的角色與影響.....	92
一、	工研院與資策會：科專計畫扶植臺灣廠商轉型.....	93
二、	中科院：電信自由化趨勢促使人才擴散.....	94
第二節、	公共研發機構嘗試投入標準階段.....	97
一、	工研院：標準提案、基站技術與終端設備研發.....	98
二、	資策會：標準制定、通訊協定研發與投入測試驗證工作....	100
三、	中科院：嘗試系統整合基站與淡出 WiMAX 研發之列.....	103
第三節、	公共研發機構投入電信基礎設施階段.....	104
一、	工研院：基地台技術儲備與猜標準.....	105
二、	資策會：基地台研發與測試驗證.....	107
第四節、	本章結論.....	109
第五章、	結論與建議.....	111
第一節、	研究結論與發現.....	111
一、	技術積累與範疇經濟是臺廠從網通跨入電信的重要因素....	111
二、	公共研發機構因應臺廠的不同階段而有不同的執行策略....	113
第二節、	研究貢獻.....	114
一、	補足後進發展理論的未竟之處.....	114
二、	提供產業政策擬定的未來方向.....	115
第三節、	研究限制與未來研究建議.....	115

一、	研究對象限制：田野的時間問題與困難之處.....	115
二、	研究對象限制：倖存者偏誤.....	116
三、	研究內容限制：電信國家型科技計畫執行人員.....	117
	參考文獻.....	118



表次



表 1	技術學習管道與制度性因素.....	6
表 2	影響地理空間的驅動因素.....	8
表 3	本研究受訪者資訊.....	16
表 4	行動通訊產業之五種類別行動者.....	17
表 5	行動通訊系統各代內涵.....	20
表 6	小型基地台種類、內容與佈署場域.....	29
表 7	傳統基地台架構與開放式基地台架構比較.....	38
表 8	數據傳輸與語音傳輸匯流趨勢.....	39
表 9	臺灣網通廠成立模式.....	42
表 10	臺灣網通廠西進中國設廠年及地點.....	49
表 11	臺灣網通廠全球布局情形.....	52
表 12	中美貿易戰開打後，臺灣網通廠南進與回流情形.....	54
表 13	臺灣網通廠設廠區位變化（1990 年代成立至今）.....	57
表 14	臺灣網通廠建立的全球生產體系變化.....	86
表 15	臺灣網通廠技術能力學習、建立、累積與升級過程.....	89
表 16	工研院、資策會、中科院之組織定位.....	93
表 17	臺灣網通廠業務：「代工／通路」vs.「電信白牌／解決方案」.....	112
表 18	公共研發機構於不同時期在網通產業發展中的主要任務.....	114

圖次



圖 1	行動通訊產業鏈.....	19
圖 2	行動通訊技術發展簡史.....	22
圖 3	一體化基地台架構.....	30
圖 4	分佈式無線接取網路 (D-RAN) 架構.....	32
圖 5	集中式無線接取網路 (Centralized-RAN) 架構.....	33
圖 6	雲端化無線接取網路 (Cloud-RAN) 架構.....	34
圖 7	3GPP TS38.801 提出各種因應場域特性的拆分方式 (split option)	35
圖 8	3GPP 以及 O-RAN Alliance 提出的 RAN 架構.....	37
圖 9	位置圖：設廠於蘇州、昆山、常熟、無錫一帶的臺灣網通廠.....	50
圖 10	位置圖：設廠於廣州、東莞、深圳的臺灣網通廠.....	50
圖 11	位置圖：臺灣網通廠因應中美貿易戰，尋找的海外第三生產基地.....	56
圖 12	臺灣網通廠於代工與通路市場之供應鏈模式.....	70
圖 13	臺灣網通廠於白牌及專網市場之供應鏈模式.....	71
圖 14	中磊電子提供完整解決方案.....	88

第一章、前言



第一節、研究動機

一、經驗現象探索

隨著 5G 標準陸續底定，各家分析報導因 5G 毫米波（mmWave）高傳輸、低延遲特性，預測其為未來電信主流趨勢。然而，5G mmWave 因頻率高、波長短、覆蓋範圍短的問題，使得電信運營商需要更密集佈建基地台以向消費者提供 5G 服務，對於電信運營商而言所費不貲。在此同時，過去被視為黑盒子的基地台（RAN）架構，於 2010 年代中期基地台架構軟硬解耦趨勢下，開始出現開放化、標準化的新興架構 Open RAN。開放化、標準化趨勢意味著過去由極少數國際電信設備廠（如：Nokia、Ericsson、Huawei 等）壟斷的基地台市場，即將引入更豐富的供應鏈以打破壟斷局勢。在上述兩種主要趨勢之下，報導紛紛指出小型基地台受惠於（1）電信運營商需要佈建更密集基地台，以及（2）開放化基地台架構下，將於 2010 年代末期、2020 年代初期有爆發性成長。

這兩波趨勢首當受惠的，便是多年投入小型基地台生產的臺灣網通廠，然而要以小型基地台投入電信市場，與臺廠多年深耕的網通市場特性截然不同。網通市場為零售通路市場，以傳統網通產品（如：數據機、路由器、Wi-Fi 機等）等電腦周邊產品為主，產品差異性小、價格競爭激烈；電信市場由於各國電信規範不一，且運營商須向消費者提供穩定上網品質，故其高度屬地性、高穩定性之特性是過去各家廠商難以打入，卻也是商機相當龐大的市場。

二、綜觀臺灣網通產業

臺灣網通廠並非一開始即具備投入電信市場的能力，其發展起源於 1980 年代全球電腦產品的蓬勃發展，以生產數據傳輸（datacom）類的網通產品為主。隨著 1990 年代末期有線網路轉向無線的趨勢之下，臺灣網通廠抓住這波趨勢並成為在無線區域網路（WLAN）領域市佔高達九成的廠商。然而高市佔卻不成正比的營收表現，在覆蓋範圍更廣、傳輸速率更快的 WiMAX 出現後，臺灣政

府旋即投入 WiMAX 新興技術標準，企圖從標準制定著手以求彎道超車。

隨著 WiMAX 發展不如預期而轉告失敗、LTE-A 被市場選為 4G 主流標準之際，此時由於行動上網需求日益成長，既有電信網路不堪行動寬頻需求成長，逐漸有電腦網路的數據傳輸（datacom）與電信網路的語音傳輸（telecom）整合趨勢。趁著這波趨勢，已經在數據傳輸（datacom）領域扎根多年的臺廠，便逐步整合其多樣化有線／無線網通產品線，再加上 2000 年代末期投入生產的小型基地台，嘗試切入過去難以直接打入的電信市場。爾後在 2010 年代中後期，5G 的多樣化應用場域、Open RAN 趨勢下，臺廠奠基其多年範疇經濟的代工生產模式，能以相較既有電信設備廠價格低廉的白牌設備，直接供貨電信運營商。

三、 回到理論層面

「追趕」內嵌著時間意涵，是一個動態發展過程，因此連動到或積累、或等待、或變化的動詞概念，以及牽涉到或數量、或距離、或比例、或表現上的相對名詞概念。

在討論後進者如何拉進與先行者的差異時，學界常以後進追趕理論作為詮釋框架，然而由於知識、技術本身不完全符碼化（codifiable）與不完全可轉移性（transferable）限制，後進追趕的發展路徑並非單純複製，而是創造出有別於先行者的發展軌跡。有鑑於此，分析後進者如何在技術面、生產面、市場面、制度面得以參考先行者策略並不重蹈失敗經驗覆轍，是後進追趕理論的核心概念（Amsden, 2001；Amsden & Chu, 2003；Dahlman & Westphal, 1987）。

即使既有理論已充沛探討上述四個面向的追趕方式，但仍有文獻與理論的未盡之處。網通產品從有線到無線、從傳輸範圍短到廣，其產品範疇非常廣。本研究選擇研發、生產小型基地台的臺灣網通廠，目的在於了解其作為電信領域的後進者，是如何從技術門檻低、價格競爭激烈的網通市場，逐步跨足到高技術與資本門檻、要求屬地性與穩定性的電信市場。本研究認為：了解臺灣網通廠從網通到電信、從代工到白牌，除了有助於了解後進者如何學習、建立並積累技術，以及其如何掌握外部市場機會外，更能補充既有理論甚少探討的追趕失敗（WiMAX）以及標準因素（技術標準、產業規格）如何左右後進者。

鑑於上述討論，本研究選擇三類研究對象（電信運營商、臺灣網通廠、公共研發機構）並透過二手資料的蒐集，或直接、或側面從了解臺灣網通產業發

展軌跡，並從該經驗現象分析中，提出有別於既有理論分析——後進者代工是好或壞？。本研究試圖找出非理論主流的論述概念，目的並不是僅只停留探討「如何成功」，而是提出整個發展過程中，有成功有失敗敘述下的後進追趕經驗。



第二節、研究內容與發問

從臺灣網通廠的經驗現象出發，本研究目的並不僅止於分析經驗現象，而是將臺灣網通產業的發展，概念化為後進者如何在既有技術基礎上，逐步突破技術、市場面上的限制。有鑑於此，本研究分析內容主要分成四部份：

- (1) 第一部份：檢視後進發展理論如何討論後進者進行市場、技術面的追趕，這將在第一章第三節討論。
- (2) 第二部份：檢視全球通訊產業發展歷程，並從中檢視有哪些關鍵事件、關鍵技術是整體產業發展路徑的轉折點。這將在第二章討論。
- (3) 第三部份：闡述臺灣網通廠發展狀況，包含本研究之研究對象背景、設廠區位變化、如何學習技術及掌握市場機會，並從國家角度檢視公共研發機構在臺廠追趕路徑上扮演的角色與影響。這將在第三、第四章討論。
- (4) 第四部份：將既有臺灣網通廠之經驗現象與後進追趕之理論意涵對話，目的在於以臺灣網通廠之經驗作為檢視後進者如何追趕，試圖提出後進追趕理論甚少提及的內涵。這將在第五章討論。

為了了解台灣網通廠如何從網通走向電信，以後進發展理論切入理解後進者，得以理解其如何透過市場面、技術面、生產面的優勢，達到後進追趕的目標 (Amsden, 2001; Amsden & Chu, 2003; Dahlman & Westphal, 1987)。立基於後進追趕的理論框架，本研究將分成以下面向理解臺廠如何建立技術能力、如何抓住機會以及如何回應外部環境變化。

探究後進者何以進行追趕，「標準」確實有助於後進者在成熟技術與標準上進行生產，然而後進者若欲從追趕到趕超，「標準制定」則變成掣肘後進者的最大阻力 (Blind, 2004)。即使如此，若是後進者在「標準制定」時能辨識並掌握專利權、產品生產等的佈局先機，則有可能使其達成趕超目的，在產業發展的過程取得較具優勢的領導位置 (Arnold & Hasse, 2015; Blind, 2004;)

Shapiro& Varian，1999)。回顧後進發展理論，較無深入探究「標準」對後進發展的影響為何，因此亦是本研究欲探討的面向。

第三，在回顧臺灣產業發展歷程中，產業群聚所產生的外部效益，扮演著臺灣在後進追趕路徑中，得以在全球市場上取得優勢的條件之一（胡太山等，2008；胡泰山等，2013），然而產業群聚並非總是能夠帶領後進者切入全球市場及供應鏈，更甚者可能因為制度惰性、外在環境變遷而形成阻礙因素（Maskell& Malmberg，1999；Boschma，2004）。現存對於臺灣產業群聚相關文獻，諸多僅是解釋其「何以」成功的因素，並未以後進追趕的路程檢視過程中可能產生的阻礙。

第四，對於臺灣作為後進者而言，其過去的產業發展深受地緣政治局勢的影響，然而地緣政治較探討以軍事力量作為主導國與國之間的關係角力，較少著墨晚近於市場自由化、國家民主化後，經濟力量作為主導國與國角力的因素，以及資本流動性的狀態（Baru，2012；Doucette、Park，2018；Lee、Wainwright& Glassman，2018；Luttwak，1990、1993；Hsu、Gimm& Glassman，2018；李世暉，2017）。以後進發展理論檢視，雖然有助理解臺灣的產業發展過程，但地緣政治經濟亦是左右臺灣產業發展的外部因素。

最後，目前既有研究討論公共研發機構之於後進發展者的影響有褒有貶（Amsden，1989；Hobday，1995；陳良治，2012），本研究嘗試理解公共研發機構如何影響臺灣網通業跨向電信產業，其中又扮演什麼角色？而過去經驗研究甚少提及的中科院，又在其中發揮了什麼樣的作用。

總結而論，本研究意欲回答臺灣網通廠如何進行後進追趕，並切分成兩個發問以回應上述的問題：

- 1、後進者如何建立及升級其技術能力？他們又如何抓住擴大市場的機會之窗？
- 2、公共研發機構在臺灣網通廠進入電信產業的過程中扮演了什麼角色，以及對這個過程產生了什麼影響？

第三節、文獻回顧



一、後進追趕理論

在討論經濟發展相較遲滯的國家如何縮短與經濟發展較具優勢之國家之間的差異，常以「後進追趕理論」作為詮釋架構（Amsden，2001；Amsden& Chu，2003；Dahlman& Westphal，1987）。

「何謂後進？」——從經濟學的角度理解後進者之於先行者的差異，在於後進者掌握了「後進者優勢」，並不需要重蹈先行者覆轍：市場主流標準確認以及生產技術相對成熟、市場不確定性降低的情況下，後進者得以藉由比較利益，以低生產成本、低售價的方式，切入市場以拉近與先行者的差距（Abemathy、Utterback，1978；Amsden& Chu，2003；Mathews，2006）。新古典經濟學的敘述雖然有助於我們理解後進者是因為市場因素而能學到低門檻技術，然而該靜態的分析框架並沒辦法掌握到具有時間意涵之追趕過程為何。再者，新古典經濟學亦暗示「只要遵循既有路徑走即可成功複製」，卻沒辦法陳述出「同樣是後進追趕，為什麼有些後進者彎道超車、有些後進者中途失敗」（Malerba、Nelson，2011）。圍繞這兩個對於新古典經濟學的質疑，本小節將討論（1）後進追趕的技術學習過程為何，以及（2）路徑如果不能複製，那麼技術學習管道差異為何。

（一）技術學習過程

後進者如何學習並建立、累積技術，可以分成技術積累形式與技術追趕形式兩種。

單從技術面討論技術積累形式，有四個階段的積累型態：（1）取得相對成熟的技術，使得尚無生產能力的後進者得以裝配產品；（2）為了降低對先行者的技術依賴，在後進者消化、吸收技術後，藉由模仿的方式開發產品；（3）持續不斷前階段技術發展之改進、嘗試培育本土技術人才，達到產品研發與生產的自主能力（Amsden& Chu，2003；Dahlman& Westphal，1987；Kim，1997；Lall，1987）。技術追趕的表現也如實對應了 Bell & Pavitt（1993）針對已發展國家、發展中國家的案例分析，指出技術積累過程以及經濟成長動能必須經過技術學習（technological learning）以建立技術能力（technological capability），

當技術能力建立後，隨後會導致實質技術的變遷 (technical change)，從而影響生產能力的積累 (production capability)¹²。若從市場面檢視技術追趕形式，主要有兩階段的追趕型態：(1) 與跨國企業或客戶的垂直聯結中，後進者可以取得關鍵技術與知識，並在國際分工中生產低成本之低端產品以出口或內銷；(2) 累積技術並改變既有產品組合，後進者逐漸改變與既有跨國企業或客戶的關係，從而出口更具創新的產品與技術 (Malerba、Nelson，2011)。

(二) 技術學習管道

關於後進追趕過程，技術能力建立、技術取得管道並非完全按照「比較優勢」主導著技術、產品的流向，而是後進者透過多尺度技術學習管道、後進國家透過制度因素，提供後進者學習技術的環境 (陳良治、朱凌毅，2016)。

表 1 技術學習管道與制度性因素

技術學習	管道	廠商內部	藉實作過程、模仿過程以及聘僱員工的方式學習 (learning by doing, imitation and hiring)、自行研發等	
		廠商外部	地方尺度	產業群聚、公共研發機構等
	全球尺度		外資投入、全球價值鏈 (GVCs)、技術授權、跨國技術社群、進口資本財等	
制度	政府干預	租稅管制、市場管制、財政補貼、融資優惠、金融監管、產業發展政策等		

資料來源：陳良治、朱凌毅 (2016)。

綜合上述的技術學習管道，尺度由小而大可以歸納為：(1) 來自高等教育的人力資源，得以提供企業源源不絕、訓練有素的勞動力 (Niosi et al., 2012；Ramani et al., 2012)；(2) 後進者本身的願意學習與投資，以將技術與知識吸收、消化以創造新技術、知識與產品 (Ramani & Guennif, 2012)；(3) 後進者努力取得外國技術、設備或前沿知識，以拉近與先行者的差距 (Mani et al., 2012)；(4) 透過制度性因素，積極提供並刺激後進者所需的追趕環境 (Onis, 1991；Stubbs, 2009；Lall, 1992, 1996；Kim, 1997；Amsden & Chu, 2003；王振寰, 2010)。不論透過何種尺度學習技術，在後進者學習技術過程中，均會在技術能力建立與發展過程中留下積累的無形、有形資產 (Bell & Pavitt, 1993)。

¹ 在 Bell & Pavitt (1993) 文中，技術能力 (technological capability) 即為運作與管理技術變遷的能力，而生產能力 (production capability) 則是在符合特定生產效率前提下，有效運用要素的組合配置。

² Technological 與 Technical 差別，在於前者是學理面的技術，後者是實質性且具體的技術。

即使知識本身是符碼化的存有，若能按照上述技術學習管道照表操課，雖然有助於學到技術，但是並不代表著沿著上述內容，後進者按照各階段特性即能「完全複製」追趕乃至趕超的路徑，反而可能呈現出截然不同的產業輪廓。同樣的技術學習管道，因應著產業結構特性、本地制度環境以及技術的符碼化程度而有所差異，此即為技術學習的本土化特性（Katz，1984；Amsden，1989；Bell & Pavitt，1993；Hobday，1995；Kim，1997）。上面已提到廠商內部的技術如何建立、學習，接下來將討論廠商外部尺度的技術學習管道。

二、 地方尺度的技術學習

政府干預的表現形式，一種是藉由制度設計引導產業群聚，另一種則是透過設立公共研發機構以作為支持產業發展的基礎設施。上一小節討論了廠商內部的技術學習過程與技術學習管道，本節將接續陳良治、朱凌毅（2016）所劃分的範疇，接著討論影響後進者學習的地方尺度：產業群聚與公共研發機構如何支持追趕。

（一） 產業群聚

從經濟學的角度討論，最早由 Marshall（1920）提出經濟的空間面向。其指出：產業的地理集中性（concentration）有助產生聚集經濟，而該聚集經濟即是吸引其他廠商不斷投入該區域的重要因素，如：（1）共享勞力池，源源不絕的人力資源聚集或流入於此區域，使廠商得以盡速取得所需人力；（2）共享基礎設施，讓越多人使用的情況下，得以降低基礎設施的建設成本、提高其使用效益；（3）上下游供應鏈之地理集中性，得以讓廠商快速取得所需零組件及服務；（4）知識與技術外溢（spillovers），讓廠商得以掌握最先進知識與探聽到其他競爭廠商的訊息。看似聚集經濟得以使群聚本身不斷擴大，然而聚集本身所產生的「不經濟」（如：交通壅塞成本、土地成本與勞動力成本）亦是將廠商往外推的推力。

爾後在聚集經濟、區位理論的論述基礎上，不斷吸納其他學科的知識，目的在於解釋特定地理空間是如何出現及演化的（表 2）。

表 2 影響地理空間的驅動因素

地方尺度	<ul style="list-style-type: none"> • 事件：歷史偶然 (Jacobs, 1969) • 條件：本地產業結構 (Martin、Simmie, 2008) • 個人：創業家精神 (Porter, 2000; Chinitz, 1960) • 關係：社會網絡與非正式制度 (胡太山等, 2008; Harrison, 1992) • 結構：制度環境與政治結構 (Boschma, 2015; Brusco, 1982)
全球尺度	<ul style="list-style-type: none"> • 個人：創業家精神 (Porter, 2000; Chinitz, 1960) • 關係：跨國技術社群 (Saxenian, 2006) • 企業：外資投入與跨國企業進駐 (Hervas-Oliver、Albors-Garrigos, 2004) • 市場：需求、技術之窗 (Lee、Malerba, 2017) • 產業：各個市場參與者相互競爭 (Cheng, 2007)

資料來源：本研究整理。

影響產業群聚的因素諸多 (表 2)，主要可以歸納為：(1) 創業家流動與社會網絡的支持、(2) 本地產業的發展基礎、(3) 該國的制度因素、(4) 來自外界刺激 (外資、技術、市場、知識等)。從上述這些因素回頭理解臺灣網通廠的發展狀況，即能掌握其空間佈局策略並非偶然或無意識的選擇，而是經濟理性下的決策結果。不過若從驅動因素檢視群聚的發展過程，容易將產業群聚視為一個「投入因素－產出結果」的靜態分析，忽略了產業群聚其實是一個動態過程，各項因素的投入多寡、時機點，群聚及廠商如何回應等，均會影響到群聚及廠商的發展軌跡 (Maskell & Malmberg, 1999; Boschma, 2004)。由於影響群聚及群聚內的廠商涉及到其他尺度的因素影響，因此尚須檢視其他因素如何影響後進者的追趕軌跡。

(二) 公共研發機構

公共研發機構一般被視為後進國家產業發展的基礎設施，其承接來自政府的經費挹注，向內積極研發、向外積極取得關鍵技術，從而降低後進廠商取得發展所需技術的門檻 (Amsden, 1989; Hobday, 1995)。關於公共研發機構如何協助後進廠商進行追趕，目前既有文獻指出：(1) 公共研發機構能夠發展符合本地產業所需之務實技術而非前瞻技術 (Mazzoleni、Nelson, 2007)、(2) 公

共研發機構能夠與後進廠商建立緊密合作聯盟與有效溝通機制，而非由上而下式地單向輸出 (Katrak, 1998; 陳良治, 2012); (3) 公共研發機構能夠因應後進廠商的不同階段發展，調整其技術發展策略 (Chang et al., 1999); (4) 上層主管機關的任務賦予、資源分配明確，有助公共研發機構有效管理計畫的執行細節 (Kim, 1999)。

上述研究除了從公共研發機構角度，檢視其如何協助後進廠商建立技術外，亦有從廠商角度，檢視公共研發機構研發技術對後進廠商建立技術的有效性 (Amsden, 1989; Chang et al., 1999; Hobday, 1995; Katrak, 1998; Kim, 1999; Mazzoleni、Nelson, 2007; 陳良治, 2012)，本研究不再贅述相關概念，而是將兩種詮釋角度並列，檢視兩者觀點是否有差異，而差異為何。

三、 區域尺度的技術學習

臺灣相較於其他後進追趕國家而言，其更多受限於中國因素的影響。當中國市場逐漸開放之際，不少臺灣廠商紛紛至中國設廠以取得更為低廉的勞動與土地成本，同時也在中國建立起臺商網絡與地理群聚。為了管理除了台灣之外的生產基地，臺廠必須建立起軟技術能力以管理生產與外部環境風險。本小節將以地緣政治經濟，探討臺廠如何因應區域尺度的政治經濟因素，以調控企業內部的生產管理。

在地緣政治學的論述中，其著重地理空間作為國家內部之間、國家與國家之間的政治角力載體，牽動著國家空間戰略佈局。臺灣、韓國等東亞發展型國家早期受益於地緣政治下的圍堵策略，嵌合進以美國為主導的世界經濟體系，直至晚近政治民主化、市場自由化之後，臺灣經濟便於美—中兩國擺盪，並不特別押寶其中一方 (李世暉, 2017)。然而，由於地緣政治學過於強調國家間的軍事角力、國家層面的產業規劃及意識形態，忽略了冷戰結束後，「經濟」才是牽動國際政治局勢的重要因素。因此近期開始有學者討論「經濟」作為國家競逐權力的工具，不再過份著重國家間的「政治」疆界，而是轉向討論國家間的競合關係、資本流動、經濟夥伴結盟與否作為論述視角 (Baru, 2012; Luttwak, 1990、1993)。即使如此，目前對於地緣政治經濟學 (Geopolitical economy) 的討論尚在成形，作為檢視東亞經濟體發展的新取徑，誠如 Doucette、Park (2018) 所述的地緣政治經濟學有用之處 (Doucette、Park, 2018: 398)：

- 1、地緣政治經濟學將政治經濟學錨定為一個地理過程；
- 2、抵制地緣政治（國際關係）與經濟力量的明確區隔；
- 3、政治經濟過程通常會受到超出其範圍的關係之影響；



回應地緣政治經濟學的論述強調政治與經濟的密不可分（Lee et al., 2018），Choi、Glassman（2018）討論到冷戰期間，美國如何藉由軍事項目的推動，促使韓國企業鑲嵌於跨國階級聯盟，也同樣促使韓國二線城市蔚山（Ulsan）的發展。接續東亞城市如何受到地緣政治經濟因素的影響，Hsu et al.（2018）指出不同於韓國產業發展歷程，臺灣產業發展歷程便無法順利鑲嵌進以美國軍事項目主導的跨國階級聯盟，僅能做越戰期間的零組件維修、整治的後勤基地，間接導致臺灣形成發展型網絡國家（Developmental Network States, DNS）、韓國形成發展型官僚國家（Developmental Bureaucratic States, DBS）。

即使目前地緣政治經濟學有著諸多新的研究題材，然而現存對於地緣政治經濟影響下，對應到廠商擺盪於地緣政治經濟下，如何降低外部政治、經濟環境的風險，主要以供應鏈的關係治理（吳明澤、林谷合、鄧天強、陳昱辰，2018）、供應鏈的空間治理（王振寰，2007）等角度，切入理解廠商如何在經濟理性的政治化挑戰下，透過供應鏈遷移、解構或重組等方式，進行產業的空間佈局策略。

四、 全球尺度的技術學習

（一） 全球價值鏈

承接陳良治、朱凌毅（2016）所述之全球尺度技術學習管道：（1）外資投入：本地廠商與國外廠商在合資的情況下，得以取得國外廠商組織治理、生產管理方面的知識；（2）技術授權：藉由換購、直接購買的方式取得特定產品之生產技術，讓後進者得以在此基礎上進行差異化的研發生產；（3）全球價值鏈：讓廠商在價值鏈上與他國企業進行協同生產的過程中，得以取得相關組織管理、技術研發與生產方面的知識，促使其拉近與先行者之間的能力差距。

相較於前兩者，全球價值鏈牽涉到更為動態的交易網絡關係，其內涵主要討論大型企業作為宰制規劃、設計、生產與銷售流程的領導者，後進者必須按照其所制定的遊戲規則接單生產，形成不對稱權力關係（瞿宛文，2006；

Gereffi, 1994, Sturgeon, 2009)。在遊戲規則為領導者所訂的情況下，其可以主導技術與知識的流動，從而限制後進者進行追趕的速度（Humphrey & Schmitz, 2004; Gereffi et al., 2005）。雖然領導者主導了技術與知識的流動，但並不代表後進者只能乖乖認其宰制以持續維持 OEM/ODM 的生產關係，其自身的能動性使其從其他面向盡可能升級以逃離代工者的剝削處境（Humphrey & Schmitz, 2002）。

作為後進者的能動性，在於其如何積極近用（access）技術與知識，同時管理價值鏈上，影響技術與知識流動的不對稱權力關係邊界。若從後進者角度來看價值鏈，領導廠商需要這群後進者的存在以協助其降低生產成本，更不用說如臺廠網絡自身的彈性、效率優勢，能夠協助領導廠盡快取得零組件（陳介玄，1994; Shieh, 1992）。因此比起剝削論述，更像是領導廠商與後進者在生產成本與生產利潤上的互利共生（徐進鈺，鄭陸霖，2001）。除此之外，後進者的優勢除了既有新古典經濟學所述的後發優勢之外，其餘便是「等待」——全球領導廠商的相互競爭勢必鬆動既有價值鏈的關係疆界，讓 OEM/ODM 生產模式的後進者得以取得疆界鬆動所外溢的技術與知識（Cheng, 2007）。

（二） 升級與機會之窗

互利共生與疆界鬆動提供後進者兩種面向的升級可能。從後進者內部論，其「生產活動」的升級涉及到四個面向：（1）流程升級（Process Upgrading）：改善既有生產流程；（2）產品升級（Product Upgrading）：改善產品品質或生產新產品；（3）功能升級（Functional Upgrading）：提供既有產品額外價值；（4）價值鏈升級（Chain Upgrading）：既有價值鏈能力應用於新的價值鏈。若從後進者與先行者的關係論，其「生產關係」的升級涉及到一線性追趕過程：原始設備組裝（OEA）、原始設備製造（OEM）、原廠委託設計代工（ODM）至生產自品牌（OBM）（Gereffi, 1999; Kaplinsky & Morris, 2000）。

疆界在競爭過程中鬆動外，亦有可能出現機會之窗，提供廠商擴大市場基礎，抑或是提供後進者向上升級的機會。關於機會之窗的討論，Perez、Soete（1988）指出當新技術典範興起、技術產生不連續性時，後進者能在沒有太多沉沒成本的前提下，掌握新技術典範的優勢以蛙躍式發展。Lee、Malerba（2017）則區分出三種機會之窗的內涵：（1）技術之窗（technological windows）：出現新技術或激進型創新；（2）需求之窗（demand windows）：新需求、商業週期或市場變化所提供的機會；（3）制度之窗（institutional windows）：透過公共政策或制度設定以開啟。若從本研究所關心的網通產業及

電信產業，共通點均需有「標準」才能讓設備互連，而標準自身會隨著市場需求、新興技術演進，並不會鎖死（lock-in）在固定技術上（Martin、Sunley，2006；Sydow、Koch，2008；Martin、Sunley，2007；Shapiro，2000；Katz& Shapiro，1985）。因此可以說，標準演進具備機會之窗的特質，但同時亦在後進追趕中扮演著雙面刃：後進者能依據標準生產以掌握後發優勢，但若無法掌握標準制定話語權，則會長期受制於先行者而無法超越之（Arnold& Hasse，2015；Blind，2004；Shapiro& Varian，1999）。

第四節、研究方法

為了解臺灣網通廠如何從網通業跨足電信業，本研究採質性研究方法，以二手資料蒐集與分析、半結構式深度訪談國內網通廠、電信運營商及公共研發機構，目的在於理解臺灣網通廠從網通業到電信業的發展歷程與轉折。以下將分析各個資料蒐集方式的執行內容。

一、資料蒐集

本研究嘗試蒐集貫時性資料，企圖整理出臺灣通訊產業及網通產業的重要事件，以避免研究產生快照（snapshot）——特定時期發展狀況被過度詮釋而導論出錯誤結論——的問題（Bell，2016）。在貫時性資料下，本研究又細分成（1）產業事件：掌握整體產業自發跡至今的事件，以及（2）公司事件：了解該產業代表性廠商自成立至今的發展（陳東升，2003）。

（一）產業事件

本研究以《聯合知識庫》等媒體資料庫作為爬梳通訊產業、網通產業的基礎資料庫。關於關鍵字搜尋，由於臺灣網通廠在「範疇經濟」基礎上得以在原有技術能力上跨入新興領域（Amsden& Chu，2003），再加上社會對詞彙的使用方式易有變遷，因此現今常稱呼的「網通」、「通訊」概念在早期未必如此稱呼。為了解決資料蒐集上可能會產生前述的侷限處，本研究在梳理產業事件上查詢的關鍵字除了網通、通訊之外，亦包含：電子、電訊、電通、電信、通信、資訊等可能與臺灣網通廠發展有關的名詞。蒐集到這些資料後，本研究以時間軸整理近 70 年、10 萬多筆於《聯合知識庫》等媒體資料庫所刊載的資料，約可

以掌握產業發展過程中的重要政策以及關鍵行動者。在掌握大致發展脈絡後，本研究首先可以描摹出影響產業發展的重要政策及關鍵行動者，並於〈政府研究資訊系統（GRB）〉中搜尋重要政策³執行細節與成果，再重複前述整理資料方式以了解關鍵行動者執行重大政策下的計畫項目時，實際收穫了那些技術資產，又如何影響產業發展。

（二） 公司事件

除了在《聯合知識庫》等媒體資料庫搜尋代表性廠商的發展歷程之外，本研究也嘗試蒐集企業出版品、財務報表、股東匯報、《天下雜誌群知識庫》、《商業週刊》等報導，梳理出研究對象的發展歷史。然而，報導資料基本上會受限該家企業的公關形象，容易有報導偏誤的問題存在，再加上報導資料僅能掌握表層的政策宣示、發展事件，仍可能錯漏部分計畫設計、執行及成果。有鑑於報導資料潛在引述風險，本研究亦蒐集〈科技專案〉資料，一則掌握計畫執行細節以獲取關鍵行動者與臺灣網通廠的互動成果，二則避免過度仰賴媒體資料庫而有效度（validity）缺陷問題。

（三） 技術與產業的先備知識

研究者並不具備該產業的先備知識，因此在進入田野調查之前，研究者除了瞭解（1）產業事件及（2）公司事件所彙整的貫時性資料之外，亦須掌握與研究對象並不直接相關，但研究者須具備的技術原理與市場趨勢。關於這些資料的取得方式，以及如何確保自身所獲取的資訊是正確的，本研究做的田野事前工作有：

- 技術原理：自 IEEE Xplore 搜尋相關技術關鍵字、參與技術發展研討會、ORAN Alliance 出版品、Small Cell Forum 出版品等，同時透過修習電機系課程方式取得基礎知識。
- 市場趨勢：如工研院 IEK《通訊產業年鑑》、資策會 MIC《全球 5G 產業發展與關鍵議題探索》、《2019ICT 產業白皮書》、Gartner 產業資料庫，同時拜會產業分析師了解自身所掌握的市場趨勢是否正確。

蒐集二手資料並整理成（1）產業事件及（2）公司事件的貫時性資料，協助本研究掌握臺灣網通產業如何發展至今得以跨入電信產業，而（3）技術與產業的先備知識，協助本研究在進入田野時，能夠以業界的專業名詞直接訪談，

³ 舉例如：六年國建、國家資訊通信基礎計畫、電信國家型科技計畫、網路通訊國家型科技計畫等。

避掉訪談過程中無謂的名詞解釋時間。



二、 訪談設計

蒐集到貫時性資料雖然有助於研究者掌握整體發展輪廓，但關於資料上顯現出的現象：關鍵事件的轉折、產業的空間布局、組織的網絡動態、國家的角色轉換等，較難從資料本身上進行更多詮釋。因此，本研究透過以下方式接觸受訪者：

- 滾雪球方式：研究者的大學、研究所校友網絡中，有數名在電信業、產業分析界工作，透過校友牽線接觸潛在受訪者。
- 參與產業研討會方式：研究者嘗試參與國內產業研討會，直接於現場接觸潛在受訪者。
- 撰寫公文後邀訪：瞭解哪些法人機構為關鍵行動者後，藉由撰寫公文形式詢問該法人機構是否能媒介潛在受訪者。
- 閱讀論文、公司財務報表後邀訪：透過閱讀公司財務報表或潛在受訪者所出版的正式／非正式文章，以寫信方式詢問是否能夠接受訪談。

在邀訪過程中，本研究以所蒐集到的二手資料、受訪對象任職單位及職位擬定客製化訪談大綱。事前擬定客製化訪談大綱的作業，得以彰顯出研究者對受訪對象的基礎認識及邀訪誠意，以提高受訪者願意接受訪談的意願。在訪談設計上，本研究採取半結構式深度訪談，目的在於：(1) 提供明確研究發問，避免訪談過程發散；(2) 提供受訪者訪談自由度，使其得以提供研究者未曾深入瞭解的內容。進行訪談時，受訪者可能會出現與其他受訪者陳述相異的情況，但 Haraway (2013) 認為知識都是一種具有部分客觀性的處境跟視角，研究盡可能從受訪者訪談當時處境，而非否定資料「真實」。因此，了解受訪者用什麼「視角」來理解事情，則能理解資料前後不一致的原因。此外，二手資料與訪談資料的交相比對、與受訪者確認訪談逐字稿的內容是否有誤、定期與其他研究生進行論文討論，可以在相異的描寫、詮釋觀點上，建構詮釋知識上的溝通效度 (communicative validity) (Kvale 1996)。

三、 研究對象

研究對象的選擇上，本研究區分了三個研究對象類別：(1) 臺灣網通廠、

(2) 公共研發機構、(3) 電信運營商。

(一) 代表性臺灣網通廠

由於網通產業依照傳輸方式、傳輸範圍而有不同的分類，也因此網通廠數量非常多。但本研究所關注的是：臺灣網通廠如何從網路通訊產業逐步跨足電信產業。因此檢視近年投入小型基地台研發之網通廠為以下代表廠商，如：中磊 (Sercomm)、正文 (Gemtek)、智易 (Arcadyan)、合勤 (Zxynel)、明泰 (Alpha Networks.)、建漢 (CyberTAN) 等。

(二) 公共研發機構：工研院、資策會、中科院

資策會、工研院，以及文獻甚少提及的中科院，這三家公共研發機構在二手資料蒐集上經常被提及，且在臺灣網通產業邁向電信產業發展上分別發揮不均質的影響力，故而本研究選擇這三家公共研發機構作為研究對象。以下為這三家公共研發機構之成立宗旨與任務：

- 資策會：設立宗旨為「*策進中華民國資通訊科技之創新與應用，協助發展數位經濟為宗旨*」，主要提供政府產業政策方針、人才培訓、軟體面研發等方面的任務⁴；
- 工研院：設立宗旨為「*為工業界提供工業技術研究之服務、加速工業技術之發展*」，主要負責硬體面技術研發、產業孕育等責任⁵；
- 中科院：設立宗旨「*為提升國防科技能力，建立自主國防工業，拓展國防及軍民通用技術*」。由於電信自由化以前，通訊技術以及通訊人才均集中於中科院，直至電信自由化的推動、政府預算縮編等因素，漸釋放研究量能與人才至民間，開始軍民合作的起點。

(三) 電信運營商

電信運營商做為通訊產業應用端，其雖然不能提供整體臺灣網通產業如何邁向電信產業的細節，但卻可以從訪談中側面得知全球電信產業趨勢，因此電信運營商亦是研究對象之一。在臺灣較大的電信服務商有三：中華電信、遠傳電信、臺灣大哥大，特別是電信總局在歷經《電信三法》修法過後的中華電信，如今政府仍持有一定比例股權，因此中華電信常肩負著政府寄予的「母雞帶小雞」之責，協助臺灣廠商進行場域測試，以及採購一定比例國產設備之期待。

⁴ 網址：https://www.iii.org.tw/About/CoreValue.aspx?fm_sqno=8&cvp_sqno=1#head。

⁵ 網址：https://www.moea.gov.tw/MNS/finfo/content/Content.aspx?menu_id=25982。

(四) 本研究受訪者資訊

本研究訪談的 15 位受訪者資料如表 3。每次訪談長度約莫一個半小時到兩小時，每次均在訪談前告知受訪者研究目的、資料運用後以徵得受訪者同意錄音。訪談結束後，將現場所觀察到與訪談到的資料彙整成田野筆記，作為下次訪談時所需注意的細節。若受訪者為演講接觸的話，研究者亦在演講前詢問受訪者是否可以節錄演講內容作為研究資料，並在演講結束後作簡短訪談。

表 3 本研究受訪者資訊

代號	任職單位及職稱	接觸方式	訪談日期	時間長度
III-1	資策會 MIC 產業分析師	滾雪球	2021.03.18	1 時 30 分
CSP-1	中華電信策略轉型辦公室	滾雪球	2021.04.16	1 時 00 分
CSP-2			2021.04.20	
CSP-3	中華電信退休高層	寄信邀訪	2021.05.13	1 時 45 分
ITRI-1	工研院資通所高階主管	公文邀訪	2021.09.14	2 時 00 分
NCSIST-1	中科院資通所計畫主持人	公文邀訪	2021.11.08	3 時 30 分
III-2	資策會系統所高階主管	公文邀訪	2021.11.26	1 時 30 分
ITRI-2	工研院資通所高階主管	公文邀訪	2021.11.30	1 時 45 分
NC-A-1	A 網通廠資深工程師	滾雪球	2022.02.28	1 時 30 分
IC-1	D 晶片設計廠高階主管	演講接觸 會後訪談	2022.03.03	3 時 00 分
NC-B-2	B 網通廠創辦人	滾雪球 寄信邀訪	2022.03.07	1 時 15 分
NC-B-3	B 網通廠資深工程師			
NC-B-4	B 網通廠發言人			
CSP-4	中華電信研究院研究員	演講接觸 會後訪談	2022.03.24	3 時 00 分
NC-C-5	C 網通廠董事長	演講接觸 會後訪談	2022.11.07	3 時 00 分

資料來源：本研究整理。

第二章、 全球行動通訊與小型基地台之技術與產業發展



小型基地台 (femtocell) 於 2008 年納入 3GPP Release 9 的討論中，宣告除了既有的大型基地台 (Macro cell) 之外，小型基地台也能做為行動網路佈署工具的方式。在開始討論小型基地台產業的發展前，勢有必要討論整體行動通訊產業的發展脈絡與技術軌跡如何促成小型基地台的出現，以及後續小型基地台在行動通訊產業趨勢中所扮演的角色演變。

行動通訊產業牽涉行動者甚廣，表 4 為行動通訊產業五個類別行動者，分別為晶片設計廠、電信設備廠、網路通訊廠、系統整合廠以及電信運營商，每個行動者在行動通訊產業中所負責的業務敘述如表 4 所述。

表 4 行動通訊產業之五種類別行動者

行動者類別	負責業務
晶片設計廠 (IT)	<ul style="list-style-type: none"> 負責提供一套晶片解決方案給廠商，使廠商能依據解決方案生產。 代表廠商如：Qualcomm (高通)、Intel (英特爾) 等。
電信設備廠 (CEP)	<ul style="list-style-type: none"> 負責供應電信運營商、系統整合廠之基地台設備。 代表廠商如：Nokia、Ericsson、Huawei (華為)、ZTE (中興) 等。
網路通訊廠	<ul style="list-style-type: none"> 生產範疇橫跨有線與無線業務，負責提供系統整合廠、電信設備廠、電信運營商產品，或將產品銷售至通路市場。 代表廠商如：本研究訪談對象。
系統整合廠 (SI)	<ul style="list-style-type: none"> 瞭解產業需求，提供客戶整合系統服務與技術解決方案。 代表廠商如：Rakuten (樂天) 等。
電信運營商 (CSP)	<ul style="list-style-type: none"> 負責佈建電信基礎設施、提供連網服務等電信業務給消費者，其需向當地所屬通訊機關投標頻譜資源。 屬於 B2C 模式，該電信市場特性要求屬高穩定性——須向消費者負責，以及高屬地性——須依據該國電信法規而提供服務。 代表廠商如：中華電信、AT&T、Verizon 等。

資料來源：本研究整理。

僅只解釋各個行動者所負責的業務並沒有辦法了解其中的互動邏輯，圖 1

便解釋各個行動者於行動通訊產業中所扮演的角色⁶：



- 通訊標準制定：行動通訊標準由諸多不同層級組織共同參與下所制定，主要可以分成：
 - (1) 聯合國轄下國際電信聯盟 (ITU)：負責確立通訊標準、分配主要頻譜資源及跨國通訊任務；
 - (2) 技術標準組織——電機電子工程師學會 (IEEE⁷)：討論各個參與者所提案之通訊技術，可理解為討論「怎麼傳遞資料」技術標準組織；
 - (3) 產業標準組織，如：3GPP⁸、3GPP2、WiMAX Forum⁹等，可理解為討論設備間如何溝通、如何測試認證等任務。
- 電信設備廠：提供電信運營商或系統整合廠基地台設備。其中基地台設備的晶片主要由(1) 電信設備廠自行設計並委由半導體製造廠製造，同時整合(2) 晶片設計廠提供之晶片及其他電子元件以完成整合工作。
- 網路通訊廠：網路通訊廠主要透過晶片設計廠所提供之晶片解決方案生產網通產品，較少與晶片設計廠共同研發生產。其通路主要銷往零售通路、電信設備廠、系統整合廠以及電信運營商為主。
- 電信運營商及系統整合廠：透過向政府標下特定頻段的頻譜以及通訊執照，並向網路通訊廠及電信設備廠購買相關設備後，才能提供通訊服務給消費者或企業用戶。

⁶ 需注意的是：圖 1 無法描繪出各個行動者之間的權力關係，且其中電信設備廠可能也同時負責晶片設計、網路通訊廠可能同時具備系統整合能力，故僅能作為初步理解供應鏈狀況用。

⁷ 電機電子工程師學會 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 屬於個人會籍制度，每人一票、票票等值。

⁸ 第三代合作夥伴協議 (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) 屬於企業會籍制，繳的會費越多，該公司的票權重就越多。

⁹ 屬於個人會籍制。

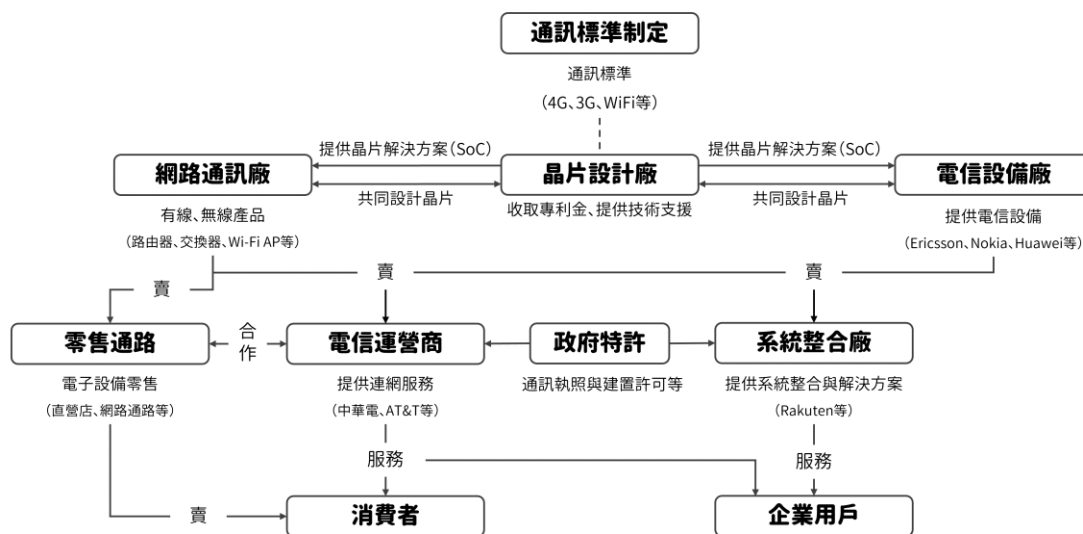


圖 1 行動通訊產業鏈

資料來源：本研究繪製。

描述完行動通訊產業的相關行動者及其關係後，接下來兩節將論述：(1) 整體行動通訊技術發展軌跡及其背後的產業結構變化，以及(2) 影響小型基地台發展的佈署架構及市場趨勢。

第一節、全球行動通訊技術軌跡與產業發展

從第一代行動通訊系統(1G)演化至第五代(5G)的過程中，仰賴的不僅是行動通訊技術的革新，也包含行動通訊需求成長、市場機制如何遴選技術以及背後不同行動者的商業利益考量。本節首先以(1)行動通訊市場特性與服務型態變化為開端，概略講述行動通訊市場從1G演進至5G發生了何種變化，接著談論(2)行動通訊技術從1G演進至5G的軌跡，作為理解(3)行動通訊產業的整體變化趨勢。

一、行動通訊市場特性與服務型態變化

每個行動通訊系統主要針對「如何更有效率傳輸」進行技術上的修正，而在技術修正的基礎上，又會衍生出新的服務型態。表 5 整理了從 1G 到 5G 過程中，其主要採用的傳輸技術與流行的服務型態為何。承繼表 5 的總整理，本研究接著闡述每一代的市場特性與服務型態為何。

表 5 行動通訊系統各代內涵

行動通訊系統	內涵
第一代 (1G)	<ul style="list-style-type: none"> 類比式通訊傳輸¹⁰ 主要流行於：1980 年代至 1990 年代。
第二代 (2G)	<ul style="list-style-type: none"> 數位式通訊傳輸 相較前代，高通話保密性與系統容量，提供更好通話品質，並新增簡訊服務。 主要流行於：1990 年代初至 2000 年代中期。
第三代 (3G)	<ul style="list-style-type: none"> 行動寬頻技術¹¹ 新增多媒體服務，如：數據傳輸、安裝應用程式。 可見於：2000 年代初至今。
第四代 (4G)	<ul style="list-style-type: none"> 行動寬頻技術 All-IP based (全 IP 網路化)¹²讓後端 (核心網路) 不必區分專屬語音或數據的功能區，促使行動寬頻上網更普及。 可見於：2010 年代初至今。
第五代 (5G)	<ul style="list-style-type: none"> 三大特性：大頻寬 (eMBB)、低延遲 (uRLLC)、廣連結 (mMTC)，各個特性對應的都是不同的應用場域。 各國正積極佈署，主要可見於：2020 年代初至今。

資料來源：財團法人電信技術中心 (2015)。無網不利—未來趨勢 5G 大演進。科技部國家實驗研究院國家高速網路與計算中心。

1G 採類比式通訊傳輸技術¹³，主要對應到當時蓬勃發展的汽車行動電話¹⁴。

¹⁰ 類比式 (analog) 訊號為連續性訊號，若有人想竊聽類比式行動電話，只要調到適當頻率即能「原音重現」，而數位式 (digital) 訊號由「0」與「1」組成，對有意竊聽數位電話者而言，如果不會解碼，「0」與「1」的訊號毫無意義。(張文菁，19920530，〈數位行動電話 泛歐 GSM 系統 北美 ADC 系統 將並行〉，《經濟日報》06 版)。

¹¹ 寬頻 (broadband) 是一種相對性的定義，意即相較以前所提供的通訊頻寬 (bandwidth) 來得更寬，其所提供的網路速率也會變得更快——以馬路做為比喻方式，當一定的車流量下，馬路拓寬後便會使行車速度變快。

¹² All-IP 網路是指無論是語音服務、行動上網、多媒體服務等等，均得以受到 All-IP 這種單一傳輸平台所支援，其內涵主要包含：(1) 軟硬體架構的分離，促使應用程式開發得以蓬勃發展，不必綁在設備廠所提供的單一架構。舉例如：在 2G、3G 時期的手機廠 (如：Motorola、Nokia，其內建應用程式而無法使用其他新興業者所提供的應用程式)；(2) 不同網路服務的順利切換，讓終端裝置持有者得以自在切換 Wi-Fi、行動通訊技術等等。舉例如：若使用者在家中無法順利連結上行動網路，其可以轉用 Wi-Fi 上網與通話。

¹³ 相關報導可見於：「電通所指出，目前我國蜂巢式行動電話外銷美國，將遭遇一些阻礙，因為蜂巢式行動電話有許多專利權屬於美國摩托羅拉公司 (Motorola) 所有，光是類比式產品就有二百五十一個專利屬於摩托羅拉，若摩托羅拉採取強勢姿態，我國的產品勢必遭遇很大的行銷阻礙」

由於當時各國尚在冷戰末期，諸多頻譜資源仍掌握在國家軍事機構中，並由國家特許電信機構負責審核基地台設備及使用者終端設備進口及通訊業務。隨著 1990 年代初期全球電信自由化趨勢，各國電信市場始朝向自由化、開放化、民營化，使用者終端市場解禁導致諸多終端設備的出現¹⁵。順應著終端通訊市場的蓬勃發展，2G 採用數位式通訊傳輸技術，目的在於提高基地台系統容量與確保通話內容的保密性。

3G 提供行動寬頻技術，使手機除了行動通話外，同時具有多媒體通訊的功能，因此在 3G 時代下，手機得以支援音樂、視訊、上網以及圖像處理能力。即使如此，3G 真正開始發揮其作用，並使得終端用戶需求高速成長的原因係為 Apple 推出可以直接藉由 App Store 下載軟體的 iPhone，使得行動寬頻需求大量成長。4G 同樣提供行動寬頻技術，然而相較 2G、3G 將語音資料與無線數據資料分開送至不同的功能區處理¹⁶，4G 結合了語音傳輸（telecom）與數據傳輸（datacom）兩種方式，改採全 IP 網路化（All IP based）傳輸方式，使傳輸後端不必區分專屬於語音或者數據傳輸的功能區。有鑑於前述傳輸與處理方式的革新，促使行動通訊市場的快速成長，並衍生許多新興網路服務，如：社群軟體（Line、Whatsapps 等）、社交媒體（Facebook、Twitter、Instagram 等）、串流平台（Netflix、Spotify 等）等的崛起，從而帶動行動寬頻上網需求的蓬勃發展。在以服務消費者為核心的行動通訊產業裡，4G 的技術架構已經幾乎可以滿足消費者所需，讓手機不再僅只通話而完整具備行動上網的功能。

（張文菁，19910110，〈電通所 ICOM（通訊電子技術發展計畫）改弦易轍〉，《經濟日報》06 版）
¹⁴ 相關報導可見於：「電信局已決定明年六月開放汽車電話的使用，有關的局用設備已由瑞典易力信公司（ERICSSON）得標，所採用的為北美 AMTS 系統。目前各國使用的系統，除了該系統外尚有北歐的 NMT 系統跟英國的 TACS 系統」

（19880611，〈降低汽車電話成本 開放門數宜再增加〉，《經濟日報》21 版）。

¹⁵ 舉例如（1）蜂巢式行動電話：汽車行動電話、可攜式電話與手握型電話（即大哥大），其特性為有限定門號數以避免通訊壅塞的問題；（2）無線電話：可以多頻道通話的 CT-1、無法行進間通話但被譽為窮人大哥大的 CT-2 等；（3）呼叫器：僅作為單向通話用途，俗稱 B.B. call。

（金萊萊，19910428，〈通樂 行動通訊設備走紅 21 世紀〉，《經濟日報》23 版）。

¹⁶ 在 2G、3G 架構中同時存在著「電路交換網路」與「數據封包交換網路」，目的在於同時支援傳統的電信服務及網路應用服務，原因在於：（1）對於電信運營商（CSP）的成本考量下，傳統電話網路不可能在短時間內汰換，且當時電信運營商（CSP）的收入來源仰賴通話與簡訊，再者（2）無線數據的成長需求需要另外處理。由於 2G、3G 架構複雜且龐大，因此 4G 核心網的標準制定上就以簡化為原則，一則支援數據封包交換網路處理數據傳輸，二則納入其他無線陣營技術（如：IEEE 802.11 技術的 Wi-Fi）以支援其他無線上網技術。

（紀博文、林威志，20100602，〈落實 LTE 競爭優勢 演進數據封包核心網扮推手〉，《新通訊元件雜誌》。取用日期：2022 年 4 月 13 日，取用網址：<https://www.2cm.com.tw/2cm/zh-tw/tech/B83A5D3BD02F4D808B5A10A5D9A6DEFE>）。

5G 開始轉以物為核心，透過物與物之間的溝通以應用於新興場域，其有著三大應用特性：大頻寬（eMBB）、超可靠低延遲（uRLLC）以及廣連結（mMTC），因應不同特性有著不同應用場域，舉例如：智慧城市仰賴物與物之間的溝通，較傾向廣連結（mMTC）；自駕車牽涉到行車安全以及與其他行車單位之間的溝通，較傾向超可靠低延遲（uRLLC）；上傳下載速度更快，較傾向為大頻寬（eMBB）。因此可以說：相較於 4G 以前已經滿足人們行動上網的需求下，5G 提供的是更為多樣化的應用場域。

二、全球行動通訊技術軌跡

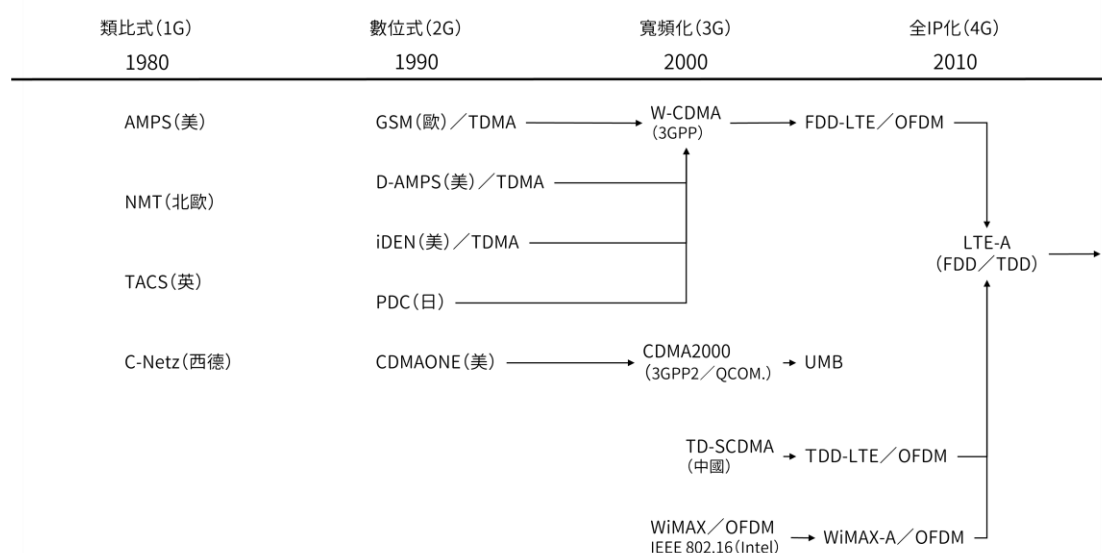


圖 2 行動通訊技術發展簡史

資料來源：參考資策會（2006）並經本研究重新繪製。

註：圖 2 僅呈現簡史，其中涉及的 2.5G、2.75G、3.5G 過於複雜，故不呈現之。

採類比式的 1G，在當時電信自由化趨勢尚未明朗、各國仍處軍事對峙時期階段，掌握軍事通訊技術的先行者以自主研發為主，其他國家則或自主研發並應用於國內，或採購主要大國的通訊技術傳輸¹⁷。由於 1G 頻率設計因素，其具備傳輸距離長、覆蓋範圍廣的特點，然而由於 1G 基地台可容納使用者數量及彈性擴充性欠佳，加上類比式通訊技術容易受到其他訊號干擾與竊聽問題，故

¹⁷ 主要流行的通訊技術如：1980 年代，美國基於 FDMA 技術發展的 AMPS、北歐隨後發展的 NMT、1984 年西德研發的 C-Netz、1985 年英國所開發的 TACS 等。其中 FDMA（分頻多工存取）可理解馬路分成慢車道、機車道、快車道、公車道等提供給專屬使用者——即分割無線通訊頻帶為數個小頻帶，並由專屬使用者傳輸資料，實現多個使用者同時傳輸資料的目的。

逐步由數位式通訊技術的 2G。

1990 年代逐步盛行的 2G 彌補了第一代缺失：增加基地台系統可容納使用者數量、提高基地台擴充功能性、防止其他訊號干擾的處理，以及避免被竊聽的通話安全性。當時主要流行的通訊技術有：(1) 歐洲統一標準的 GSM¹⁸；(2) 美國內部企業自行推出的三套通訊系統：D-AMPS、TDMA 及 CDMA¹⁹；(3) 日本內部自行研發、採用的 PDC²⁰。

1990 年代末、2000 年代初流行的 3G 提供相較於第二代更高的傳輸速度與用戶容量、更具效率的頻譜利用率，以及在全球漫遊時可互通的理想，其中無線傳輸技術分成三大類：CDMA、TDMA、FDMA。由於 CDMA 可容納使用者的數量高於其他技術，因此作為 3G 主流的通訊技術，並有原先支持 GSM 系統的業者所支持的 W-CDMA、Qualcomm 與韓國支持的 CDMA2000 以及中國與 Siemens 合作推出的 TD-SCDMA。照著 CDMA 的技術優勢，4G 可能會持續採納 CDMA 的技術框架，然而直到 IEEE 於 2003 年引入 OFDM²¹技術投入 Wi-Fi 後，以 Intel 為首與 Motorola、Nokia 於 2005 年宣布發展 IEEE 802.16 (WiMAX) 所採用的 OFDM 技術投入行動通訊產業。

相對於 CDMA，OFDM 優點顯現在更有效率的頻譜利用率，以較簡易的方式處理訊號干擾的問題，因此由傳統電信設備廠所組成的 3GPP 分別於 2008 年、2011 年陸續提出 3.9G LTE 以及 4G LTE-A。Qualcomm 當時在併購具 OFDM 專利技術之企業，推出合併 CDMA、OFDM 及天線接收發送技術 MIMO²²之 UMB 技術，最後在產業生態系及市場端均無人使用的情況下宣告失敗。作為同樣競爭 4G 的 WiMAX，一樣受到產業生態系及市場端的問題下而敗下陣，LTE-A 始成為各國電信運營商主要採納之行動通訊技術標準²³。隨後 5G 繼續採

¹⁸歐洲採納 GSM 考量為：各國之間無法順利漫遊 (roaming)，並在加強各國共識後共推一套以 TDMA 技術為基礎的通訊標準，而統一共識意味著該標準搶下歐洲市場，迅速擴大 GSM 在 2G 的標準霸主地位。其中 TDMA (分時多工存取)，可理解成同一條馬路上，不同使用者按照 2 先後順序傳遞資料——在同一頻率範圍內，實現多個使用者同時傳輸資料的方式。

¹⁹ D-AMPS 基於 TDMA 技術、Motorola 推出基於 TDMA 技術的 IDEN，以及 Qualcomm 將原先用於軍事通訊技術的 CDMA¹⁹商業化所推出的 CDMAONE。

²⁰ PDC 基於 TDMA 技術，主要用於日本境內。

²¹ OFDM：Orthogonal frequency-division multiplexing (正交分頻多工)，其技術與 FDM (分頻多工) 類似，然而並不若傳統 FDM 為了怕兩個不同的波產生干擾而須設置防護區間 (guard interval)，OFDM 可以讓波與波產生正交以更有效率地使用有限的頻譜。

²² MIMO：Multi-input Multi-output (多輸入／多輸出系統)，技術主要是發射端藉由多個天線發射訊號、接收端透過多個天線接收訊號的技術，大幅增加資料傳輸速率。

²³ 關於 WiMAX、LTE 與 UMB 的競爭，可見於當時報導：「WiMAX 是由資訊業界英特爾為首

納 OFDMA 技術。

綜整上述，行動通訊技術演化歸納為以下：（1）技術面——出現傳輸效率更好、能夠解決舊問題的新技術；（2）市場面——有更便宜的採購與維護運作的基地台產品；（3）架構面——終端使用者變多，基地台不堪負荷下，出現更能彈性佈署、使用者容納數增加的新基地台架構。從上述三面向理解各個行動通訊技術的更迭，有助於理解下一小節全球行動通訊產業的發展變化。

三、全球行動通訊產業發展變化

上一小節可以看到全球通訊技術軌跡從百家爭鳴到定於一尊的過程。本小節則在前述基礎上，解釋歷代行動通訊產業的變化中，並非是哪個技術優於哪個技術而勝出，而是背後牽涉到諸多利害關係人之間的商業競合，從而影響整體行動通訊產業的發展。

1G 有著北歐規（NMT）、英規（TACS）、西德規（C-Nets）、美規（AMPS）不等，各國自行研發通訊標準者均應用於本國。由於 1990 年代初期行動通訊市場蓬勃發展，現存佈建的 1G 基地台系統並無法容納越來越多的使用者，再加上類比式傳輸容易遭到竊聽、該頻譜規劃容易受到其他訊號干擾等問題，因此因應使用者成長趨勢下，勢有必要擴建、升級基地台才能容納更多使用者與解決技術問題。因此，電信運營商改採數位式通訊技術之 2G 取代掉 1G，以便容納更多使用者、解決訊號干擾與通話竊聽問題。

2G 有著歐規（GSM）、美規（CDMAONE、IDEN、D-AMPS）、日規（PDC）等。由於挾著統一標準的歐洲大力投資 GSM，再加上 GSM 基地台易於佈署的特性，即使在技術特性上不如 CDMA，卻受益於歐洲統一標準後的龐大市場，迅速掌握全球 2G 市場近八成之市占率。隨著行動網路需求的增長，既有的技術已無法滿足與負荷日益增加的使用者需求，故而衍伸出過渡期的 2.5G（GPRS）以及後續的 3G。

在 3G 開始商業化前，作為晶片設計廠的 Qualcomm 已於 2G 時期佈署

凝結的力量，讓之前沒有搭上電信列車的資訊業者趕搭的末班車，LTE 是在 3G 市場享有優勢的業者如易利信、諾基亞等人大力鼓吹的技術，連結著所有市場上既得利益的電信業者，UMB 則是由擅長收取權利金的高通主導，想要複製其之前的營運模式，再創造一張永遠賺錢的門票」。（費家琪，20071211，〈4G 三雄 臺灣獨押 WiMAX〉，《經濟日報》A3 版）。

CDMA 技術專利。Qualcomm 瞭解除了投入技術研發，也需要同步有市場需求才能影響行動通訊產業，因此其與韓國於 1990 年代共同簽署 CDMA 技術轉移合約，將 Qualcomm 於韓國所收到的專利費用一定比例用於韓國研發 CDMA 技術資金。因此 2G 時期空有技術卻沒有市場需求的 Qualcomm 透過與韓國技術合作、公司經營策略²⁴，以及 3G 時期沒有可與之競爭的通訊技術之下崛起，韓國作為行動通訊產業的後進者也成功躋身領先位置²⁵。

眼見 Qualcomm 將專利埋於通訊標準中，無論如何均繞不開其佈署的專利下，以「既有龐大市佔換取話語權」的歐洲電信設備商選擇與 2G 時期自推 PDC 通訊標準的日本合作，成立標準組織 3GPP 並支持 W-CDMA 技術。晶片設計廠 Qualcomm 為了與 3GPP 抗衡，便與韓國成立了 3GPP2 並推出 CDMA2000。而中國作為行動通訊產業的後進者，挾著「龐大市場換取練兵機會」的方式，選擇與 Siemens 合作推出 TD-SCDMA 並應用於中國市場，而這開啟了中國從通訊產業後進者躋身先行者的契機（IC-1，D 晶片設計廠高階主管，20220303）。從電信運營商視角而論，其經營重點在於：服務消費者的電信系統穩定性以及既有基地台建設的沉沒成本。原先在 2G 時期採用 GSM 系統的電信運營商，傾向採納可與既有系統互通的 W-CDMA，而原先採納 CDMA ONE 系統的電信運營商，則偏好採納系統相容性較高的 CDMA 2000。即使技術發展迅速，然而通訊市場並未如預期發展，再加上歐洲電信運營商受到 3G 頻譜標金過高，紛紛傳出融資困難而瀕臨倒閉的狀況²⁶²⁷。

²⁴ 舉例如：(1) 藉由逆向授權取得客戶技術專利，同時向其他客戶共享專利池，建立起以 Qualcomm 為主的生態系，提供新興手機業者避開專利陷阱；(2) 透過一套整合不同晶片之系統單晶片 (System on Chip, SoC) 方式，直接授權手機品牌廠專利技術，一來省去新興手機業者部份研發費用，二則打破由 Motorola、Ericsson、Nokia 同時兼專利技術授權者與手機品牌商的商業模式。

²⁵ 與 Qualcomm 合作的韓國是全球 CDMA 首例進行商業運轉的市場，其在 1996 年便將 Qualcomm CDMA 技術應用於消費電子市場中，同時 Samsung 作為獲益者更是屢獲各地電信運營商訂單。可見於以下報導敘述：「韓國在 CDMA 技術居世界領先地位，其中三星電子更屢獲世界各地電信業者的合約。例如：1998 年上海長城移動通信公司 (Great Wall Tele-com) 上海地區的 CDMA 服務、今年雪梨奧運的 CDMA 解決方案，以及美國最大的 CDMA_PCS 通信公司 Sprint 的合約等都是三星的傑作；並且三星現在所發展出來的 cdma2000 1X 業已通過巴西與澳洲 Telstra 的相關測試，可說是研發速度最快的電信供應商，而 CDMA 手機佔有率也超過全球 50% 的佔有率，成為最大 CDMA 手機供應商」。

(王傳聰，20001207，〈IMT-2000 本屆 CDMA 國際研討會焦點〉，《經濟日報》39 版)。

²⁶ 此狀況可見於當時報導：「我國五張第三代行動通信 (3G) 執照昨天以總價近四百八十九億元決標，雖然業者都表示前途樂觀，但 3G 由於至今在國際間還沒有任何一國家有營運成功的系統業者，且已推出服務的業者都碰上手機發展無法趕上系統腳步的問題，花高價拿到 3G 執照的業者，未來是福是禍，目前無人能預料。兩年多前，英、德分別以總價台幣一千一百卅六

在通訊技術發展過程中，晶片設計廠 Intel 以迅馳電腦（Centrino）結合 Wi-Fi 獲得市場肯定²⁸，以及 IEEE 於 2003 年引入 OFDM 應用於 Wi-Fi 之後，Intel 始宣布投入 WiMAX 技術研發並積極組建生態系。WiMAX 可視為 Wi-Fi 的加強版，具有傳輸距離遠、傳輸速度快、解決寬頻固網最後一哩（last mile）²⁹的問題，再加上 WiMAX 透過無線傳輸方式連結基地台與核心網路，可以省去電信運營商的有線佈署成本，因此相當吸引電信運營商、電信設備廠以及擅長 Wi-Fi 生產的後進者臺灣³⁰注意。即使 WiMAX 有著上述的技術優勢，但直到 IEEE 802.16e 的出現，從供應鏈的角度卻發展卻不如預期：

- 從電信設備廠角度論：Intel 挾 WiMAX 企圖進軍行動通訊產業無異於挑戰傳統電信設備廠在基地台市場上的標準制定與市占率之話語權。雖然大部份電信設備廠有所投入 WiMAX，但領先者持審慎觀望態度（如：Nokia、Ericsson），追趕者則積極搶進（如：Fujitsu、Alcatel-

億多元及一千五百八十三億多元的天價拍賣 3G 執照，當時英國著名媒體「經濟學人」即指出，歐洲電信業者為 3G 執照投入的鉅資，可能是企業史上最大的一場豪賭。一年多後，全球經濟衰退，國際電信業股價帶頭大跌五成以上，德國電信、法國電信、英國電信等著名業者的信用評等一一被降等。連坐收高額標金的英國政府，都因此被股票投資人大罵為吸血政府。相對於歐洲的慘痛經驗，亞洲各國政府對 3G 發照考量就謹慎許多。日本政府早早即將 3G 執照免費發給三大業者，日本在第二代行動電話採用了和歐洲不同的系統，沒想到最後全球流行的是歐洲主導的 GSM 系統，日本錯失全球商機，因此在 3G 來臨之際，日本政府和業者站在同一條陣線，政府發出執照不收錢，業者不計萬難搶在全球推出 3G 服務，以搶得全球趨勢主導權，進而拿下全球手機市場。但日本的 3G 之路並不順利，才推出沒多少，就得回收不穩定的手機，再次讓外界對 3G 的前途又多了不少問號」。

（郭錦萍，20020207，〈高價拿執照 企業史最大豪賭〉，《聯合報》2 版）。

²⁷ 傳統電信設備大廠 Ericsson 主要的歐美電信運營商（CSP）紛紛延遲推出 3G 服務，造成 Ericsson 當時莫大的財務危機，直到消費者開始轉向使用 3G 手機、終端行動通訊市場成長之際，Ericsson 才得以解決危機。可見於此報導：「3G 設備需求不斷增加，幫助有 128 年歷史的易利信脫離該公司史上最嚴重的危機。當易利信的大客戶（歐洲與美國行動電話服務供應大廠）2002 年開始延後推出 3G 服務時，易利信似乎快要陷入破產，該公司裁減一半人力、削減研發預算，並且發行新股集資 32 億美元」。

（林聰毅，20041010，〈3G 市場看俏 電信設備業利多〉，《經濟日報》A7 版）

²⁸ 論 Centrino 電腦為何成功，主要可從三點回應：（1）從使用者終端來看，Wi-Fi 技術大幅降低使用者上網的成本以及門檻；（2）當使用者想要上網時，直接到通路市場購買並安裝 Wi-Fi Access Point（Wi-Fi AP）。當設備傳輸數據時，可以直接透過伺服器傳輸至網路，不必像電信運營商佈建無線接收網路等設備，上網成本大幅降低；（3）Wi-Fi 是公共頻譜資源，使用者不必向電信主管機關取得授權，即可以免費上網。

²⁹ 最後一哩（last mile）意即為「電信機房到用戶終端之間的距離」，並非指稱一個詳細的距離以及問題，而是對於固網業者而言，機房佈線到用戶終端的成本過於昂貴，無法讓較多使用者攤提佈建成本，僅能服務少許用戶。

³⁰ 當時臺灣為了 WiMAX 技術，在第一期電信國家型科技計畫結束後，由第二期電信國家型科技計畫延續既有計畫研究成果，同時專注研發 WiMAX 技術。

Lucent 等)。

- 從電信運營商角度論：電信運營商須考量既有建設基地台的沉沒成本以及高穩定性的基地台系統。WiMAX 雖然在基地台與核心網路之間無須佈線優勢，以及有望解決最後一哩 (last mile) 問題，但是 WiMAX 基地台屬於數據傳輸 (datacom)，與既有通訊網路的通訊傳輸 (telecom) 並不相容，再加上尚未有完整供應鏈的情況下，運營商僅能觀望。
- 從臺灣網通廠角度論：長期替電信設備廠做 OEM/ODM 業務的網通廠，自 Wi-Fi 轉進投入同樣是數據傳輸 (datacom) 的 WiMAX 無異於擴大其市占率，再加上政府以電信國家型科技計畫等政策傾力補助，有望讓廠商從網通市場跳入難度更高的電信市場³¹。

從技術思考上，確實 WiMAX 能以更簡單的方式處理訊號干擾、更具效率的頻譜利用率，然而納入行動通訊產業中的各個行動者而論，WiMAX 的發展便不如預期。參與 WiMAX 標準甚深的 IC 設計廠主管指出關鍵轉捩點在於：雖然 WiMAX 當年發展風聲鶴唳，有望取得電信基礎較薄弱、土地面積較大、人口數量僅次於中國的印度市場，然而由 Qualcomm 偕同在地電信運營商標下關鍵頻譜資源後，卡住 WiMAX 標下印度 4G 市場的契機³²。關鍵一役使 WiMAX 之生態系不敵現實而逐漸瓦解 (IC-1, D 晶片設計廠高階主管, 20220303)。因此在 pre-4G 時期各家產業標準組織激鬥下，由傳統電信設備廠主導的 3GPP 勝出，逐漸演變成現今四大設備廠壟斷基地台市場的局勢。

從 1G 演變到 5G 的過程，可以看出技術發展路徑從各國自主研發轉向趨於統一的通訊標準，象徵通訊技術演進具有路徑依賴 (path dependency) 特性：舊技術的確讓先行者享受正向回饋效益，但新技術典範讓挑戰者得以開拓新的市場商機，打破原先路徑鎖定 (lock-in) 的狀態 (Martin、Sunley, 2006；Sydow、Koch, 2008；Martin、Sunley, 2010)。從產業發展來看，傳統電信設備廠掌握住電信運營商所在意的高穩定性基地台系統與佈建基地台的沉沒成本，其能夠透過系統相容性的規格優勢，讓後進者難以打入電信市場以繼續維持先

³¹ 此狀況可見於當時報導：「國內網通廠在 WLAN 領域占有一席之地，全世界有九成以上的 WLAN 設備都是臺灣製造 (Made in Taiwan)，但臺灣廠商無法參與規格制定，只負責產業生態鏈最下游的代工製造，即使全球出貨量市占率超過九成，但分到的產值卻不到五成」。曾仁凱, 20050902, 〈參與規格制定 這回趕上了〉,《經濟日報》C5 版。

³² 陳良榕, 20130201, 〈財訊／高通掌門人雅各布：臺灣，跟著我就對了〉,《財訊》第 417 期。

行者在市場、技術與標準上的領導地位。若從電信運營商以及整體行動通訊市場發展的角度來看：

- 類比式 1G 轉向數位式 2G 之際，受益於終端市場對於「行動通話」需求的成長，因此在 1G 基地台不堪負荷行動通話需求成長之下，市場特性屬於 B2C 的電信運營商便轉向添購 2G 基地台以容納更多消費者；
- 3G 時期各家電信運營商看好 CDMA 技術可容納更多使用者，然而卻因初期市場反應不佳而使諸多電信運營商面臨破產危機，直到 2007、2008 年 iPhone 推出手機直接下載 App 的功能，而使手機不僅具通話、簡訊功能，更多帶有上網、娛樂的性質，開始帶動行動寬頻需求大量成長。
- 4G 時期由於行動寬頻上網需求的快速成長，再加上串流平台與社群平台的興起，行動通訊系統設計上便汰換掉電路交換網路，讓通話得以與上網一樣，透過數據封包（IP-based）的方式傳輸資料，簡化後端功能區的设计，不必將語音與資料分開處理。

從行動通訊世代的發展過程，可以看出消費端由於新興服務的竄起，對於行動寬頻上網的需求呈現成長趨勢，大量資料不斷傳送至有限的基地台系統。對基地台系統及電信運營商而言，在維持高服務品質、基地台系統穩定度以及佈建成本的考量下，勢有必要檢視既有基地台系統的設計。

第二節、小型基地台產業發展

誠如前一節描述，通訊產業發展並非技術決定論，同時也受制於市場需求的成長以回頭推進產業。在 1G 演進至 5G 的過程，市場需求朝向多元化發展趨勢之下，業務性質屬於 B2C 的電信運營商，其所購置的大型基地台難以負荷日益成長的行動寬頻需求，再加上行動用戶以室內為主，擴建基地台不符合成本效益之外，也帶給基地台在系統服務品質（QoS）、基地台容量（capacity）、訊務（traffic）等方面的負擔。

在基地台無法因應網路頻寬需求成長彈性佈署下，小型基地台於 2008 年開始作為電信運營商提升通訊覆蓋、解決通訊死角的方法，但由於 Wi-Fi 技術可彌補室內訊號死角，故小型基地台並非當時市場主流產品之一。小型基地台一開始僅只提供使用於住宅單元內之低功耗、短距離的 femtocells 為主，後來開

始因應場域特性，衍生出其他類型的小型基地台，如：使用於企業、公共場域的 picocells；佈署於室外以彌補大型基地台覆蓋不足的 microcells；佈署於人口使用密度高之 metrocells（參考表 6）。不論是何種類型的小型基地台，其在由電信運營商所組成的 Small Cell Forum 之報告書《Small cells and dense cellular networks》中，定義為「運營商控制的低功率無線接取節點的總稱，包含在授權與公共頻譜的節點，其覆蓋範圍因應佈署場域，由 10 公尺至數百公尺不等」，主要作為提高（1）網路覆蓋率、（2）頻譜使用效率、（3）網路容量的功用（Small Cell Forum，2018）。

表 6 小型基地台種類、內容與佈署場域

種類	佈署場域	使用者	覆蓋範圍
Femto	住宅、企業	住宅：4-8 位； 企業：16-32 位	數十公尺
Pico	公共場域	64-128 位	數十公尺
Micro	彌補都市範疇的覆蓋死角	128-256 位	數百公尺
Metro	於都市範疇提供額外容量	大於 250 位	數百公尺

資料來源：Small Cell Forum，2018，《Small cells and dense cellular networks》。

小型基地台一開始作為電信運營商解決通訊死角與通訊涵蓋率不足的產品，爾後隨著 4G、5G 的發展以及基地台解構的趨勢之下，開始有多樣化的應用場域。以下將介紹行動網路佈署方式的演變以及小型基地台隨通訊世代變遷下的應用轉變。

一、無線接取網路佈署（基地台系統）發展變化

（一）一體化基地台

行動通訊之所以可行，是由於手機等終端設備（UE）將資料透過「無線方式」傳輸給基地台後，再由基地台藉由「有線方式」將資料往後傳（backhaul）給電信運營商的核心網路（Core Network），最後透過同樣的傳輸路徑回傳資料給終端設備（UE）。其中基地台在佈署架構中稱為「無線接取網路」（Radio Access Network, RAN），主要由天線（Antenna）、遠端無線單元（Remote Radio Unit, RRU）與基頻單元（Baseband Unit, BBU）³³所構成（參考圖 3）。

³³ 天線（antenna）轉換電子信號（electrical signals）為無線電波；遠端無線單元（RRU）將數位資訊轉換成可以無線傳輸的訊號，以及確保傳輸過程是在正確的頻帶與功率上；基頻單元

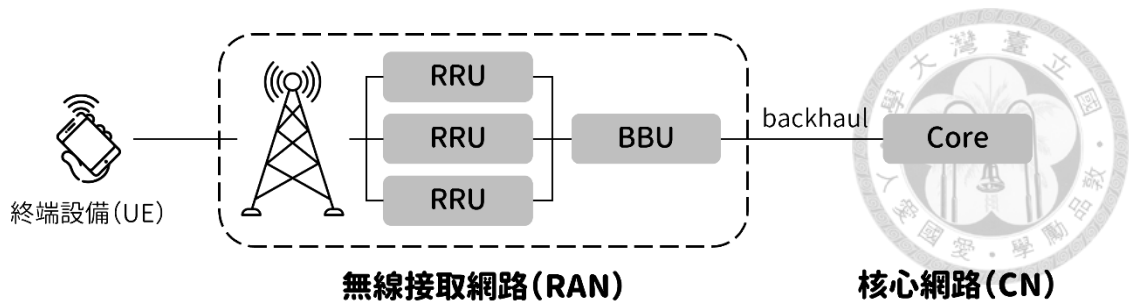


圖 3 一體化基地台架構

圖片來源：本研究繪製。

無線存取網路（RAN）對於各個行動者而言的意義均不一樣：

- 電信運營商角度：須向電信設備商購買基地台系統以服務消費者。然而，基地台系統購置成本相當昂貴，電信運營商盡可能在不大幅變動既有設備的前提下，因應行動通訊系統的發展趨勢，盡可能小幅變動無線存取網路（RAN）佈署方式，以求降低成本。
- 電信設備廠角度：委託網通廠代工，並在設定設備與設備間的通訊協定及整合電子元件後，向運營商兜售基地台系統。對於電信設備廠而言，基地台系統的封閉性是其能掌握市佔率、標準話語權的利器。
- 網路通訊廠角度：接收來自電信設備廠的代工訂單，依其規格生產相應產品，才能與電信設備廠所生產的基地台系統互通。

撇除掉各國各家電信運營商差異佈署情形。一般而言在 1G、2G 時期，BBU 與 RRU 等均置於同一機櫃中，僅只有天線放在室外收發訊號。這種佈署架構面對到以下市場環境後，顯得不合時宜：

- 佈建基地台所需的建設投資成本、場址租賃成本、維護運營成本高昂，再加上各國設置基地台需向主管機關申請許可，以及基地台具有鄰避性問題³⁴，電信運營商獲利能力受到侵蝕。

（BBU）負責處理用戶信號以使無線得以可能。

相關對於無線存取網路（RAN）、天線（antenna）、遠端無線單元（RRU）、基頻單元（BBU）的定義可見 Dan Jones、Corinne Bernstein，2021，〈radio access network (RAN)〉，《TechTarget》，網址：<https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/radio-access-network-RAN>。

³⁴ 常見對於基地台的爭議是：民眾對於基地台電磁波是否影響人體有所疑慮，因此在架設基地台時，需先向主管機關（國家通訊傳播委員會）申請架設許可，並檢具基地台架設清單、平面圖及立面圖副知架設處所隸屬的直轄市或縣（市）政府。若權責機關（直轄市或縣市政府）依法認定不得架設基地台並函知主管機關後，主管機關可以撤銷架設許可。

- 基地台平均可服務容量低於忙碌時期可服務容量時，運營商無法靈活因應特定區域流量增加而彈性佈署³⁵。
- 設備廠所提供的基地台屬專用設備，意味著運營商若採購不同廠商之設備，即需要維運不兼容的系統平台。因此運營商擴增、升級基地台系統的成本相當高昂。此外，倘若單一基地台發生故障時，僅能個別重新設定參數，人力維運上相對耗時費力。

上述傳統佈署問題及既有沉沒成本驅使下，運營商希望在不大幅變動架構情況下能有效率地運作無線網路，因此從 3G 時期開始，市場便逐漸有其他佈署選項供運營商選擇。

(二) 分佈式無線接取網路 (D-RAN)

首先，比較多運營商採納的便是分佈式無線接取網路 (Distributed RAN, D-RAN)。D-RAN 架構下，電信設備廠及網路通訊廠嘗試獨立 RRU 部分功能並從室內拉至靠近天線處，形成射頻拉遠頭 (Remote Radio Head, RRH)，而 BBU 則維持佈署於室內機櫃 (參考圖 4)。此佈署架構有效解決並最佳化下述問題：

- 相較傳統佈署方式，RRU 更靠近終端設備能降低發射功率³⁶、減低能源耗損；
- 天線傳輸訊號給 RRU 過程，有效降低訊號損失的問題；
- 以一個基地台為中心，連接數個因應需求佈署的 RRH，無須對一體化基地台進行佈署架構的大變動³⁷。

即使最小成本地改造了一體化基地台的佈署方式，然而 D-RAN 仍需為了專用設備 BBU 的置放耗費諸多成本，如：空調、電源的能源成本，以及租賃土地與空間成本。

³⁵ 舉例如：若有一處舉辦演唱會等這種因應特殊場域、時間的活動時，常會造成行動上網壅塞的問題，而無法順暢使用網路與通話服務。

³⁶ 「降低發射功率」意味著不再需要用力溝通，可以有效延長接收端（如：手機）的電池壽命，以及降低發射端（無線接取網路）的功耗。

³⁷ 以前部署時，每個基地台均須配置一個機房放置 BBU 與 RRU 等相關設備。如今 D-RAN 部署時，RRH 可以放在離使用者比較近的地方，一來降低發射功率、二則對運營商而言可以彈性部署，每個 RRH 均可以透過光纖連回機房，形成一個機房連結多個 RRH 的部署情形。

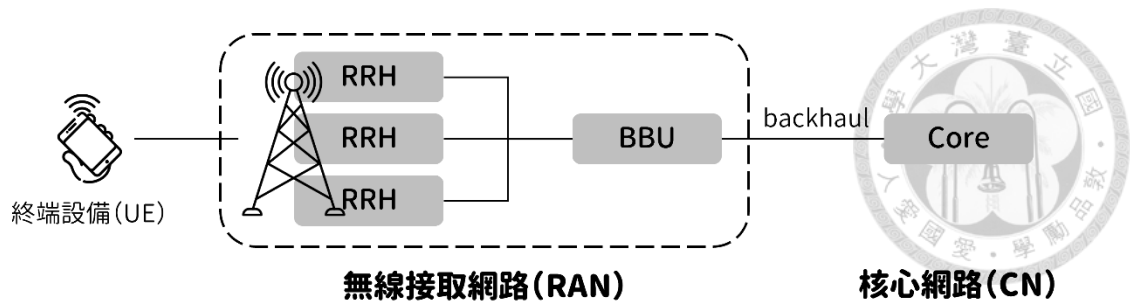


圖 4 分佈式無線存取網路 (D-RAN) 架構

圖片來源：本研究繪製。

(三) 集中式無線存取網路 (Centralized-RAN)

對於運營商而言，D-RAN 架構仍有佈建機房與空調等能耗的議題需要克服。針對此議題，便有新佈署架構將各個站址之 BBU 集中至中心機房 (Central Office, CO) 形成 BBU 池 (BBU pool)，此優勢如下述：

- 降低 BBU 所需機房的佈建與空間租賃成本；
- 集中 BBU 能降低 BBU 所需的空調能耗成本與人力維運成本，並可以大幅提升運營商管理與調度的能力³⁸。

上述集中 BBU 方式即為集中式無線存取網路 (Centralized-RAN) (圖 5)。

³⁸ 白話一點的解釋即：相較於一間房間、一台冷氣吹一個 BBU，集中起來讓一台冷氣吹好幾個住在一起的 BBU 能降低能源耗損、能源成本與租賃成本的問題。

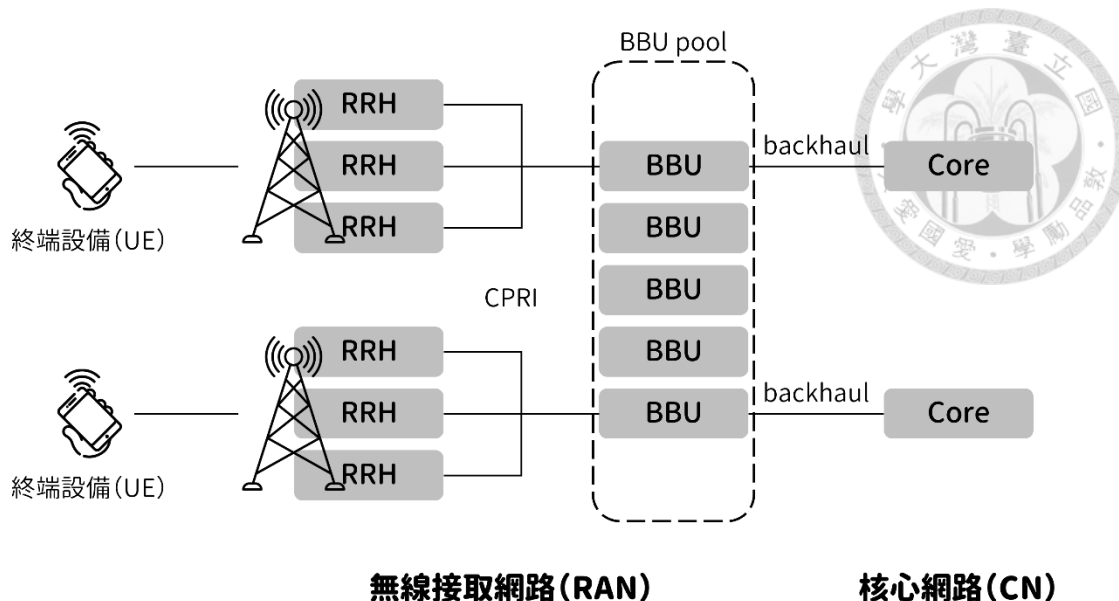


圖 5 集中式無線接取網路 (Centralized-RAN) 架構

圖片來源：本研究繪製。

(四) 雲端化無線接取網路 (Cloud-RAN)

隨著 2010 年代由 Facebook、Google、Amazon、Microsoft 等大型雲端服務提供商開始自行擘劃 IT 架構，以及 Intel、Dell 等 IT 大廠推行 Open Stack 開放原始碼計畫，雲端運算開始蓬勃發展（曾琮淇，2022）。正因雲端運算的快速發展，原先置於中心機房（CO）的基頻單元（BBU）則開始有軟、硬體解耦的可能，直接讓網路功能得以架設於通用硬體平台上運作³⁹，此稱為雲端化無線接取網路（Cloud-RAN）⁴⁰（參考圖 6）。從運營商角度論，解耦的好處在於：

- 分離網路功能與專門設備，使網路運作得以在軟體中實現，降低專門設備的昂貴成本⁴¹；

³⁹ 該技術可分為兩個面向：網路功能虛擬化（network function virtualization）以及軟體定義網路（software defined network）。在網路功能虛擬化（NFV）中，許多傳統網路功能需要專用設備運作的情況（如：防火牆、頻寬路由器等）如今可以軟硬解耦的方式，讓網路功能直接架於通用設備上以遠端操縱與自動升級等；在軟體定義網路（SDN）中，維運人員不必再一台台進行人工設定，可以在不更動硬體裝置的前提下，直接透過遠端操控、規劃網路。兩種功能看似相近，實際上是互補的技術。

⁴⁰ C-RAN 由中國移動（China mobile）提出，針對 3G、LTE 抑或 5G 階段均有對應可供參考的架構調整白皮書，本文不在此敘述更細節的架構變動趨勢。

⁴¹ Cloud-RAN 得以降低成本之因在於：伺服器市場相較於電信市場，市場規模較大、單位性價比低、成本下降速率與更新週期頻率快，因此採用 C-RAN 運營商得以維持設備優勢。

取自：賈文康，20160307，〈當 SDN 遇上 NFV 虛擬化 5G 核心網路掀革〉，《新通訊元件雜誌》。網址：<https://www.2cm.com.tw/2cm/zh-tw/tech/EE1AD67D7C08456CAE1D35B89F89AAACE>。

- 更便利的網路管理與維運，無須針對一台台基地台重新設定參數，可以更快維持設備優勢。

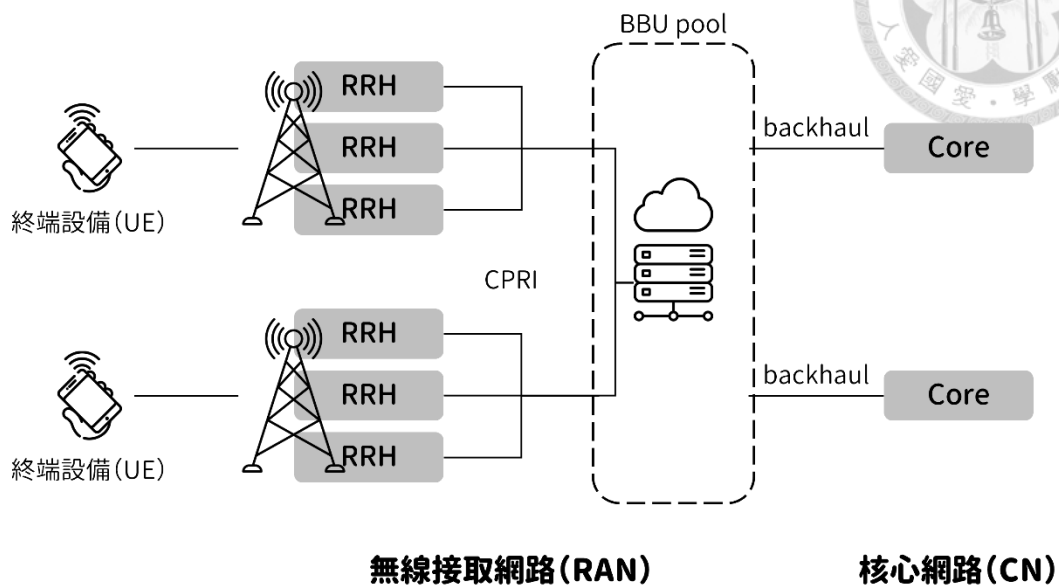


圖 6 雲端化無線接取網路 (Cloud-RAN) 架構

圖片來源：本研究繪製。

電信運營商主要考量兩種網路佈建因素：性能與成本。理想上運營商希望可以快速更新無線接取網路 (RAN)，然而現實面受制於基地台沉沒成本因素，無線接取網路 (RAN) 演進並非一蹴可幾，因此催生了一體化基地台至 C-RAN 的數種架構更動方式。正因前述的設備廠與運營商各自考量，網通廠長期替電信設備廠代工的趨勢並沒有太大改變，直到如今軟硬體解耦的佈署趨勢，對於臺灣網通廠這類長期受制設備廠基地台供應鏈、只能間接供貨運營商的後進者而言，得以透過其專精於製造與硬體生產的優勢，漸漸破除設備廠壟斷基地台市場以掌握直接供貨給電信運營商的機會。

二、無線接取網路 (RAN) 開放化、標準化與白牌化

可預期的行動通訊產業未來是：日益成長的行動寬頻需求，再加上 5G 的傳輸需求遠超 4G，目前從使用者設備傳輸到基地台的前傳網路 (fronthaul) 並無法負荷未來的寬頻成長需求。在行動寬頻需求成長趨勢下，各家運營商及設備廠針對現存架構以及技術提出新的拆分方式：

- 將 RRU 與近年發展的巨量天線陣列 (Massive MIMO) 結合為 AAU，

或是維持天線與 RRU 的配置方式；

- 將 BBU 拆分成不用即時回應的集中單元（Centralized Unit, CU）以及需即時回應的分佈單元（Distributed Unit, DU）。

由於 5G 應用場域已不若過往僅服務消費者，同時也包含如：偏向廣連結需求（mMTC）的智慧城市、要求超高可靠且低延遲（uRLLC）的自駕車、前提為大頻寬（eMBB）需求的 3D 影像及 AR 擴增實境等應用場域。針對不同應用，5G 佈署架構有著多樣化的拆分方式（參考圖 7）。考量效能、成本下，基本上以拆分選項 2、6、7 為主流。

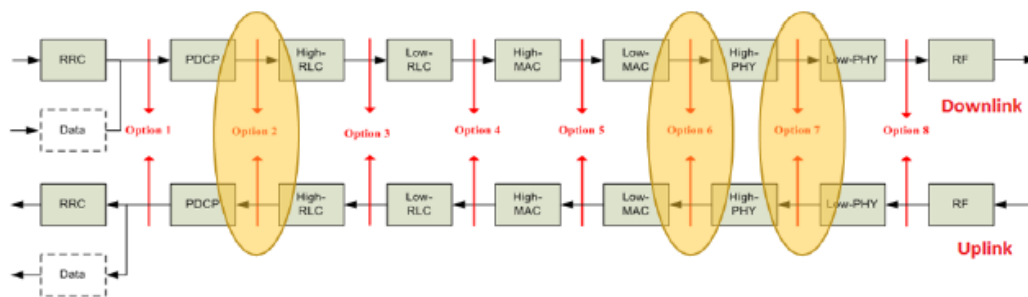


圖 7 3GPP TS38.801 提出各種因應場域特性的拆分方式（split option）

資料來源：Small Cell Forum，2020，〈5G Small Cell Architecture and Product Definitions〉。

3GPP 雖然提出了 5G 佈署架構報告，然而 5G RAN 設備的採購相較以前更為昂貴，長期受制於設備商的運營商而言，並不樂見無線接取網路端仍舊為黑盒子（black box）狀態。一位於運營商任職超過 20 年的受訪者 CSP-1 便指出運營商與設備廠的不對等關係，以及無線接取網路實際佈署的狀況：

「過往的話，其實整個電信業者，應該都是被三巨頭所壟斷，Huawei、Ericsson 還有 Nokia。透過這種解耦還有開放的話，就有機會能夠話語權轉移到運營商身上，這是第一點。那第二點的話，我個人覺得是成本節降。過去在 4G 時代整個接取網（RAN）跟核網（Core）的比重應該是 7:3，那到了 5G 時代的話，這個比重只會加劇，可能 8:2 甚至 9:1 等等的」

（CSP-1，中華電信策略轉型辦公室，20210416、20210420）

接取網（RAN）與核網（Core）比重加劇趨勢，意味著購置基地台的成本

相較從前更加昂貴，促使運營商不得不思考如何降低購買基地台的成本。在 3GPP 所提出的多樣化拆分方式 (split option) 方案出爐後，由中國移動 (China Mobile) 主導的 C-RAN Alliance 與 AT&T (美)、NTT DOCOMO (日)、Orange 與 Deutsche Telekom (歐) 組成的 xRAN Forum⁴²於 2018 年合併為 O-RAN Alliance⁴³，目的在於降低基地台的購置成本，試圖掌握更多與設備廠斡旋的籌碼。O-RAN Alliance 主要由電信運營商主導，成立目的在於：以 3GPP 所提出的 5G 無線接取網路架構為基礎，標準化、開放化架構介面，以及向所有新創業者、既有廠商與會員開放開源碼，讓設備廠不再壟斷無線接取網路 (RAN)，而能引進新的白牌供應商、重構基地台供應之生態鏈、節降運營商基地台購置成本⁴⁴ (參考圖 8)。圖 8 針對 3GPP 所定義的無線接取網路 (RAN) 與 O-RAN Alliance 推出架構的比較，可以見得 O-RAN Alliance 提出新的介面：

- 新介面如 Open Fronthaul、O1、O2、A1、E2；
- 補充 F1、E1 介面；
- 新增 Non-Real Time RIC、Near-Real Time RIC⁴⁵、O-Cloud 等，目的便是實現無線接取網路 (RAN) 朝向開放化、雲端化、標準化、白牌化。

⁴² xRAN Forum 組成目的在於將基地台網路參數收回電信運營商側自行分析與監測，而非由設備商處理 (CSP-4，中華電信研究院研究員，20220324)。

⁴³ 2018 年由中國移動 (China Mobile) 主導的 C-RAN Alliance 與美日歐運營商 (CSP) 組成的 xRAN Forum 合併成立，其成員包含 28 家運營商與近 250 位設備供應者、學術單位等，目的在於：標準制定、介面開放化以及攸關產品互通性之「產品整合測試」，並將標準提交其他標準組織參考。

⁴⁴ 可見實例：與採用 O-RAN 架構的樂天 (Rakuten) 合作的臺灣網通廠中磊 (Sercomm)，與專精虛擬化無線接取技術的 AltioStar 共同推出虛擬化小型基地台，而同樣與樂天合作的臺灣網通廠台揚科技 (MTI) 則與電信軟體供應商 Mavenir 共同推出射頻拉遠頭 (RRH)。(張博翔，20220401，〈印度第二大電信商估 5G O-RAN 下半年商轉 台網通廠添動能〉，《鉅亨網》，網址：<https://news.cnyes.com/news/id/4846157>)。

⁴⁵ 非實時 (Non-Real Time) RIC 是一個功能，負責處理時延 > 1 秒的任務，如：數據分析與模型訓練 (AI/ML)；近實時 (Near-Real Time) RIC 負責處理 10 毫秒 ≤ 時延 < 1 秒，如：無線資源管理。兩者關係可以解釋為：近實時 (Near-Real Time) 蒐集並分析 RAN 所提供的資訊，並即時傳給 RAN 運作，而其中不需要即時分析的數據便傳給非實時 (Non-Real Time) 進行分析以及訓練模型。當模型有需要調整之處，便將模型傳給近實時 (Near-Real Time) 以即時回應 RAN 端的需求。

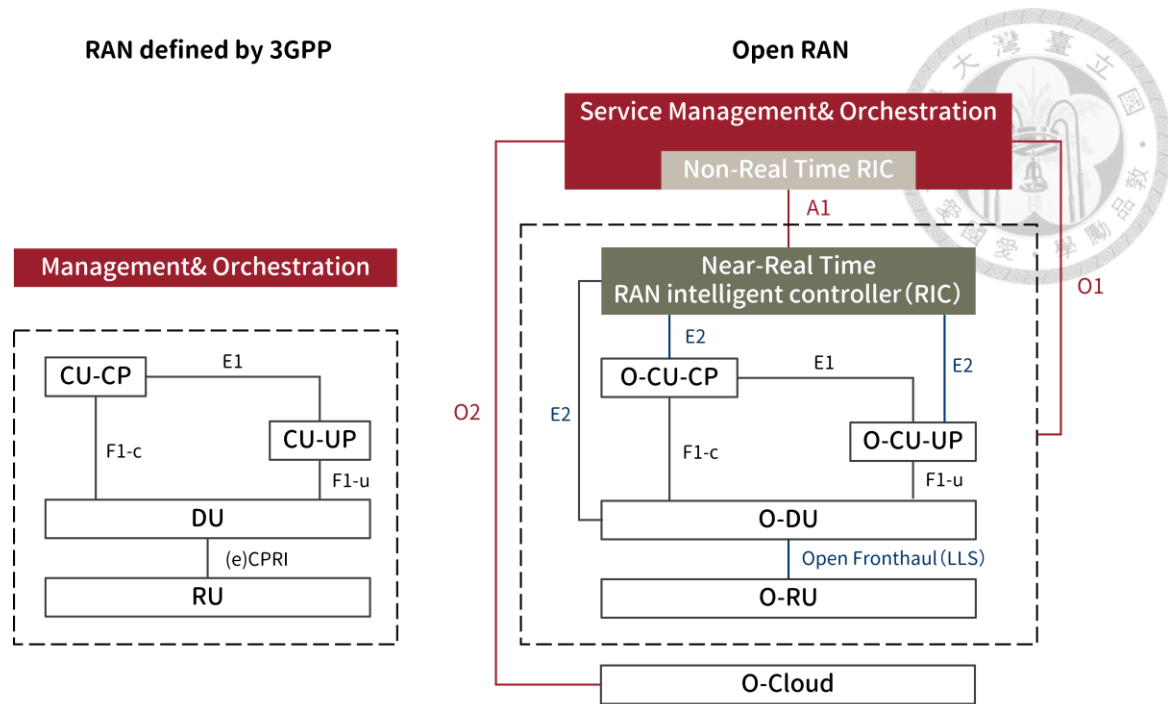


圖 8 3GPP 以及 O-RAN Alliance 提出的 RAN 架構

資料來源：CSP-4，中華電信研究院，20220324。經本研究重新繪製。

註 1：此圖可見前面提及的 RU、DU、CU 介紹，唯 CU 部分在 5G 時期細分成控制面（CU-Control Plane）與使用面（CU-User Plane）。

註 2：此圖目的不在於解釋單元運作細節，而是呈現 O-RAN Alliance 如何針對既有架構提出開放方式。

前一節「全球行動通訊產業發展變化」描述了標準組織的興起、競爭與合併的過程。有鑑於先前產業發展的經驗，O-RAN Alliance 宣稱自己並非是產業破壞者，而是參考各個標準組織並從電信運營商的角度提供建議予 3GPP，同時嘗試與其他開放標準組織進行合作。舉例如：2019 年與 Linux Foundation 合作成立 O-RAN 軟體社群⁴⁶（Open Source Community, OSC）；2020 年分別宣布與 Facebook 號召之電信基礎架構專案⁴⁷（Telecom Infra Project, TIP）以及 GSMA

⁴⁶ 2019 年由 O-RAN Alliance 與 Linux Foundation 合作成立，目的在於提供開放原始碼軟體。

⁴⁷ 2016 年由 Facebook 號召成立，集結運營商（CSP）、設備商（CEP）、系統整合商（SI）與其他新創公司等超過 500 名會員，以工程角度佈建電信基礎設施。該董事會成員涵蓋：Intel、Facebook、Nokia、Deutsche Telekom、Vodafone、Telefonica、BT Group 等，其計畫旗下 Open RAN 計畫為：支持基於泛用型伺服平台（General Purpose Platform）的 RAN 解決方案之開放系統——可理解為「場域測試」。隨著近年 TIP 的發展，O-RAN Alliance 與 TIP 於 2020 年簽訂協議，將整合、交換技術以及統一相關智慧財產權授權、認證等程序，以避重複工作。

（Businesswire, 20200226，〈O-RAN 聯盟和電信基礎架構專案（TIP）的開放式無線存取網協作達到新的水準〉，取用網址：<https://www.businesswire.com/news/home/20200225006147/zh-HK/>）。

(GSM Association, GSMA)⁴⁸進行合作(CSP-4, 中華電信研究院研究員, 20220324)。

表 7 傳統基地台架構與開放式基地台架構比較

	傳統基地台 (RAN) 架構	開放式基地台 (RAN) 架構
供應廠商	特定設備廠	多樣化白牌設備
傳輸介面	封閉式傳輸介面	標準化傳輸介面
產品整合度	高度整合產品	開放式架構
採購成本	因封閉性、高度整合、高穩定性而高成本	因標準化、開放化及多樣化供應者而成本低

資料來源：Money DJ 許曉嘉，經本研究重新整理。

從表 7 可以看出傳統基地台架構與開放化架構的差別，重要的是：基地台架構朝向軟體與硬體解耦的趨勢，該趨勢不僅意味著電信運營商得以從客戶角度與電信設備廠談判，也代表著封閉性基地台系統不再由少數設備廠壟斷。在這個狀況下，朝向開放化的基地台架構得以引入更豐沛的產品供應者。除此之外，Open RAN 的出現再加上 5G 多樣化應用場域，帶動了新的市場趨勢：相較基地台市場，較為小眾的企業專網市場，讓諸多不得電信市場大門而入的廠商，得以藉該市場機會的出現，向客戶證明其具備提供特定場域網路佈署的解決方案能力。

第三節、本章結論

綜整本章內容，可以分成攸關網通的電腦網路之數據傳輸 (datacom)，以及攸關電信的通訊網路之語音傳輸 (telecom) 兩個類別 (參考表 8)。

⁴⁸ 1995 年由運營商 (CSP)、設備商 (CEP) 等成立，其目的為 GSM 行動通訊系統的共通標準、建設與推動。該協會下轄近 800 家行動業者，包含：手持裝置公司、軟體公司、網路業者等 (國際通傳產業動態觀測，20200529，〈GSMA 及 O-RAN 聯盟合作推動 5G 網路〉，取用網址：<https://intlfocus.ncc.gov.tw/xdoc/cont?xsmsid=0J210565885111070723&sid=0K231376433194442849>)。

表 8 數據傳輸與語音傳輸匯流趨勢

年代	數據傳輸 (datacom)	語音傳輸 (telecom)
1990 年代至 2000 年代初	Bluetooth、Wi-Fi 技術相繼推出，網通從有線跨入無線領域	類比式 (1G) 轉向數位式 (2G)，接著轉進加密性、傳輸速度較高的 3G
2005 年至 2010 年代初	Intel 投入 OFDM 技術基礎的 WiMAX。WiMAX 起初被視為超級 Wi-Fi，後來進入行動領域後才具備 4G 潛力，但最終宣告失敗	3G 接著轉進以 OFDM 技術為基礎的 LTE-A (4G)。其中，4G 的基地台核心網路端將語音與數據資料均以 IP-based 傳輸，同時因應寬頻需求成長，於使用者端整合異質網路
2010 年代至今	<ul style="list-style-type: none"> • 4G 以 All-IP based 傳輸，5G 開始因應不同場域的多樣化應用 • 基地台架構從黑盒子轉向介面開放化、標準化的 Open RAN • 數據傳輸與語音傳輸界線漸漸模糊，固網行動匯流 (FMC) 趨勢明顯 	

資料來源：本研究整理。

在數據傳輸 (datacom) 方面，4G 以前主要以 Intel 這類國際 IT (information technology) 大廠主導技術與市場，並將各個網路通訊模組嘗試整合進單一產品 (如：筆記型電腦)。直到 WiMAX 出現，Intel 則在既有 IT 市場優勢的基礎上，嘗試以該技術投入過去市場特性壁壘分明的電信市場。在語音傳輸 (telecom) 方面，1G、2G 主要以純語音為主，直到 3G 開始提供數據傳輸之始，行動通訊產業逐漸從純語音轉向語音與數據並行的局勢。這種局勢的轉向，象徵著過去由 IT 業者主導數據傳輸領域的市場優勢不再，開始由牽涉到基礎設施、市場更為龐大的電信 (CT) 市場主導數據傳輸領域的發展。

隨著 WiMAX 轉進行動通訊市場並被市場機制淘汰之際，既有電信設備廠吸納 WiMAX 核心傳輸技術 (OFDM) 並轉進 4G LTE 後，當時行動上網市場已經蓬勃發展、既有基地台設計已不堪負荷原先核心網路。同樣的行動寬頻上網需求蓬勃成長趨勢，造成了三個新的技術趨勢：

- 從基地台角度看——更簡化的基地台核心網路架構：4G 核心網路不再像 3G 將語音與數據分開至不同功能區處理，而是將處理語音的電路交

換 (circuit switching) 與處理數據的封包交換 (packet switching) 整合成更簡化的全 IP 網路化 (All-IP based Network) 方式傳輸⁴⁹。

- 從手機等終端產品視角看——不同網路系統整合進單一產品：傳輸範圍從 Bluetooth、Wi-Fi 再到行動通訊系統等不同的網路系統，均開始整合進單一產品內以提供異質網路整合需求。在異質網路整合趨勢下，能讓使用者達到無縫上網的感受，且同時能降低基地台的連線負擔。
- 從網通技術視角看——市場趨勢朝向語音與數據整合，甚至未來將以數據為主的趨勢下，既有網通產品不再固守電腦周邊之零售市場或代工市場。網通產業朝向整合有線與無線技術的產品組合以打入電信市場，目的是降低運營商或系統整合廠的設備購置成本以及既有基地台架構的連線負擔。

在上述各種技術整合趨勢，再加上近年 5G 多樣化應用趨勢、基地台架構朝向軟硬解耦的 Open RAN，帶動了三個新的市場機會：(1) 從寡占逐漸到多樣供應者的基地台市場；(2) 提供特定場域（如：港口、工廠）連網品質的企業專網市場；(3) 整合有線、無線技術的固網行動匯流之網通市場。上述三類新興市場對於臺灣網通廠這類長期在網路通訊產業負責協助設備廠代工的後進者，即可以透過自 1990 年代開始的範疇經濟生產類型，掌握各種趨勢帶來的利多。關於臺灣網通廠如何從早期電腦周邊產品（如：網路卡、集線器等）慢慢走向無線網路產品的生產，又如何從通路市場逐步切向電信市場的過程，將於下一章描述。

⁴⁹ 1G、2G 採電路交換方式 (circuit switching)，以語音為需求進行設計，是點對點的傳輸方式。自 3G 開台以來，其主打以語音為主、次為行動上網下，其網路設計則採封包交換 (packet switching)，得以更有效率利用頻譜資源。4G 開始則拋棄電路交換網路，以全 IP 網路化方式降低核心網路負擔，然而 4G LTE 以數據傳輸為主，意味著若需要通話則需退回既有的 2G、3G 網路，代表電信運營商則需要繼續維運 2G、3G 基地台網路。

第三章、臺灣網通產業的發展



原先壁壘分明的數據傳輸（datacom）與語音傳輸（telecom）分別由資訊業（Information Technology）與電信業（Communication Technology）主導，直到 3G 時期，電信業在既有語音服務之外新增行動上網之數據服務，原先資訊業主導數據傳輸的市場優勢不再，轉向由電信業主導數據傳輸領域的發展。援此，在 3G 後之行動上網需求蓬勃發展趨勢下，開始了三個技術面的整合趨勢：基地台核心網路的整合、終端產品的異質網路整合、網通技術的整合。隨後於 2010 年代中後期，5G 要求的多樣化場域應用、基地台架構軟硬解耦趨勢下，開啟了三個新的市場機會：（1）固網行動匯流、（2）基地台市場、（3）企業專網。這些新技術整合趨勢與新市場機會，讓立基於 1990 年代 IT 產業蓬勃發展、多年專精網路通訊產品研發生產的臺灣網通廠，得以開啟了原先代工、通路市場外的新業務模式：白牌直接銷售模式，提供產品及完整解決方案給電信運營商及系統整合廠。外部環境同樣牽動著臺灣網通廠的設廠考量，其經歷了本地設廠、西進中國、全球布局與地緣政治經濟角力下的南進設廠過程，再再顯示其如何建立並經營起全球生產體系，使其能因應供應鏈狀況、外部政治經濟環境而進行彈性化布局。

上述概述了臺灣網通廠的發展軌跡，以下將分別解釋：

- （1）這群廠商從何而來，又成員有誰？
- （2）這群廠商 2、30 年來的設廠與布局的區位變化？
- （3）這群廠商如何在既有市場開城闢地，並適當抓到機會之窗擴大利基？
- （4）這群廠商如何學習、建立技術能力並積累、升級？

第一節、臺灣網路通訊廠商成員及成立背景

關於臺灣網通廠何以在 1990 年代創立之因，以下將依據臺灣網通廠的成立契機、設廠區位變化、市場利基與機會之窗、技術能力建立與升級分析。

一、臺灣網通廠成員

對於臺灣網通廠「為什麼會出現」的考究上，除了從宏觀角度解釋臺灣網

通廠如何填補網通供應鏈空缺之外，微觀部分的成立模式可以分成四部分：(1) 歸國學人創業；(2) 公共研發機構衍生 (spin off) 出的新公司；(3) 自母公司分割 OEM/ODM 部門而成立的子公司；(4) 國內科技人才創業 (參考表 9)。

表 9 臺灣網通廠成立模式

成立模式	網通廠成立時間
歸國學人創業	<ul style="list-style-type: none"> • 合勤：自 Bell Labs 回台創業 (1989 年成立) 的朱順一 • 中磊：自 IBM 回台創業 (1992 年成立) 的王伯元 • 台揚：自 HP 回台創業 (1983 年成立) 的王燕華
公共研發機構衍生	<ul style="list-style-type: none"> • 智邦：自工研院衍生的公司 (1988 年成立) • 正文：自中科院衍生的公司 (1988 年成立)
代工部門分割	<ul style="list-style-type: none"> • 明泰：自友訊分割成立 (2003 年成立) • 智易：智邦分割無線網路事業部門並與飛利浦合資 (2003 年成立)
國內科技人才創業	<ul style="list-style-type: none"> • 建漢：1998 年成立，後於 2005 年併入鴻海 • 啟碁：1996 年成立並隸屬宏碁，後於宏碁分家後隸屬緯創

資料來源：各家公司年報，經本研究整理。

二、臺灣網通廠成立背景

(一) 歸國學人創業

在歸國學人創業部份，Saxenian (2006) 以臺灣的後進發展經驗，指出一群歸國學人之所以歸國，仰賴於母國的政策法律框架、具備創業條件的環境、產業上下游鏈結緊密、專業技術人才聚集等條件。因此如以投入電信業 40 餘年的中華電信退休高層 (20210513) 回憶：「這個裡面最早成立的一家是台揚，台揚是海外學人回來的。還有朱順一，臺大畢業的...合勤，他也是很早就回來，他從美國回來、Bell Labs 回來的有一批、有一些人就在那邊開」。歸國學人返臺創業的模式，尤可見同樣留學美國、於 1992 年創辦中磊電子的王伯元敘述：

「王伯元是 1960 年代赴美留學生又回國創業有成的典範。他生在蘇州，六歲來台，長在臺灣，讀建國中學後考入台大物理系。1965 年赴美國留學，... 後來進入 IBM 工作 20 年。...1980 年初，王伯元正在美國 IBM 服務，受邀回台參加『國建會』及『近代工程技術研討會』，就與臺灣科技界有密切互

動...對於臺灣及亞洲未來的發展潛力深具信心，王伯元毅然辭卸美國 IBM 高薪高職，於 1989 年回台從事創投事業」。

(臺灣玉山科技協會，取用網址：

<https://www.mjtaiwan.org.tw/pages/?Ipg=1007&showPg=1171>)



歸國學人返台創業後，其主要以探索、生產時下蔚為主流的電腦週邊產品為主，舉例如：1992 年甫成立的中磊電子，起初以生產有線列印伺服器 (print server)、網路儲存伺服器，到 2000 年初期研發成功的無線列印伺服器、無線路由器等。決議不走代工路線而直打品牌的合勤科技則投入數據機研發中，並於 1992 年成功研發出全球第一台結合數據、傳真、語音三功能合一的數據機等。

(二) 公共研發機構衍生公司

公共研發機構「有一個一定要做的任務，叫做 spin-off」(III-1，資策會 MIC 產業分析師，20210318)。從公共研發機構衍生 (spin off) 出來的網通廠，相較於其他網通廠而言，享有既有技術團隊的支援：

「原來是我那時候在電信研究所...跟工研院電通所合作，有一個合作案要去開發，後來那一個團隊出來成立的公司就是智邦」

(CSP-3，中華電信退休高層，20210513)。

「基本上我們在射頻方面的整合能力有非常豐富的經驗，從 Wi-Fi 時代，因為...很多是從國防科技來的，所以在 RF 微波段很多的系統整合測試，也是我們在同業裡面的重要優勢」

(NC-B-2，B 網通廠創辦人，20220307)。

除了既有技術團隊的支援之外，自公共研究機構衍生出來的企業亦具備與同業競爭的優勢，因此如智邦挾帶在工研院發展出的網路卡 (NIC)，於創業初期便迅速成為 1990 年代唯二能與美國網路卡廠商匹敵的前五大網路卡製造商⁵⁰；如 B 網通廠則以其在中科院發展無線傳輸技術的經驗，投入 2000 年初期剛起步的 Wi-Fi 技術的商業化，迅速成為 2000 年初期世界最大 WLAN 代工廠商⁵¹。

⁵⁰ 楊艾俐，19950601，〈潛力英雄 領航未來〉，《天下雜誌》169 期。

⁵¹ 陳良榕，20030115，〈正文科技逐浪而起〉，《天下雜誌》267 期。

（三） 代工部門分割

代工部門分割部份，見於品牌發展與代工業務相衝突的情況下，公司為了確保品牌與代工業務的並行發展，因此決議切割代工部門而成立專精代工之企業。舉例如：友訊在 2000 年代初期時，品牌與代工業務比例為 2:1，面臨到品牌可能會阻礙 OEM/ODM 業務的發展，在考量品牌目的在於創造附加價值、代工會有其他品牌商抽單風險的情況下，而決議獨立 OEM/ODM 部門為明泰科技⁵²。即使友訊分割明泰，但友訊仍為明泰主要股東群之一，直至 2018 年開始友訊逐漸處份明泰股份後，明泰才正式納入佳世達集團麾下。

智邦部分，其於 2002 年併購全球第三大網通品牌 SMC 後，於 2003 年則分割旗下無線網路事業部門，與飛利浦集團合資成立智易科技。其中智邦的分割模式與友訊不大相同之因在於：智邦是與飛利浦集團合資成立，主要考量除了品牌與代工業務的分割之外，還包含當年度飛利浦集團加大對臺灣的投資，如飛利浦與明碁電通合資成立光儲存公司、設立在台第四個全球事業總部⁵³。爾後由於智邦營運狀況不甚理想，便於 2006 年由仁寶集團買下智易近七成股份，正式宣告智易納入仁寶集團旗下⁵⁴。

（四） 國內科技人才創業

自行創業模式則有（1）單打獨鬥式的創業形式以及（2）在集團內創業形式。單打獨鬥式以建漢為例，其創辦人陳漢清在創業前便先於中鋼、宏碁電腦任職，於 1987 年離開宏碁後，創立研發主機板為主的精英電腦（1987）及光碟機的柏杰科技（1996）。隨後在柏杰科技併入廣宇集團後，於 1998 年帶著柏杰科技之研發團隊及工研院團隊成立建漢科技⁵⁵。成立建漢科技後，其以網通產品交換器（Switch）打入市場，與當時全球前三大網通品牌 Linksys⁵⁷建立起品

⁵² 張玲玲、權福生、楊千，2004，〈臺灣區域網路產業供應商轉型實務研究－以友訊科技公司為例〉。《大葉學報》第 13 卷第 2 期，頁 97-108。

⁵³ 編輯部，20030301，〈臺灣科技短波〉，《天下雜誌》ECW027 期。

⁵⁴ 該次併購案主要為：（1）友訊併購美國網通品牌 SMC 虧損連連，急需解決財務面的困境；（2）智易能併入仁寶組裝廠以擴大生產規模，與當時無線網通龍頭正文較勁；（3）仁寶集團納入網通廠得以與廣達集團較勁（陳仲興，20070614，〈仁寶併智易 在無線網通領先〉，《今周刊》）。

⁵⁵ 林宏文，20020307，〈科技賭漢陳漢清〉，《今周刊》。

取用網址：<https://www.businesstoday.com.tw/article/category//post/200203070020/>。

⁵⁶ 謝銘元，2008，〈陳漢清－建鼎集團〉，《貨幣觀測與信用評等》信用評等專題。

⁵⁷ 1988 年，由臺灣人曹英偉、吳健夫妻於矽谷橘郡創立 Linksys，主攻家庭網路設備，同時善用臺灣科技業人脈資源牽線建漢科技為其主要代工廠商，爾後為了進軍中國市場，便於 2003 年同意由 Cisco 合併（彭漣漪，20031201，〈思科出 5 億美元買下！〉，《天下雜誌》ECW036 期）。

牌一代工關係，隨後在 2005 年併入鴻海集團，成為鴻海集團旗下專營 OEM／ODM 網通業務之公司。若是集團內創業形式則以啟碁為例，其創辦人高健榮、陳健安等人自從怡安科技離職後，便於 1996 年搭上宏碁想往無線通訊領域發展的契機，於集團內進行創業⁵⁸，直到宏碁於 2001 年將旗下負責代工業務的研發製造服務事業群分割為緯創資通，改隸屬於緯創旗下子公司⁵⁹。

第二節、臺灣網通廠設廠區位變化

從區位角度檢視臺灣網通廠的設廠地點，綜觀近三十餘年的網通廠設廠狀態，主要歸類為以下趨勢：(1) 1990 年代至 2000 年代設址新竹科學園區一帶、(2) 2000 年代西進中國設廠與全球佈局、(3) 2018 年中美貿易戰後的南進策略。以下將依序介紹各個階段的設廠考量。

一、1990 年代至 2000 年代：設址新竹科學園區一帶

臺灣網通廠的發跡有賴於國內與國際趨勢的推波助瀾。從國內角度檢視，設址新竹科學園區對 1990 年代至 2000 年代設廠的網通廠而言有以下好處 (Saxenian, 2006; Hsu, 1997、2004)：

- 鄰近頂尖理工校系（清大、交大）及公共研發機構（工研院），得以迅速取得需要的科技人才與前沿技術；
- 優惠性的政策介入，提供稅賦與貸款優惠、行政協助等，能讓草創初期的網通廠找到合適的資金挹注；
- 緊密的社會網絡得以迅速提供所需者市場資訊與產業新知，有助於降低貿易雙方的不確定性；
- 奠基於地理鄰近性的優勢，讓廠商得以迅速取得研發及生產所需要的零組件。

上述關於設址竹科享有產業群聚優勢的敘述，可見於產業分析師的觀察：

⁵⁸ 蘇思云，2018，〈專訪啟碁科技總經理高健榮先生：與啟碁走過務實二十年〉，《臺灣電磁產學聯盟》第 28 期，頁 34-37。

⁵⁹ 侯如珊，20010901，〈100 億研發砸出「專業代工」〉，《天下雜誌》ECW009 期。



「臺灣把從學校到研發做出一個 prototype，就是原型的這個速度，就是快到非常快的，就是你可以做出一個 prototype，然後我跟你說好，然後開始做測試，這很驚人。所以臺灣是個很適合做測試的地方，然後技術能力也很強」

(III-1，資策會 MIC 產業分析師，20210318)

產業群聚帶來的效益，讓網通廠得以在創立初期得到極快的技術與知識支援，也同樣作為人才不斷往竹科流入的基礎。在這個基礎之上，網通廠得以在創立初期迅速得到所需要的人才，舉例而言：公共研發機構作為 1980、1990 年代吸納科技人才的機構，設址於公共研發機構附近亦有助於草創階段的網通廠找到合適人選，如自 Bell Labs 回臺創業的朱順一，創業便選址於中科院附近：

「從龍潭出發，就是看準龍潭中科院是國內唯一有通訊人才的地方，希望吸納研發人才，新竹科學園區有很多科技公司的技術跟人才來自工研院，合勤應是少數發源自中科院的公司，研發人才跟骨幹都來自中科院」

(黃晶琳，20191028，〈合勤控成軍 30 年 專注研發 擦亮品牌〉，國立交通大學新聞網，取用網址：<https://www.nctu.edu.tw/press/1800>)

合勤草創初期於桃園龍潭中科院附近以就近蒐羅國內無線通訊人才，2 年後（1989）搬入竹科。同樣由中科院核心團隊出來成立（spin off）的正文科技，則於 1990 年代末開始在新竹工業區實施建廠與擴廠計畫。除了上述案例外，1992 年成立於台北市的中磊電子於 4 年後搬入竹科、2003 年自友訊分割的明泰科技即設址於竹科、1998 年成立的建漢科技於 2001 年遷入竹科。即使一開始設廠位置不一定在竹科，但這些遷移至竹科及鄰近一帶工業區的設廠軌跡，即為回應上述論及產業群聚所帶來的優勢：優惠制度的支持，以及人才、技術與零組件的就近提供，再加上緊密的社會網絡與商業聯繫，讓網通廠得以降低自身跨入市場的不確定性。

二、 2000 年代：西進中國設廠

臺灣網通廠在還沒打入電信市場前，其旗下產品的目標市場主要以零售通

路市場為主，因此臺灣網通廠必須盡可能在標準基礎上降低生產成本以提升其毛利。針對這個現象，受訪者 NC-B-2 更為詳細地講述零售通路市場的產品差異與特性：

「對於我們這樣做網通廠，我剛才講過一種是屬於電腦網路的市場，特別是通過 retail market 的，那這個市場裡面的產品差異性其實也不大，...就傳統路由器、wireless、Wi-Fi 的 AP，就是我剛才講他為什麼是一個殺價競爭很厲害、毛利壓力比較大的市場」

(NC-B-2, B 網通廠創辦人, 20220307)。

原先臺灣網通廠在 1990 年代的全球網通市場上享有不錯的市佔表現，然而隨著 1990 年代末的中國本土業者「巨大中華」以其境內低廉勞動成本、低廉土地成本為基礎，使網通市場的競爭更為激烈的情況下，讓臺灣網通廠受到極大挑戰。有鑑於這個趨勢，無論是資策會系統所高階主管抑或是產業分析師，均有同樣的觀察：

「這個時間也是剛好大陸那些網通廠，甚至電信商也剛切入的時間點，我記得 2000 年末期也是他們剛開始的時候。那時候大陸有個講法叫巨大中華，巨龍、大唐、中興、華為，也都是那時候他們從網通切進來慢慢開始走、慢慢走到電信大廠」

(III-2, 資策會系統所高階主管, 20211126)

「還沒有中國因素，全球的市場需求在，所以臺灣的電子業在那時候很強，但是後來因為中國華為、中興這些起來，它用低價競爭把競爭拉到沒有任何的競爭力」

(III-1, 資策會 MIC 產業分析師, 20210318)。

有鑑於激烈的市場競爭、產品差異性不大的情況下，以 B 網通廠創辦人 (20220307) 的分享為例，其指出「當年中國製造成本低，各方面勞動成本低、土地成本低，就是成本低」，因此網通廠為了降低生產成本，紛紛至中國設廠以取得較為廉價的勞動成本、土地成本。然而，設廠中國並非將中國視為一個均質的地理環境，實際上在資料蒐集與訪談過程時，可以指出網通廠多設址於常熟、

無錫、蘇州、昆山等處而非其他地方的情形（表 10）。關於這種集中設廠於特定區域的現象，B 網通廠創辦人以及 A 網通廠資深工程師即指出上、下游完整產業聚落、地理區位（鄰近港口、機場）等因素是其設廠考量：

「其實產業是一個集聚的，因為你還有上游跟下游。那昆山、常熟這個地方是臺灣電子業的群聚聚落，所以我們在這樣的地區，上下游的整合，都會比較完整而且交通便利，包括連這個運輸也都很方便，因為你要去港口比較近」
(NC-B-2, B 網通廠創辦人, 20220307)

「我們比較主要的產線是在蘇州，那其中原因是因為蘇州的人力成本偏低，蘇州很多元件的料在中國可以直接運送、運費也便宜，所以這是蘇州是主要生產的產線...上海太貴，因為他（指蘇州）在上海旁邊，...所以設在蘇州」
(NC-A-1, A 網通廠資深工程師, 20220228)

表 10 臺灣網通廠西進中國設廠年及地點

企業	成立年	設廠中國名稱	地點
中磊	2000	中磊電子	江蘇省蘇州工業園區
	2004	中怡數寬	江蘇省蘇州工業園區
	2009	蘇州飛烽通信	江蘇省蘇州工業園區
	2013	蘇州華怡通信	江蘇省蘇州工業園區
	2013	南京飛烽通信	江蘇省南京市 J6 軟體創意園區
正文	2002	正揚電子	江蘇省蘇州工業園區
	2004	正鵬電子	江蘇省昆山綜合保稅區
	2006	安博電子	江蘇省常熟經濟開發區
智易	2001	智同電子	江蘇省蘇州市友誼工業園
	2002	上海廣智	上海市外高橋保稅區
	2006	仁寶網路資訊	江蘇省昆山經濟技術開發區
	2011	上海廣智（廣州）	廣東省天河區國家軟件產業基地
合勤	1994	天津華勤通信設備	天津市天津濱海高新技術產業園區
	2001	無錫盟創	江蘇省無錫高新技術產業開發區
	2009	無錫研勤	江蘇省無錫高新技術產業開發區
明泰	1997	東莞明冠電子	廣東省東莞市新安社區
	2004	明瑞電子	四川省成都市青羊工業園
	2006	東莞明瑞電子	廣東省東莞市新安社區
	2009	明泰電子	江蘇省常熟高新技術產業開發區
建漢	2003	富鴻康	廣東省深圳市油松第十工業區
	2011	重慶鴻道富	重慶市富士康重慶科技園

資料來源：大陸台商經貿網、前瞻產業園區庫、各公司年報，經本研究整理。

註：表 9 不記入臺灣網通廠設址中國之投資、貿易公司。



圖 9 位置圖：設廠於蘇州、昆山、常熟、無錫一帶的臺灣網通廠

資料來源：本研究按表 10 繪製。

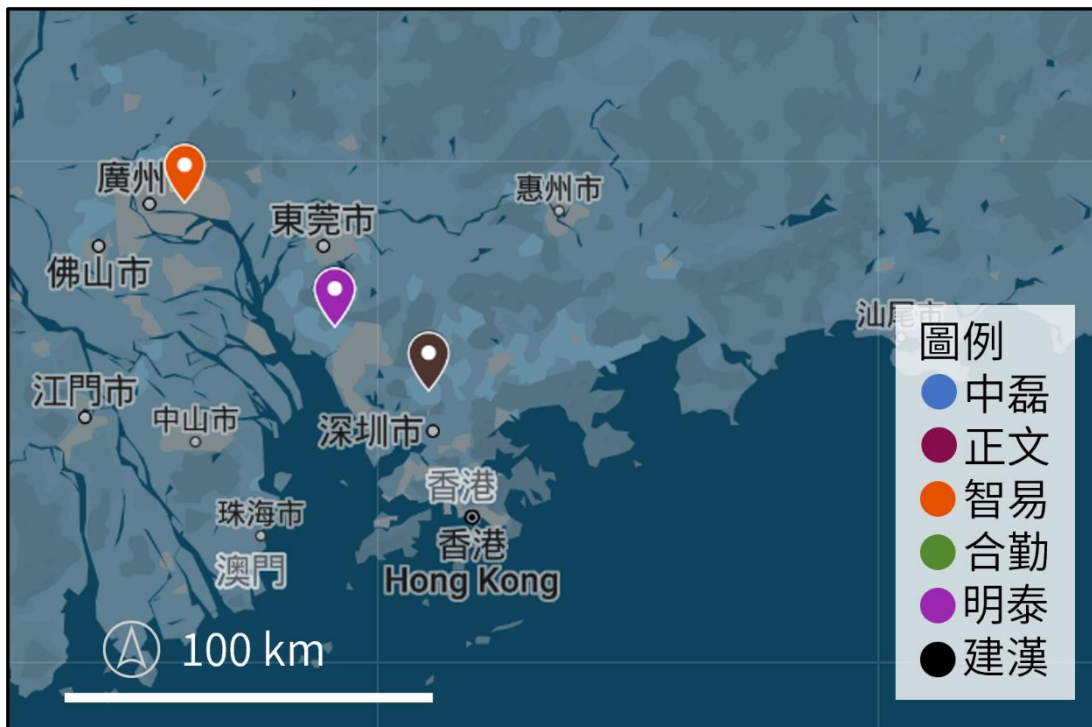


圖 10 位置圖：設廠於廣州、東莞、深圳的臺灣網通廠

資料來源：本研究按表 10 繪製

設廠除了考量成本因素外，中國與臺灣在語言親近性以及台商網絡的緊密連結，協助臺灣網通廠在設廠中國時，得以降低政治面的不確定性，有鑑於此，

B 網通廠創辦人即指出在常熟、昆山設廠的考量依據：

「在大陸廠不管在常熟或昆山，因為早期台商都在那一邊去做設廠，所以他那邊有很多台商資源、台商的聯盟總會等等，然後還有因為臨近機場，所以他方便。那每個廠可能不太一樣，像我知道合勤他們當初在無錫有設廠，那因為無錫有航班但缺點是無錫航班每禮拜只有幾班而已。好那所以為什麼說台商都會形成聯盟在昆山？因為那邊基本上想得到臺灣的這些大廠，...全部都在昆山有廠，所以形成的供應鏈體系是比較完整的，那報關也方便，又有人幫你出面協調」

(NC-B-2, B 網通廠創辦人, 20220307)

設廠中國享有草創初期設廠新竹所帶來的產業群聚效益，然而兩者最大的差別在於：臺灣生產成本上漲、網通市場多以零售通路市場為主、網通廠協助電信設備廠代工等三個主要因素，形成新竹為研發中心、中國工廠為製造中心的跨境生產體系。即使臺廠成立跨境生產體系，但不代表著每家臺廠均落點於相近之處。若從圖 9、圖 10 來看，兩張位置圖均是臺灣網通廠西進中國設廠的位置圖，不同之處在於：前者設廠於蘇州、昆山、常熟一帶，後者設廠於廣州、東莞、深圳一帶。其中的設廠差異原因在於：前者如中磊、正文、合勤係屬無母集團撐腰者，故其更為仰賴既有台商網絡的協助；後者如智易、明泰、建漢，雖然其亦仰賴台商網絡的協助，但更多的設廠考量須與母集團目前設址的區位策略有所聯繫，故會出現設廠於廣東省一帶的情形。隨著網通廠亟欲跳脫間接供貨電信運營商的困境，再加上中美貿易戰及中國設廠成本的節節高升，臺灣網通廠開始向南、向西遷徙。

三、 2000 年代起：臺灣網通廠的全球佈局

各家網通廠的發展軌跡與全球佈局趨勢並不一致。若自成立開始便定調自己專精於 OEM/ODM 業務者，則較少於全球尺度進行佈局，主要以設廠邏輯（成本考量、客戶要求）為企業經營核心，可見於正文、明泰、建漢等案例；若自成立開始以代工業務間接供貨電信商，直至 2010 年代轉型以直接供貨電信商者，多於 2010 年代開始進行全球佈局以就近服務電信商，可見於中磊、智易等案例。若於草創初期便以品牌切入網通市場者，則需在全球網路寬頻需求提

升之際，盡可能地提升自身網通品牌的知名度，因此及早便於目標國家插旗，可見於合勤、友訊等案例（參考表 11）。



表 11 臺灣網通廠全球布局情形

企業	洲別	全球布局
中磊	美洲	<ul style="list-style-type: none"> • 銷售：美國（1996） • 客戶服務：墨西哥（2019）
	歐洲	<ul style="list-style-type: none"> • 銷售：俄羅斯（2013） • 客戶服務：法國（2011）、義大利（2012）、德國（2012）、英國（2019）
	亞洲	<ul style="list-style-type: none"> • 銷售：日本（2010） • 製造、銷售：菲律賓（2018）、印度（2019）
正文	歐洲	<ul style="list-style-type: none"> • 製造：捷克（2009）
	亞洲	<ul style="list-style-type: none"> • 製造：越南（2018） • 投資：日本（2008） • 通訊業：印尼（2010）
智易	美洲	<ul style="list-style-type: none"> • 銷售：美國（2003）、巴西（2015）
	歐洲	<ul style="list-style-type: none"> • 德國（2007）、英國（2016）、俄羅斯（2020）
	亞洲	<ul style="list-style-type: none"> • 製造：越南（2019） • 銷售：韓國（2014）、澳洲（2017）、印度（2021）、日本（2017）
合勤	美洲	<ul style="list-style-type: none"> • 銷售：美國（1996）、巴西（2015）
	歐洲	<ul style="list-style-type: none"> • 銷售：丹麥（1998）、德國（1999）、法國（1999）、捷克（2004）、英國（2004）、泰國（2006）、荷蘭（2006）、馬來西亞（2006）、新加坡（2006）、印度（2006）、土耳其（2007）、西班牙（2014）、義大利（2015）、俄羅斯（2017）、愛沙尼亞（2018）、丹麥（2019）。 • 研發：德國（2013）
	亞洲	<ul style="list-style-type: none"> • 銷售：韓國（2012）、阿拉伯（2013）
明泰	美洲	<ul style="list-style-type: none"> • 製造、銷售：美國（2004） • 客戶服務：美國（2009）
	亞洲	<ul style="list-style-type: none"> • 銷售、客戶服務：日本（1997）
建漢	美洲	<ul style="list-style-type: none"> • 銷售：美國（2000）
	亞洲	<ul style="list-style-type: none"> • 製造：越南（2019）

資料來源：大陸台商經貿網、各公司公司年報。

註 1：本表未納入臺灣、中國以及至開曼群島、薩摩亞等設立公司資料。

註 2：洲別有歧異的俄羅斯、土耳其，以該企業設立子公司所在地為準。

除了正文之外，其餘網通廠均在設廠初期即選擇在美國設立銷售據點，其原因在於：美國作為網通市場與技術的主要領導國家，設立據點有助臺廠接近潛在客戶與市場技術發展趨勢。在美國市場方面，本研究所蒐集到的報導資料均指出：「臺廠主要受到美國消費電子市場淡旺季的影響」，從而影響臺廠財報的表現，因此可見得美國市場之於臺廠而言的重要性。

四、 2018 年後：臺灣網通廠南進與鮭魚返鄉策略

隨著中美貿易戰於 2018 年開打，美國在貿易戰期間宣布針對原產地為中國之特定產業產品加徵 25% 關稅，其中尤以網通、通訊產品具資安疑慮者為甚。對於「臺灣接單、中國生產、美國銷售」的臺灣網通廠而言，加徵 25% 關稅無疑侵蝕其毛利，再加上資安疑慮背後是不穩定的中美關係，以及近年中國本土成本上漲因素，故使臺灣網通廠開始尋求第三個生產基地以應對中美角力。對此，資策會系統所高階主管及 B 網通廠創辦人表示：

訪談者：對啊美國就是追本溯源，反正你有中國的 factor 在裡面，你就不要進我的市場，那不是搞死一堆人？

研究者：所以等於是讓他的出口地不是在中國然後...

訪談者：沒有，連生產的任何的 component 都不會在中國，他會追著你。

(III-2, 資策會系統所高階主管, 20211126)

「第一個中國製造環境的惡化，它的競爭優勢已經不在了，那再來就是中美貿易戰造成關稅問題。阿其實另外一個就是全世界對中國資通訊產品的疑慮，...所以有很多電信領域的客戶呢，他們不希望是在中國製造」

(NC-B-2, B 網通廠創辦人, 20220307)

關於中國生產環境惡化，常駐中國的 B 網通廠資深工程師便指出生產環境惡化的趨勢在於生產成本的急遽上漲：

「我以前在大陸常駐三年，東莞那時候工廠平均一個人員，以一般工廠的現場作業員，一個月了不起 1500 到 2000 人民幣。你現在出這個價錢是找不到

任何工人的，除非非法。因為他們薪資、社保、五險一金，那些加起來成本很高，所以佈局在東南亞往越南其實也是不錯選擇，可解決人力成本問題」

(NC-B-3, B 網通廠資深工程師, 20220307)



在生產成本上漲、外部國際政治經濟局勢不穩定以及來自於歐美訂單的產地去中化要求，繼續設廠中國顯然對競爭激烈的臺灣網通廠而言並沒有太大的優勢。有鑑於此，臺灣網通廠則必須尋覓除了中國之外的海外產地以因應此局勢（參考表 12）。從表 12 中可以指出臺灣網通廠因應中美貿易戰的設廠情形，主要以設廠越南為主。雖然設廠越南相較於具備完整零組件聚落的中國廠而言仍有文化親近性及陌生設廠的缺點，但其優勢除了上述規避中美貿易戰風險以及因應日益上漲的中國勞動成本之外，設廠越南的臺灣網通廠指出：（1）當地的台商網絡有助於降低其陌生設廠的潛在風險，以及（2）設址越南北部北寧省一帶即可透過陸運方式從中國運送產品零組件。

表 12 中美貿易戰開打後，臺灣網通廠南進與回流情形

企業	年份	擴建、新建狀況
中磊	2018	竹南廠擴增產線（廣源科技園區）
	2019	印度廠新建（E-43/1 Okhla Industrial Area）
	2019	菲律賓廠新建（Carmelray Industrial Park）
正文	2018	越南廠新建（Dong Van II Industrial Zone）
智易	2019	越南廠（Ba Thien Industrial Park）
合勤	2019	新竹廠擴建
明泰	2021	越南廠新建（Dong Van 4 Industrial Park）
建漢	2019	越南廠新建（Hoan Son Industrial Zone）

資料來源：大陸台商經貿網、各公司年報，經本研究整理。

註：由於「台商回流方案」可能影響設廠中國之臺灣網通廠，故多數廠商選擇不公布。

撇除掉企業自身洞燭先機而起身尋覓生產基地因素之外，背後有集團撐腰的臺灣網通廠比起其他單槍匹馬者更有優勢。舉例如：隸屬仁寶集團的智易在貿易戰開打之際，便緊急向仁寶租借越南廠房⁶⁰；納入佳世達集團的明泰，透過入股取得仲琦近六成股份後，得以取得仲琦越南廠房之部分產線⁶¹：「明泰找

⁶⁰ 租借廠房並不代表永久租借，事實上後續智易便加碼投資、新設越南廠，陸續將租借廠房之產能轉移到其所投資的越南新廠（鄭淑芳，20200806，〈《通信網路》網通廠智易今法說 聚焦越南投資〉，《工商即時》，網址：<https://ynews.page.link/d8Wq>）。

⁶¹ 明泰持股原以友訊、佳世達為主，爾後明泰於 2018 年藉由私募方式引進策略性投資人佳世達

上仲琦合作，部分就是因為看準仲琦越南工廠能幫助明泰降低美中關稅所帶來的衝擊。對仲琦而言，若能收到明泰的轉單，也可以在短期內令新工廠產能滿載」⁶²。除了設廠越南為臺灣網通廠規避掉中美貿易戰帶來的風險之外，擴建原有在臺灣的產線以及尋覓其他東南亞廠亦是臺灣網通廠遷移產能、繼續接單的選項。A 網通廠資深工程師對於回流臺灣與布局其他東南亞國家，提出其自身看法：

研究者：好，那我想問一下擴建竹南，就只有規避中美貿易戰這個？

訪談者：對，還有一個原因是中國人工越來越貴了，什麼五險一金越來越貴，然後還有一些政治上的考量，就是中國的東西可能帶不出來吧？所以有點像是未雨綢繆，先在菲律賓跟印度地緣政治比較沒這麼敏感的地方去做一下。

研究者：那我想像菲律賓廠應該主要都是出貨美國為主嗎？

訪談者：對，然後我再補充一個回覆說，如果產線在當地出貨給當地的話，這也是一個我們的考量範圍。那菲律賓是不是出貨給歐美國家？對，沒錯，然後印度應該是印度本身自己的客戶群去做導向。

(NC-A-1, A 網通廠資深工程師, 20220228)

相較於其他網通廠佈局越南，A 網通廠考慮零組件海運的效率、英語語言優勢的情況下選擇投資菲律賓，可見於相關報導：「對臺灣來講，我們熟悉菲律賓勞工。幾十年來，在新竹的工廠，經常可以看到來自菲律賓的勞工，所以我們在菲律賓進行任何投資，這些在台的菲國勞工都是『種子』，可以幫助我們接軌。另外是地理位置接近性的考量。從任何一個（中國）沿海省分，送到馬尼拉比送到胡志明先省 3 天，完成後的商品從馬尼拉送到美國，再省 3 天」⁶³。

集團，正式納入佳世達集團旗下，接著再於 2019 年透過私募、公開收購方式取得仲琦六成股份，目的在於看上仲琦自有品牌與明泰 OEM/ODM 的結合、明泰欠缺的 Cable 網路技術，以及及仲琦於越南投資設廠的產線（王憶紅，20191213，〈網通廠聯姻：明泰斥資 48.11 億 拿下仲琦 6 成股權〉，《自由財經》，網址：<https://ec.ltn.com.tw/article/paper/1338728>）。

⁶² 黃敬哲，20191213，〈明泰高價收購仲琦，開盤跳空漲停〉，《科技新報 Technews》，網址：<https://finance.technews.tw/2019/12/13/alphanetworks-acquires-hitron-at-high-price/>。

⁶³ 田習如、吳中傑、張庭璋，20191027，〈菲國第四大集團、中磊舵手對談：如果中國極度自給自足〉，《商業週刊》，網址：<https://ynews.page.link/u9f6>。



圖 11 位置圖：臺灣網通廠因應中美貿易戰，尋找的海外第三生產基地

資料來源：本研究按表 12 繪製

有的網通廠選擇設廠於越南，考量的是既有台商網絡與陸運優勢，而有的網通廠則是考慮海運效率與語言溝通狀態，因此各自選擇了不同的設廠區位（參考圖 11）。但不論如何，從 A 網通廠資深工程師的訪談以及其他訪談逐字稿中可見：無論是何家網通廠，基本上均以客戶訂單要求為核心進行產線遷移，以規避中美貿易戰帶來的高關稅與資安疑慮。然而這些產線遷移的情形並不單單只有客戶要求，同時也受到中國勞動與土地成本的上漲、台商網絡的緊密協助影響。既然產線需要遷移，「設廠於哪」在網通廠的實際遷徙情況中，可以顯見兩種模式：一種是設廠在客戶所屬國家以就近提供產品（如：中磊設廠印度），另一種則是優化產品組合以應對「去中化」的設廠要求（如：擴建臺灣廠房、新設越南或菲律賓產線以銷美）。

前者情形在近年力求從「代工以間接供貨電信運營商」模式轉向「白牌直接供貨電信營運商模式」的臺廠中很為常見（參考表 11），是一市場因素驅動臺廠設址區位以就近服務電信運營商的型態；後者則是從「臺灣接單－中國生產－美國銷售」的長鏈模式轉向「中國製」與「非中國製」的二極化供應鏈模式，是一市場因素混雜政治因素所驅動臺廠回應關稅與資安疑慮的型態（參考表 12）。前者「服務客戶」而設址的情況是企業經濟理性下的企業決斷，後者則是政治化的經濟理性決策，意即：在地緣政治經濟的影響下，臺廠受到既有沉默成本（中國廠房）與外部政治經濟環境的壓力左右，藉由產線遷移至鄰近國家（陸運－越南北部、海運－菲律賓、臺灣）的方式，降低外部政治環境的風險以進行產業的空間再佈局。

五、「臺灣網通廠設廠區位變化」結論

綜整本節內容而論，臺廠自 1990 年代成立至今的區位變化呈現如表 13。

表 13 臺灣網通廠設廠區位變化（1990 年代成立至今）

年代	設廠區位變化	銷售服務據點變化
1990 年代至 2000 年代初	設廠竹科：臺廠研發、製造基地，其設址竹科目目的在於取得理工人才、緊密社會網絡、聚集經濟及政策優惠。	設立美國分公司：取得網通市場趨勢與接近潛在客戶。
2000 年代初至 2010 年代初	在前一階段基礎上，臺廠又進行新一次的據點擴張	
	設廠中國：有鑑於網通市場價格競爭激烈，其西進中國目的在於取得廉價土地與勞動成本、聚集經濟，並透過臺商聯盟協調政治問題。	全球佈局：此階段以代工為主者，則甚少擴張全球據點，而若是成立品牌者，則積極於 2000 年代初期即在各國設立據點。
2010 年代至今	在前兩階段基礎再加上市場驅使下，臺廠進行第二次據點擴張	
	第三生產基地：中美貿易戰使長鏈轉向二極化短鏈下，臺廠尋求生產成本低廉基地以避地緣政治經濟挑戰。	全球佈局：就近服務電信運營商的考量下，有意投入電信白牌直接銷售者開始積極於各國設立銷售服務據點。

資料來源：本研究整理。

從表 13 的整理來看，可以看出在設廠方面，臺廠逐步全球化的過程：

- 第一階段（1990 年代）的臺廠以新竹作為其研發、生產基地。
- 第二階段（2000 年代開始）的臺廠成立跨境生產體系：臺灣作為管理與研發基地，中國則作為產品製造之生產基地。
- 第三階段（2010 年代開始）的臺廠建立全球生產體系：臺灣作為管理與研發基地，中國逐漸成為研發、製造並行的生產基地。隨著中美貿易戰開打，其不得不尋找海外第三生產基地，遂形成臺（研發）－中國（研發、製造）－第三生產基地（中、低階製造）之全球生產體系。

第一階段（1990 年代初）的成立與發跡，可以說是受到產業群聚之人才、技術與政策的影響，促使其均集中設廠於新竹一帶。第二階段（2000 年代初）的西進，則是「逐成本而居」的生存策略，使其在競爭激烈的網通市場得以倖存並受到臺商網絡的協助與就近取得零組件生產。第三階段（2010 年代後），臺廠逐漸在中國本土化，於中國成立諸多子企業並轉向研發、製造並重的生產基地。直到中美貿易戰開打後，臺廠為了避開難以預測的國際政治局勢，轉向尋求海外第三生產基地以在生產管理上分成：中國－非中國之二極化供應鏈。以上談論的是生產基地的全球化，在銷售服務上，亦顯見外部市場趨勢如何驅

使其進行據點布局。關於臺廠的全球佈局階段，主要分成兩個：

- 第一階段（1990 年代至 2010 年代初）：臺廠主要設立美國據點為主。
- 第二階段（2010 年代至今）：臺廠銷售服務據點的全球佈局。

第一階段的目的是不在於擴張銷售據點，而是盡可能找到代工訂單，因此在此階段幾乎看不到臺廠在除了美國之外的其他國家擴張銷售服務據點（除了合勤例外）。而只鎖定設立美國據點，在於美國是市場與技術前沿地，設立於此可以取得市場與技術訊息。第二階段的全球佈局，更多受惠於臺廠企圖從原先代工／通路業務之外，開拓第三條能直接就近服務客戶的業務。

第三節將分析臺廠全球化空間佈局策略是受到何種外部市場因素的影響。

第三節、臺灣網通廠之市場與機會

一、有線網通到無線網通

臺灣網通廠如何成立的模式已在第三章第一節描述過，本部份著重於臺灣網通廠在成立之後，如何從有線產品投入無線產品的生產上。

臺灣網通廠在取得晶片之後，得以在晶片所提供的解決方案基礎上，生產已經標準化且技術相對成熟的產品，填補了當時電腦網路需求成長之下，亟需低售價的網通產品以促進整體網通產業發展的空白。在 1990 年代末期，網通市場開始出現無線技術（如：Wi-Fi、Bluetooth）之際，臺灣網通廠紛紛自有線網通產品投入生產無線網通產品，舉例如：1998 年成立的建漢積極研發有線網路之 IP 分享閘道器、交換器、路由器等，於 2000 年初期成功研發出無線網路路由器；1992 年成立的中磊則從有線列印伺服器起身，於 2000 年初期成功研發無線網路路由器、無線列印伺服器等網通產品。然而，成功研發並不代表成功打入市場，需要探問的是：臺灣網通廠是如何從無到有打入網通市場的？

臺灣網通廠成立之初均經歷過一段生產產品卻找不到客戶購買的艱困時期。為了突破困境，臺灣網通廠紛紛在美國設立子公司（可見第三章第二節），一來得以接觸蓬勃發展的美國網通市場，試圖在此開發出潛在可能下單的客戶或以自身品牌開拓美國網通市場，二則可以獲取相關網通技術流行趨勢⁶⁴。接觸客

⁶⁴ 想當然爾，自美國回臺灣投入創業或進入當時現存網通廠的技術人才，是一結構洞（structural hole）而能透過這群技術人才既有人脈接觸跨國潛在客戶、新興技術、知識及資源等。因此要說臺灣網通廠是否是陌生開發，雖然一部分比例可以這麼說，但另一部分也仰賴跨

戶及市場後，臺灣網通廠發展出兩種營利模式：(1) 專攻通路市場及(2) 協助代工。在(1) 專攻通路市場部份，臺灣網通廠在取得晶片並生產後，以自品牌搶佔當時各國蓬勃發展的網通市場；在(2) 協助代工部份，臺灣網通廠一則配合電信設備廠所開設的規格生產，二則搭上晶片廠投入終端產品的研發，B 網通廠創辦人(20220307)便這樣描述臺灣網通廠初始的生產關係模式：「一開始就是 OEM、ODM 是並行的，這個是大部分臺灣網通廠模式這樣，就是客戶他設計好了，委託我們製造也行；客戶開規格給我們，由我們設計，然後兼製造也行」。在彼時「1990 到 2000 年之間，…是技術不斷出來，也不斷的被採納」(III-2，資策會系統所高階主管，20211126)之際，臺灣網通廠困難之處並不在於如何進行技術創新，而是嘗試將各個新興技術應用於既有的產品研發上，奠基臺灣網通廠的範疇經濟生產模式。

二、從無線網通到標準投入

隨著無線區域網路(WLAN)市場逐漸成熟，產業生態已出現結構性改變——起初 WLAN 是以網路卡、存取接點(AP)等終端產品型態出現，網通廠藉由銷售該類產品即可掌握高毛利率。隨著 WLAN 逐漸內嵌於筆記型電腦等產品內，原先投入無線區域網路(WLAN)領域的臺灣網通廠得以在長期累積的代工製造能力上，擴大其在網路通訊領域的市佔位置。即使臺灣網通廠在無線區域網路(WLAN)領域掌握九成的高市佔位置，卻受限於其專精生產已經標準化且經過市場驗證的產品，於整體供應鏈處於最下游的位置，僅能極盡所能提高生產規模、降低成本以提高利潤，因此只能分到近五成的整體產值⁶⁵。高度不成正比的市佔率與產值，在 WiMAX 橫空出世⁶⁶後，讓臺灣無論是公共研發

國技術社群及人才的支援，才得以讓臺灣網通廠開拓潛在客戶及市場(Saxenian, 2008)。

⁶⁵ 該趨勢可見於 Intel 在筆記型電腦市場取得的成功：作為從晶片設計、製造到產品組裝均 Intel 於 2003 年將 Wi-Fi 技術導入筆記型電腦 Centrino 並於市場取得巨大成功後，讓筆記型電腦不再受限於有線網路而開始具備無線上網的特色，同時也奠定 Intel 作為筆記型電腦處理器的地位。考究 Wi-Fi 技術導入筆記型電腦可以取得市場成功之因，仰賴於以下三點原因：(1) 從使用者終端來看，Wi-Fi 技術大幅降低使用者上網的成本以及門檻；(2) 當使用者想要取得上網服務時，直接至通路市場購買並安裝 Wi-Fi Access Point (Wi-Fi AP)。當設備傳輸數據時，可以直接透過伺服器傳輸至網路，不必像電信運營商(CSP)佈建無線接取網路(RAN)等設備；(3) Wi-Fi 是公共頻譜資源，使用者不必向電信主管機關取得授權。

⁶⁶ 在 IEEE 於 2003 年通過將 OFDM 技術應用於 Wi-Fi 技術、2004 年 IEEE802.16 標準應用於 WiMAX 技術後，Intel 於 2005 年宣布以 WiMAX 進軍網通產業，並分別與 Motorola、Nokia 進行產品開發與互通性測試。

機構抑或網通廠奠基在無線區域網路（WLAN）的發展基礎上，有機會提早佈局相關技術與產品⁶⁷。援此，工研院資通所高階主管便敘明當初為何投入 WiMAX 之因：

「一直到 802.16，因為那時候 Intel 跑到臺灣去說服政府大量地投入，所以臺灣那時候才會形成比較大的 WiMAX 這樣的機會。因為我們一直打不進去嘛，2G 就打不進去、3G 也打不進去。所以那時候聽到 Intel 講說『阿那我們乾脆不要理 3GPP 這一條線』，我們在 Wi-Fi 做得非常好，那要不要直接跳 WiMAX？直接就有機會取代 3GPP」

（ITRI-1，工研院資通所高階主管，20210914）

在工研院資通所高階主管的回憶之下，其提到當時為何臺灣政府要投入 IEEE 802.16 及 WiMAX 的考量，便是政府希望能夠及早投入標準以擴大既有的產業發展基礎。故而當初臺灣決定投入 WiMAX 並非單純看到新興技術標準的潛力，而是臺灣網通廠以 OEM/ODM 代工為主，一則並無法打入電信市場以像 Nokia、Ericsson 一般發展自有品牌，二則在無線區域網路（WLAN）高市佔率的背後是不成正比的利潤。這些問題背後回應的產業結構即是：標準制定權自 2G 走向 3G 的過程中，逐步形成由少數設備廠掌握的情況，臺灣網通廠則只能在標準制定過程，盡可能掌握技術趨勢以投入研發，再盡可能地提高產品良率、降低生產成本以提高獲益。

有鑑於政府編列 370 億實施 M-Taiwan 計畫⁶⁸，企圖透過政府計畫經費的支持，一方面帶動臺灣行動上網的可及性，二方面則是協助臺灣網通廠得以藉國內無線上網市場練兵。該計畫目的吸引諸多國際電信設備廠來台設立測試中心⁶⁹，並嘗試促進國際電信設備廠及與擅長終端設備生產的臺灣網通廠進行技術

⁶⁷ 「臺灣網通業密切關注 WiMAX 的發展，在 WiMAX 前身的 WLAN 產品上，臺灣業者產量占全球九成，產值卻只有五成，因此臺灣業者積極想要介入標準制訂，尋求有利的發展方向」（曾仁凱、費家琪，20050912，〈WiMAX 大會登場 論戰規格〉，《經濟日報》A11 版）

⁶⁸ M-Taiwan 計畫目的是透過「終端應用需求」來帶動「臺灣相關產業的發展」，其中涉及到有線及無線寬頻的部署，對於擅長有線、無線網路產品生產的臺灣網通廠而言，是一大利多。

⁶⁹ 來台設立 WiMAX 相關測試中心或研發中心的設備廠有：加拿大 Nortel（2007）設立 WiMAX 互通性測試中心（合勤、達威、宏碁）；Alcatel-Lucent（2008）設立相容性測試中心（合勤、廣達、智邦、正文、華碩）；日本 NEC（2008）設立 WiMAX 研發中心（大同、神通、明泰、智邦）；美國 Motorola（2008）成立 WiMAX 測試中心；Nokia-Siemens Networks（2008）成立 WiMAX 與行動固網整合發展互通中心。

合作與研發。其中，在臺灣設立 WiMAX 測試中心對於過去須將產品送往國外進行互通性測試的臺灣網通廠而言，無疑縮短其互通性與驗證時間，加速 WiMAX 產品上市時間；而同樣地對於國外積極搶進 WiMAX 市場的電信設備廠而言，則是向電信運營商證明目前有完整且通過互通性驗證的產品，可供其投資並佈建 WiMAX 基地台⁷⁰。

雖然臺灣大舉投入 WiMAX，然而局端設備製造能力仍掌握在電信設備廠手中，臺灣網通廠僅能透過設備廠間接供貨終端設備給電信商，但臺灣在 WiMAX 先期標準制定階段的投入，讓有意投入 WiMAX、建立起生態系（ecosystem）的電信設備廠與臺灣網通廠的關係更為緊密。雙方為了投入 WiMAX 而構成的緊密關係，背後寓意著過去採 OEM/ODM 代工模式的電信設備廠與臺灣網通廠，轉向為協助代工與共同爭取訂單並存的商業策略⁷¹，一如報導所述：

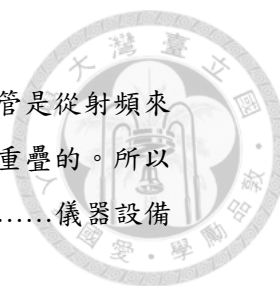
「Alcatel-Lucent 臺灣總經理說：資訊大廠習慣用代工方式與臺灣業者合作，不論是 OEM 或 ODM，臺灣業者利潤都被擠壓。這次發展 WiMAX 不採下單方式，而是遴選出合格公司，彼此合作爭取 WiMAX 的訂單」
（20070606，〈阿爾卡特朗訊 向台釋單〉，《經濟日報》C7 版）

作為 4G 候選標準的 WiMAX，在面對到 WiMAX 產業組織的內部競爭、既有基地台系統先行者相繼投入 LTE 以及國際電信市場競爭不利的情况下，宣告 WiMAX 無法成為各國電信運營商投入 4G 標準的主流，也同時代表著臺灣押寶 WiMAX 成為主流標準的政策失敗。看似過程風光、結果黯淡的產業政策，對於投入 WiMAX 研發的 B 網通廠創辦人而言並非黯淡收場，同樣敘述也可見於相關報導：

⁷⁰ 相關報導可見於：「Motorola 亞太區時任總裁指出：臺灣 WiMAX 生態系統完整，是選擇在台設立 IOT 中心主因。臺灣網路設備製造商、筆記型電腦製造名列前茅，未來將與 WiMAX 應用環環相扣，直接在台測試可加速推動產業」。

（陳雅蘭，20080603，〈摩托 WiMAX 中心 擬落腳臺灣〉，《經濟日報》A5 版）

⁷¹ 需注意的是：在電信設備廠中亦有先行/後進之分。對於大舉投入 WiMAX 的電信設備廠而言（如：Alcatel-Lucent、NEC、Nortel 等），其需要與擅長終端的臺灣網通廠合作以向電信運營商證明具有完整供應產品的能力。對於雙邊押寶抑或因應電信運營商訂單需求而投入 WiMAX 的電信設備商而言，其未必會與臺灣網通廠形成更緊密的關係，而是延續既有 OEM/ODM 的代工模式以向臺灣網通廠下單並壓低製造成本。



「基本上從技術領域來看，七八成以上的技術都是雷同的，不管是從射頻來講，甚至到整個軟體的一些處理上面，甚至連市場的客戶都是重疊的。所以對我們來講，這裡面並沒有什麼樣的，一個太大的一個障礙，……儀器設備也都是相同，工程師的技術經驗完全都是相通的」。

(NC-B-2, B 網通廠創辦人, 20220307)

「WiMAX、LTE 皆使用 OFDMA & MIMO 為核心技術且均為 All-IP Network。Motorola 的調查資料，有 87% 的技術投資可共用」

(彭子豪, 20091215, 〈WiMAX 通往雲端的階梯〉, 《經濟日報》C8 版)

理所當然地，對於臺灣網通廠這類長期接單並生產的 OEM/ODM 製造廠而言，本身並沒有所謂選邊站的問題存在。WiMAX 最終在市場上的失敗結果，對於「製造廠」角色而言的影響並不大：技術與製程的一致性，讓其得以迅速投產至 LTE，然而對於那些積極搶進 Nokia、Ericsson 瓜分基地台市場的後進電信設備廠而言，無疑造成偌大傷害。即使 WiMAX 對於臺灣網通廠造成的負面影響不如預期地大，然而需要注意的是：WiMAX 技術標準是 IT 業見其有利可圖、可挑戰長期壟斷基地台產業的 Nokia、Ericsson 的霸主位置。在 WiMAX 宣告失敗的當時情境，IT 業與 CT 業開始具有匯流成 ICT 產業之趨勢，臺灣網通廠雖無法在 WiMAX 之役中擺脫其作為製造廠的角色，爾後卻在此趨勢之下受到更多的新機會。

三、從網通市場轉型至電信及專網市場

在 2000 年代末期前，臺灣網通廠以通路市場及協助電信設備廠代工為主。對於網通產品競逐通路市場而言，其為（1）技術標準已確認並（2）經產業實證、邁入成熟期的產品。臺灣網通廠切入這類市場的基礎在於：取得晶片組所提供的解決方案並生產網通產品，並比較哪家網通廠較能提升良率、降低成本。既然網通產品差異性並不大，卻要同時競逐網通市場的情況下，臺灣網通廠若將業務鎖定在通路市場，所需面臨的競爭與毛利壓力不言可喻，這種情況直到 2000 年代末期，逐漸有新興市場機會，分別是：（1）2000 年代末期的固網行動

匯流 (Fixed Mobile Convergence, FMC)⁷²；(2) 2000 年代末期出現的小型基地台及 2010 年代中後期開始出現的開放式無線存取網路 (Open RAN)；(3) 4G 開始有的企業專網 (private network) 及系統整合需求。上述這三種新興市場機會，對於擅長範疇經濟 (economies of scope) 生產模式的臺灣網通廠，是可以擺脫代工、低毛利的機會，以下將個別介紹上述三種市場的特性。

(一) 固網行動匯流 (FMC)：網通技術的整合

固網行動匯流 (FMC) 的發展由同時經營固網業務、無線通訊的電信運營商發起，其目的是向消費端提供整合有線、無線技術的單一產品，讓消費端得以擁有無縫上網的消費體驗。面對電信市場端的需求改變，對於長年專精於有線、無線網通技術並經營通路市場的臺灣網通廠而言，抓住這波業務轉型的趨勢，有著製造面及市場面優勢：(1) 製造面：臺灣網通廠的特色即為少量多樣的範疇經濟 (economies of scope) 生產類型，在同樣製程下，擅長整合不同的網通技術、降低生產成本以因應客戶端要求，如資策會產業分析師與 B 網通廠創辦人對談 (20220307) 時便提到：「那我們的臺灣業者在小量多樣甚至做服務這邊真的是非常厲害。其實有時候去 MWC (世界行動通訊大會) 跟巴塞隆納談，他們也都覺得我們這一塊基本上全球很少有國家跟我們臺灣一樣就少量多樣，而且是網通這種量又更多、更雜」，即可窺知臺灣網通廠的特性在於「做精緻小菜，而非中央廚房」(NC-B-2, B 網通廠創辦人, 20220307) 的範疇經濟生產類型；(2) 市場面：通路市場產品差異化不高、價格競爭激烈，而電信市場係由電信運營商開規格委請臺灣網通廠生產。對電信運營商而言，找擅長代工生產的臺灣網通廠可降低經營成本；對臺灣網通廠而言，經營電信客戶可確保營收穩定性及客戶黏著度。關於上述製造面、市場面的論述，經營網通業務三十餘年的 B 網通廠創辦人有其看法：

「在電信市場裡面有不同的客戶，他會要求不一樣...即便是以 3G、4G、5G 來講，各國的頻段就都不一樣，開放的通訊法規它的頻段就不同。再來除了核心的這些，3G、4G、5G，他們要整合的東西也不一樣，有的要整合 Wi-Fi 然後還要整合 IP、要整合其他的...所以在電信市場裡面的這種就是產品差異

⁷² 原先固網 (網路) 與行動 (電信) 分別需要不同產品才能提供服務，隨著電信市場端的需求改變，致使固網技術與行動技術整合至單一產品中，以提供使用者在不同的環境中切換服務 (陳春美, 2006, 《唯行動或唯固網相對於全業務電信經營效率的研究 (2000-2004 年)》, 國立交通大學管理科學系博士論文, 頁 19)。

化的問題...因為所謂的產品差異化不是我們來差異化，是我們的客戶（指電信客戶）本身就在差異化...，那我們做代工廠來講是依客戶的要求來做」

（NC-B-2，B 網通廠創辦人，20220307）



相較於透過電信設備廠以「間接」打入電信運營商的代工模式，轉向由電信運營商訂定規格、臺灣網通廠生產以「直接」供貨的方式，確實讓具備範疇經濟生產模式的臺灣網通廠，得以提高其與其他同業間的業務差異、減少被電信設備廠剝一層毛利、確保營收穩定度。面對市場業務從零售通路轉型到電信市場的過程，臺灣網通廠並非能迅速掌握這一市場趨勢，主要有兩種接觸電信運營商的模式，讓臺灣網通廠得以逐步調整市場業務的比重，以避免繼續在通路市場削價競爭。第一種模式為：盡可能在消費電子展（如：CES）上展示自己所生產的多樣化產品以面對面接觸潛在的電信運營商客戶，一如 A 網通廠資深工程師（20220228）所述：「那我們打入（電信市場）的方式，其實說穿就是拿起多產品然後到現場去展示，去做市場開拓」；另一種模式則是與晶片廠配合研發，再由晶片廠帶臺灣網通廠去打電信市場，誠如 B 網通廠發言人（20220307）所述：「跟那種 Chipset 廠的關係其實滿重要的。比如說，D 網通廠他跟 Broadcom 就很好，所以 Broadcom 就會帶著他去切入很多不同的電信營運商」。上述兩種接觸模式在固網行動匯流趨勢（FMC）之下，能夠提升臺灣網通廠直接供貨電信運營商的機會。不過需要注意的是，過去網通廠面對的是電信設備廠，其僅需因應著電信設備廠所開立的規格生產即可，而如今若要打入電信運營商的直接供貨市場，需要認知到：電信運營商及電信市場具有高度屬地性，其因應當地電信政策規範而有不同的需求，並非如電信設備廠一樣為跨國企業。因此，有意透過此波趨勢調整業務比重的臺灣網通廠，為了就近服務電信運營商的需求，便開始針對電信運營商所屬國家進行佈局（參考第三章第二節）。

除了固網行動匯流（FMC）帶給基於範疇經濟生產模式的臺灣網通廠機會之外，亦有另外兩種趨勢，帶動臺灣網通廠接觸電信運營商的機會：開放式無線接取網路（Open RAN）及 5G 所開啟的企業專網需求。

（二） 小基台及開放式無線接取網路（Open RAN）：電信基礎設施的投入

隨著使用者端對於行動寬頻需求成長下，在 2009 年 3GPP Release 8 正式提出小型基地台（femtocell）作為解決室內收訊死角、大型基地台訊務壓力的方案。對於臺灣網通廠而言，由於電信基礎設施市場的高技術密集、高資本密集

型特性，使得臺灣網通廠不得其門而入，直到與網通產品製程差異不大的小型基地台出現，臺灣網通廠便開始思索如何藉由技術門檻較低的小型基地台產品，打入電信基礎設施市場⁷³。工研院資通所高階主管（20210914）便闡述當年何以廠商及公共研發機構，均跳下來開始嘗試研發生產小型基地台：

「能做基地台的公司沒幾家，代表什麼意思？代表不是一顆晶片就可以搞定，它可能很複雜，非常非常地複雜，要很多顆晶片，然後每個晶片要整合、測試、驗測，都會遠超過 Wi-Fi 這樣的產品線。其實那時候臺灣也是認為說直接切入，因為大家都很想做基地台的生意，他的 revenue 還滿大的...所有人不約而同在當年有 femtocell 這個風潮的時候，大家都跳下來做這個產品」

（ITRI-1，工研院資通所高階主管，20210914）

雖然臺灣網通廠跨入做小型基地台，但在 3G、4G 時期仍僅是透過電信設備廠間接供貨電信運營商，主要有三個原因：（1）技術面：小型基地台若要能夠連線上網，在接收到使用者傳遞的訊號時，小型基地台必須要能跟後端的大型基地台及核心網路溝通，而產品的「互通性」正是電信設備廠一直壟斷電信基礎設施市場的主要因素；（2）市場面：電信運營商乃直接面對消費者的 B2C（Business to Customer）商業模式，其需要提供消費者穩定的行動上網品質，若出了連線紕漏，則消費者可能會因體驗不佳而在下次合約到期之際跳槽到其他家電信運營商；（3）服務面：電信設備廠能提供電信運營商較穩定的產品及售後技術支援、維護運作，若當基地台設備出狀況而面臨賠償狀況，也較有資本得以回應賠償請求。綜合上面所述及的三個面向，電信設備廠以龐大的資本、產品的互通性及維護運作牢牢掌握電信基礎設施市場的狀況，乃是回應電信市場要求「高穩定性」的特性。這種壟斷情況隨著近年基地台解構並朝著開放化的趨勢，過去由電信設備廠以其封閉式系統、從供給面掌握話語權的局勢，逐步讓渡談判籌碼給電信運營商。A 網通廠資深工程師（20220228）更具體地描述 Open RAN 如何提供網通廠新興機會：

⁷³ 電信基礎設施即為基地台，整體屬於電信市場中，占比極高的部份，主要由 Nokia、Ericsson、Huawei 等少數電信設備廠掌握市占率。

「Verizon 原本就有這些 FWA⁷⁴的需求，那因為 O-RAN 的架構之下，我們才有辦法進入這個產業。在以前的時候，我們有做一些 FWA 跟 Small Cell 的產品，但是並沒有一個...我覺得比較像研發階段，就是他可能跟客人交易就是 1k、2k，像是樣品階段交易就對了。O-RAN 這個 system 產生下，Verizon 才會比較願意跟我們買比較大量的東西.....以前從成本考量，就必須給它們（指電信設備廠）多賺一筆。那以 business 接觸（指 O-RAN 後）的話，我們可以直接對到 Verizon——我們業務可以直接對應他們業務，不需要再透過 Ericsson 設備商去做橋接」

（NC-A-1，A 網通廠資深工程師，20220228）

對於電信運營商而言，「過去在 4G 時代，RAN 跟 Core 的比重應該是 7:3，那到了 5G 時代，這個比重只會加劇，可能 8:2 甚至 9:1 啦」（CSP-1、CSP-2，中華電信策略轉型辦公室，20210416、20210420）。因此若以電信運營商的角度來說，透過導入 O-RAN 架構以節降基地台端的佈署成本是必須的。基地台架構朝向解耦趨勢下，電信運營商藉 Open RAN 的趨勢掌握部份談判籌碼，即可以客戶之姿要求電信設備廠的設備需與臺灣網通廠設備進行互通性測試，同時訂定規格並下單給臺灣網通廠。臺灣網通廠接下訂單之後，由於電信市場兩種主要特性——要求高穩定度、高度屬地性，意味著若要打入電信市場，除了產品良率要求極高之外，面對產品發生斷網意外時，主要有兩種模式以解決問題：（1）「集團撐腰」模式——雄厚資金及迅速技術支援（如：建漢—鴻海集團、智易—仁寶集團、明泰—佳世達集團）；（2）「單槍匹馬」模式：與第三方系統整合廠、軟體供應商合作（如：中磊、正文）。對於兩種模式的具體細節，工研院資通所高階主管（20210914）及資策會系統所高階主管（20211126）均表示：

「如果沒有足夠的技術能力、financial support 下，因為動不動開標就好幾十億、幾百億台幣，你佈一個網路要很多錢。...你去拿到了這些小公司，那些小公司可能會倒，你怎麼敢給它來佈你家網路呢？因為佈到一半倒了誰負責？所以這不僅僅是技術問題，那同時也是 financial 要怎麼 support 的問題」

（ITRI-1，工研院資通所高階主管，20210914）

⁷⁴ 固定無線接入（Fixed Wireless Access, FWA），意指透過無線的方式提供網路服務。



「中華電信所有的維運就是要 Nokia 負責。像以前同事他們到 Nokia 的話，很多事情就是一個電話來，哪邊訊號不好、哪邊突然有連線掉，他們就要馬上去後台做 supporting。他們當初拿了合約建置中華電信、臺灣大哥大的 4G 網路之後，可能後面的 support 都包含在裡面。營運商絕對不會去做維運的，他這個 contract 一定是包含了佈建、網路設計、網路佈建以及後面的維運」

(III-2, 資策會系統所高階主管, 20211126)

雖然 Open RAN 提供投入研發小型基地台的臺灣網通廠一個新切入電信市場的機會，不過誠如工研院資通所高階主管（20210914）所述：「operator 雖然希望用很多的 open，到最後他自己會不會用 open，我剛剛就解釋在於要穩定，在於出事情誰負責」。看似悲觀的結論其實是一體兩面。從負面表述來看，即使電信市場開始有 Open RAN 的需求出現，臺灣網通廠得以「直接」供貨給電信運營商，然而其僅是作為電信運營商向電信設備廠議價籌碼，臺灣網通廠所出產的產品仍需與電信設備廠的核網設備進行互通。而若從正面表述來看，臺灣網通廠以小型基地台切入電信市場，得以直接接觸到電信客戶需求、當地電信市場驗測規範，是其調整業務比重的契機。

(三) 企業專網 (private network)：系統整合及整體解決方案的提供

自 4G 時代開始出現「企業專網」需求，其佈署場域主要以特定場域（如：礦坑、港埠、工廠等）為主，目的是進行特定場域的遠距操作、數據分析等工作，相較於行動通訊而言，無須太過繁雜的網路佈建。企業專網的佈建，在 4G 時代分成（1）Wi-Fi AP 佈建方式及（2）小型基地台佈建方式，前者「Wi-Fi AP 佈建方式」由於其價格較低、隨插即用的特性，具企業專網需求之客戶多傾向以 Wi-Fi AP 佈署⁷⁵，後者「小型基地台佈建方式」則由於價格較高且須搭配電信運營商佈署，較少企業專網客戶傾向使用⁷⁶。隨著 5G 時代的來臨，出現

⁷⁵ Wi-Fi AP 價格較低的緣故在於：（1）從頻譜來看，其所使用的頻譜為免授權頻譜，無須向國家主管機關（如：NCC）標下特定頻段的頻譜即可使用；（2）從產品來看，Wi-Fi AP 屬網通類通路市場產品，產品差異性不大的情況下，需要價格夠有競爭力，消費者才願意買單；（3）從部署方式來看，Wi-Fi AP 接上網路線後，後端直接連結 Internet Server 與其他網路節點交換訊息。

⁷⁶ 小型基地台價格較高的緣故在於：（1）從頻譜來看，其需使用電信運營商所標下的特定頻譜才可運作；（2）從產品來看，其屬電信類電信市場產品，在消費端需求並不大的情況下，難以量制價；（3）從部署方式來看，小型基地台後端需與大型基地台、核心網路進行溝通，否則

了三種市場趨勢：(1) 三大特性「大頻寬、廣連結、高速率」來看，有著不同佈署場域的應用需求出現；(2) Open RAN 讓無線網路佈署相較傳統而言更簡易；(3) 沒有既有基地台佈署之沉默成本的電信後進者出現，導致生產小型基地台的臺灣網通廠開始有機會配合系統整合廠進行企業專網的佈署，一如 B 網通廠創辦人（20220307）投入企業專網所描述的內容：

「公眾網路的核網我們是沒有辦法的，那種絕對臺灣網通廠都打不進去的，但是屬於企業專網的輕薄型核網是我們可以做的。那我們 B 網通廠從 4G 時代就已經開始做的，這種所謂整體解決方案就是屬於企業專門運用的，包括小細胞基站加上輕薄型的核網，賣給一些大的廠區、礦區，甚至就是現在講的工業 4.0 的工廠自動化應用這塊領域」

（NC-B-2，B 網通廠創辦人，20220307）

佈建企業專網其中的利害關係可以分成三種模式：(1) 由具備需求的企業專網客戶（如：工廠等）發起，電信運營商依照客戶需求布建網路，而臺灣網通廠在其中的角色偏向於只賣產品給企業專網客戶。舉例如：日月光（客戶）、中華電信（電信運營商）及中磊（臺灣網通廠）合建全球首座 5G 智慧工廠，由於日月光生產資料的敏感性，故其為主要的企業專網發動者；(2) 由系統整合廠發起，並尋找合適的軟、硬體供應廠。舉例如：樂天（系統整合廠）尋找 Cisco、Nokia、Altiosstar、廣達、中磊等軟硬體供應廠合力組建專網；(3) 由系統整合廠發起，臺灣網通廠提供整套包含輕薄型核網、小型基地台等軟硬體的解決方案給系統整合廠客戶。舉例如：B 網通廠創辦人所述，將整體解決方案銷售給專營特定場域的客戶佈署。

訊息無法傳遞。

⁷⁷ 在 4G 時期，在小型基地台尚未有太多應用場域的情況下，主要與 Wi-Fi AP 競逐室內部署的無線網路市場，而這論述可從工研院資通所高階主管（20210914）言論中看出：「小型基地台當時主要提供一個在比較偏 indoor 的市場上面，提供一個比 Wi-Fi 這樣的一個產品，稍微 reliability 再更高一點的應用場域。所以小型基地台真正的 competitor 是 Wi-Fi。那 outdoor 市場我們很清楚，outdoor 市場實際上就是傳統的中大型基地台就佈好了，那你進到了室內以後，進到某些 hotspot、公共空間以後，我們知道那個電信的網路需要錢，那你到了室內也許有 free Wi-Fi，或者是用家裡的 Wi-Fi」。

四、 彈性化布局：中美貿易戰及疫情席捲的風險控管



除了近年 FMC、Open RAN、企業專網趨勢開啟臺廠新切入電信市場的機會外，由於美國試圖在 5G 重掌通訊產業的話語權，遂於 2018 年發動中美貿易戰，陸續針對各項「中國製造」且牽涉資訊安全議題產品課徵高額關稅。對於突如其來的市場變動，資策會產業分析師（20210318）提供其產業觀點：

「中國有點厲害的原因是因為他做 CEP 的價格非常低，它可以用非常低廉的設備供貨給歐盟電信業者，尤其是像歐洲 Verizon。中國很早以前就談好這樣子的 business model：你（中國）提供我（電信客戶）很便宜的硬體，然後我這邊電信服務商就賺我的錢。但是美國想一想『欸不對喔，你其實不只是這些硬體，大部分像 chip 或元件 license 都歸我阿』，所以它才發動這次事情」

（III-1，資策會 MIC 產業分析師，20210318）

值此中美貿易戰機會，美國藉由產業號召及政治號召應付來自 Huawei、ZTE 於 5G 的挑戰。從產業號召來看，美國聯合全球數十家科技和電信企業成立「Open RAN Policy Coalition」，企圖藉由政府之力推動「開放且具互操作性」的 5G 網路架構，同時排除中國企業的加入（CSP-4，中華電信研究院研究員，20220324）；從政治號召來看，美國倡議「5G Clean Net（5G 乾淨網路）」以提倡各國避開使用不受信任電信設備廠（如：Huawei、ZTE）所提供的電信設備，如資策會系統所高階主管（20211126）的觀察：「美國就是追本溯源，反正你有中國的 factor 在裡面，你就不要進我的市場，連生產的任何的 component 都不會在中國，clear net 可以無限上網」。為了避開政治力涉入所帶來的營運不穩定性，諸多電信運營商轉以尋找臺灣網通廠供貨，而 A 網通廠資深工程師便蒙受其利：

「加拿大的 Rogers（羅傑斯電信）。那這一間公司會成功的主要原因就是因為：他有需求的時候，剛好是在中美貿易戰最熱烈的時候，他們還是要東西，所以他們只好找我們來做」

（NC-A-1，A 網通廠工程師，20220228）

為何臺灣網通廠得以在此波中美貿易戰受益之因，誠如第三章第二節所述：在美中角力之下，自 2018 年以來設廠中國的臺灣網通廠開始積極尋覓除了臺灣、中國以外的第三個海外生產基地。雖然遷廠的考量主要是中國製造成本節節上升，但其背後回應的便是：夾在長供應鏈模式底下的製造廠，轉向二極化中國製／非中國製的二極化供應鏈中，得以兩面討好⁷⁸並獲益的贏家。「隨成本變化而居」的臺灣網通廠靈活且彈性地避開中美貿易戰可能帶來的衝擊後，隨後在 2020 年初期國際 Covid-19 疫情爆發、臺灣疫情相較境外控管得宜的情況下，「轉單效益」漸顯現在因應中美貿易戰而多國設廠的臺灣網通廠。不過國外疫情控管狀況不一，即使多國設廠以規避政治風險的臺灣網通廠仍舊受到疫情衝擊，停工、缺料或停運的狀況開始影響著「滿手訂單」的臺灣網通廠。在這種情況下，具備集團撐腰的臺灣網通廠相較於單槍匹馬者，較有機會取得受疫情影響而稀缺的上游元件——「集團零組件需求量相對較大、且與供應商建立長期信賴關係，拿料較容易」⁷⁹。雖然缺料風險對單槍匹馬及集團撐腰的臺灣網通廠程度並不一致，即使短期內能夠舒緩缺料風險，但缺料畢竟受到各國疫情管控影響，長期下來各家網通廠仍舊需要面臨缺料而無法投產的狀況。

五、「臺灣網通廠之市場與機會」結論

臺灣網通廠的供應鏈模式主要分成兩個階段：(1) 2010 年代以前的代工與通路，以及 (2) 2010 年代以後的電信白牌直接銷售與提供解決方案。

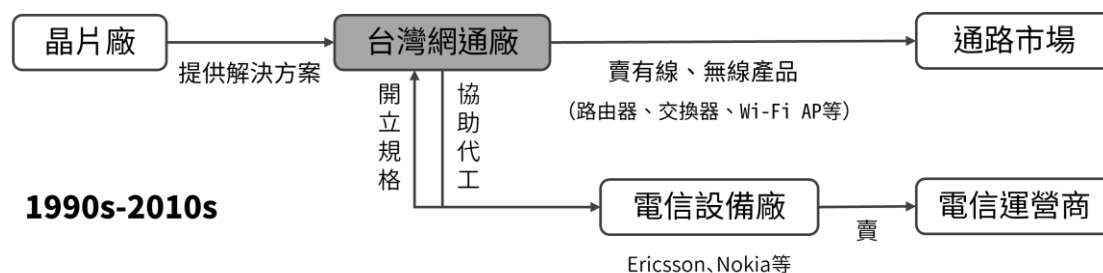


圖 12 臺灣網通廠於代工與通路市場之供應鏈模式

資料來源：本研究繪製。

首先在 2010 年代以前的代工模式中，臺廠依據晶片廠所提供的解決方案、

⁷⁸ 此處的兩面討好並非貶意，而是強調臺灣網通廠作為製造廠，如何靈活且彈性地回應外部環境的變遷。

⁷⁹ 陳柔蓁，20210828，〈仁寶董座許勝雄：半導體缺料 估明年初舒緩〉。《自由財經》，網址：<https://ec.ltn.com.tw/article/paper/1469412>。

電信設備廠所提供的產品規格，生產電信設備廠所需要的產品或模組，再由電信設備廠整合其他產品、模組及自己研發的傳輸介面，賣給電信運營商。若是在通路模式中，則是臺廠依據晶片廠所提供的解決方案下，將其他元件整合後並直接銷往通路市場（參考圖 12）。無論是何種模式，均強調臺廠必須盡可能降低成本，才能在價格競爭且產品差異性不大的市場中，取得客戶的訂單或購買。

這並不代表臺廠在代工、通路市場中沒有其他的市場機會，事實上正逢兩次外部市場機會，促使其擴大生產範疇及拉近與電信設備廠的關係，強化其既有的代工與產品差異化能力。第一次外部市場機會是：有線轉向無線的網通市場，當時臺廠正當因為有線市場遭其他國家後進者挑戰，整體市值與市占遭到侵蝕的情況下，其便投入無線網通的研發、生產，也使其跳離既有在有線網通市場的激烈競爭。由於其較早跳入無線網通的研發生產，致使臺廠在 2000 年代初期便享有無線區域網路（WLAN）領域高達九成的市佔率，隨後在 WiMAX 技術出現後旋即與其他後進設備廠更緊密互動。緊密互動的基礎在於：臺廠擁有在網通使用者端的強研發生產能力，故而後進設備廠為了與先行者（Nokia、Ericsson 等）相匹敵的情況下，必須向電信運營商證明 WiMAX 的優點以及其具備完整產業生態系，因此於臺設立諸多測試驗證中心，目的是縮短產品上市時間。臺廠雖然在此時均扮演代工角色，但並不代表代工就是不好，事實上再從有線到無線、無線到 WiMAX 的過程中，次次均是向潛在客戶證明其同時具備優良生產能力、低廉產品價格，致使 WiMAX 失敗之後，仍能與既有 WiMAX 客戶延續到 4G LTE 的產品合作上。

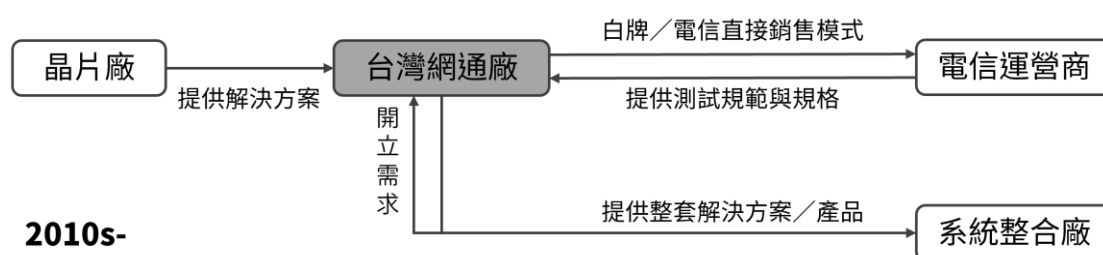


圖 13 臺灣網通廠於白牌及專網市場之供應鏈模式

資料來源：本研究繪製。

誠如前一章結論及本章開頭所述，隨著基地台核心網路的整合、終端產品的異質網路整合、網通技術整合的技術趨勢，再加上行動上網需求蓬勃成長趨勢、5G 要求的多樣化場域應用、基地台架構軟硬解耦趨勢下，開啟了三個新的市場機會：（1）固網行動匯流、（2）基地台市場、（3）企業專網。在此階段，

臺灣網通廠除了既有的代工、通路市場之外，額外開拓了兩個業務模式：電信白牌直接銷售模式，以及提供完整解決方案模式（參考圖 13）。

在電信白牌直接銷售模式中，由於既有技術框架的開放及整合趨勢，電信運營商可以直接向網通廠購買白牌設備並貼上自家公司名字。在這種模式下，對臺灣網通廠而言，無疑繞過電信設備廠、直接向電信運營商供貨，一來可以得知電信運營商所需要的產品規格與驗測規範為何，二則提升營收而不再受制於電信設備廠的壓價要求，三則能擴大既有與運營商的合作以接觸潛在客戶並提供就近服務。在提供完整解決方案模式中，系統整合廠可以提供需求給臺廠，並由臺廠整合既有產品組合後，將軟、硬體一併供應給系統整合廠，以在特定場域進行佈署。對於臺廠而言，新興之系統整合產業的需求，讓臺廠得以在無法繞開既有設備廠壟斷電信市場的情況下，得以以其範疇經濟生產模式開拓新的市場，一則證明其除了代工能力之外亦有提供解決方案的能力，二則是拓展技術架構朝開放化、標準化後的新興市場，有助其日後的布局。

上述綜整的「代工／通路」與「電信白牌直接銷售／解決方案提供」並非是臺廠僅僅基於既有技術而守株待兔著外部市場機會的出現，更多的是其並不做產業的出頭鳥——自創品牌。臺廠「寧為雞首不為牛後」的後進追趕策略，深耕多年既有製造技術，使其能夠持續在生產活動上從流程、產品、功能再到供應鏈的升級（Gereffi, 1999；Kaplinsky & Morris, 2000），也就能在外部機會出現時，持續與市場先行者互動、合作以蟄伏等待下階段的新市場機會。下一節將敘述其自 1990 年代成立至今，如何學習、建立並升級技術。

第四節、臺灣網通廠技術能力建立、學習與升級

相較於先行者藉由技術創新（technological innovation）開拓市場，後進者藉由技術學習（technological learning）拉近與先行者的差距（Amsden & Chu, 2003；Dahlman & Westphal, 1987；Kim, 1997；Lall, 1987）。針對後進國家的技術學習管道，陳良治、朱凌毅（2016）提出不同尺度的技術學習方式：廠商內部、廠商外部之本地尺度，以及廠商外部的全球尺度。技術學習管道的歸納有助於釐清後進國家如何取得技術，但盲點在於容易將各類技術學習管道視為均質、等比例的，忽略了隨著時間推移的情況下，後進廠商的技術學習管道可能會有比重上的變化。綜觀自 1990 年代至 2020 年代初期的整體市場變化，臺灣網通廠作為專業的製造廠，其圍繞著「如何降低成本、提高良率、產品多樣

化」為旨進行生產，並未大幅撼動既有領導廠商的領先地位。然而簡單一句話能代表臺灣網通廠多年來無法擺脫製造廠的宿命嗎？其實不然。本節以臺灣網通廠技術學習與技術能力狀況，說明「製造廠宿命」並不代表著臺灣網通廠只能為領導廠商魚肉，而是透過多年來奠基於硬技術的基礎上，逐步發展軟技術以更能抓取新興市場機會（Morrison，2008；Sato、Fujita，2009）。

一、硬技術（hard technology）：生產與研發的技術能力積累

無論是有線還是無線產品，臺灣網通廠的生產流程大致如下：取得晶片及其他電子零組件後，透過標準化的生產流程生產產品。為什麼晶片對於臺灣網通廠很是重要，原因在於：晶片是標準底定後，由晶片廠生產能讓下游廠商大量生產的解決方案。若沒有晶片的話，下游如臺灣網通廠雖然能提供產品，然而無論是電腦網路抑或是電信網路，產品在其中並沒有辦法達到互連、互通的目的。因此，晶片雖然限縮了市場可能會出現的產品種類，卻能夠讓廠商在標準基礎上擴大生產規模及範疇，以使強調「兼容性及互操作性」的電腦、電信網路得以運作（Blind，2016）。再者，有了晶片廠所提供的綱領後，臺灣網通廠即能循著標準化製造流程生產產品：SMT（表面黏著技術）、自動測試、外殼組裝、載入程式、功能測試、包裝出貨⁸⁰等，以下分別簡介各個生產流程：

1. SMT（表面黏著技術）

SMT（表面黏著技術，Surface Mount Technology）是一種將電子零組件（如：電阻、電容、電晶體、積體電路）焊接在印刷電路板（PCB）上的技術。SMT 流程主要是在 PCB 板上使用錫膏印刷機（screen printer）印上錫膏後，接著使用裝機（mount）安裝電子零組件，再透過回焊爐（reflow）融化錫膏後，變成液態的錫膏會接合電子零組件及 PCB 板以完成裝配⁸¹。

2. 自動測試

自動測試乃排除人工檢查可能出現的狀況，透過電腦檢查上述 SMT 焊接的裝配是否出現問題，目的在於提高檢查速率、量測精度、降低誤

⁸⁰ 以下流程主要參考各家網通廠年報中的「主要產品製造過程」，並針對製造過程的各個部分搜尋製造細節，其中製造細節受惠「電子製造·工作狂人（ResearchMFG）」最多。

網址：<https://www.researchmfg.com/>。

⁸¹ 巨奕科技，〈SMT 製程介紹〉，網址：<http://www.jiuhyih.com.tw/smt.html>

判機率、即時提供資訊給前端 SMT 以提高產品良率。

3. 外殼組裝

外殼組裝階段需要測試電磁相容性⁸²（EMC，Electromagnetic Compatibility），確保現階段產品會帶來多少的雜訊干擾。

4. 功能測試

功能測試階段須檢測產品自身發射功率是否符合標準、接收終端訊號時是否能夠及時接收，以及接收／傳遞訊號時可能發生的錯誤率多少。

5. 包裝出貨

臺灣網通廠欲包裝出貨的客戶，在 2008 年以前主要以零售通路市場及電信設備廠為主；2008 年以後逐漸有電信市場的客戶向臺灣網通廠下單。

上述簡要說明臺灣網通廠製造流程，基本上無論是鎖定通路市場抑或是電信市場，臺灣網通廠均循著上述的製造流程生產產品。循著既有製造流程並不代表著臺灣網通廠僅只需要按照流程生產，過程中沒有任何技術能力的建立、學習與升級可言，而是在多年的製造基礎上，得以逐步拓展生產範疇及加深研發及生產面的技術能力。而這些技術能力的建立與學習，並不是閉門造車般只做給自己，而是在瞄準特定市場下，所鑽研的生產技術。綜觀臺灣網通廠多年來的市場業務狀況，在技術能力的建立主要區分成三種類別：（1）單一產品生產及產品「內」的系統整合：零售通路市場及協助電信設備廠代工；（2）後進電信設備廠與臺灣網通廠的緊密合作：新興標準 WiMAX 的投入；（3）從產品「內」到產品「間」的系統整合：轉向投入電信市場、專網市場等新興市場需求。以下分別介紹這三種外部市場因素如何影響作為代工廠的臺灣網通廠學習並建立技術。

（一） 生產單一產品及產品「內」系統整合

1、 生產單一產品：鎖定零售通路市場

一如負責研發的 A 網通廠資深工程師（20220228）表示晶片廠與網通廠之間的關係：「最先有技術的一定會是 IC design house（即晶片設計廠）就是 Qualcomm

⁸² 電磁相容性試驗（EMC）簡言之：測試該產品不對其他設備產生干擾，若受到干擾仍能保持原有性能。前者需透過電磁干擾（Electromagnetic Interference，EMI）測試，後者則是藉由電磁耐受（Electromagnetic Susceptibility，EMS）測試。



他們那些人...我們會搭配各種不同的 IC 商去跟他們合作、去學技術」。由於晶片係屬標準底定後，由晶片廠生產出來以供下游廠商大量生產的依據，因此臺灣網通廠在取得晶片及其他電子零組件後，即可依循晶片所提供的指引生產網通產品以銷售到零售通路市場。對此，工研院資通所高階主管（20210914）有著更為白話的敘述，並明確指出生產對於長年專精製造的臺灣網通廠並非難事：

「生產上面我覺得沒有太多難點。其實這些東西，它們以前在所有網通設備已經做非常多年。那你拿到人家的晶片，然後把數百顆零組件，包含 active 跟 passive 的，你把它變成了一個板子加上一個外面的盒子，它變成一個 box 了，就可以賣了。這些所有的知識、know-how、生產上面的能力，其實臺灣這麼多網通廠做這麼多年，每個人都是專家，所以生產上面沒有任何問題」

（ITRI-1，工研院資通所高階主管，20210914）

雖然可以在製造流程上按圖索驥以大量生產，然而「晶片做完之後，所有的軟體...很多東西都訂死，所以你（指網通廠）沒辦法做很多的差異化了」（ITRI-1，工研院資通所高階主管，20210914），因此可預期的是：在鎖定零售通路市場的網通產品無法做出太多差異化的情況下，能夠做的便是降低製造過程的錯誤、降低生產製造成本、提高產品生產的良率。

2、協助電信設備廠代工

相較於零售通路市場是以取得晶片並直接銷售的方式，若是涉及到協助電信設備廠代工，則從三個部分切入討論臺灣網通廠在其中的角色：（1）協助代工時，其所需具備的代工條件為何，以及（2）如何從中學習，又（3）學習到什麼。第一及第二個「代工條件及技術能力學習」問題，如 B 網通廠創辦人（20220307）指出代工廠與客戶間的關係運作的邏輯：

「有的產線測試規劃都按照客戶要求，因為是代工廠，所以測試流程、該測試哪些東西，基本上都是客戶要求的，所以在產線測試合規才會出貨。基本上臺灣網通廠扮演角色大部分都不是核心技術主導，我們價值都是在製造部分、在軟硬整合製造這塊。那這塊透過跟客戶合作，有些客戶會移轉他們的測試要求、測試規範、測試流程。那透過跟客戶合作會有助於我們技術提升」

（NC-B-2，B 網通廠創辦人，20220307）

上述對於代工廠與客戶間的關係陳述，表面上指陳出代工廠基於製造成本與良率的優勢條件，盡可能滿足下單客戶對於產線規劃、產品測試的需求，從代工關係中取得客戶的技術指導與市場要求。背後實際上的運作邏輯是：代工廠在整體價值鏈中處於弱勢位置，其必須穩定經營代工關係以確保經營績效的穩定。然而這種代工關係並不意味著臺灣網通廠只能聽令於客戶要求而毫無能動性可言，誠如上述 B 網通廠創辦人（20220307）所述「臺灣網通廠擅長於製造」，因此在取得晶片所提供的解決方案（solution）以及電信設備廠所提供的規格（SPEC）後，網通廠需要進行整合以提供電信設備廠所需要的產品：

「我們的主要的技術其實是跟 Qualcomm 買他們的決定性 IC。那他們的 IC 其實會給你們一些 reference 的 document...，那我們需要將客人提供的 SPEC 跟 Qualcomm 的 IC 去做 mapping，能夠做到的就 Qualcomm 公司去做，那不能夠做到的就是我們自己去做研發」

（NC-A-1，A 網通廠資深工程師，20220228）

A 網通廠資深工程師（20220228）指出的是：如何在方案（solution）與規格（SPEC）的狹縫之中，做出符合客戶需求的產品。而上述的整合能力，其實應對的是所謂的「系統整合」，意即：臺灣網通廠並非只是取得晶片並照表操課的製造廠，而是具備除了基本的良率與成本要求之外，將硬體與硬體、硬體與軟體進行整合並有效率運作的能力。即使網通廠發展出系統整合能力，但若拉高到代工關係檢視網通廠的系統整合能力，其所具備的是單一產品「內」的系統整合技術，而若是不同產品「間」互連、兼容性的系統整合，則由電信設備廠等所掌握。在此階段，臺灣網通廠尚未具備突破此局面的技術能力，抑或是外部衝擊得以打破此一現狀。因此，回顧臺灣網通廠與客戶的代工關係中，並沒有如既有文獻所述的生產關係升級軌跡的描述一樣：須從 OEM 累積一定生產經驗才能到 ODM，而是一開始 OEM/ODM 並存——「我們一開始就是 OEM、ODM 並行的，這個是大部分臺灣網通廠模式這樣，就是客戶他設計好了，委託我們製造也行；客戶開規格給我們，由我們設計兼製造也行」（NC-B-2，B 網通廠創辦人，20220307）。除了自創立即以品牌打入網通市場的合勤、友訊案例之外，基本上專精於製造的臺灣網通廠清楚知道製造廠的目標不在於最終的品牌，而是維繫好代工關係以確保長久績效的存續。

(二) 後進電信設備廠與臺灣網通廠的緊密合作：新興標準 WiMAX 的投入

新興標準 WiMAX 的出現，對於原先持有 CDMA 技術的傳統電信設備廠及晶片設計廠而言是新挑戰，而對於後進電信設備廠及臺灣網通廠則是新機會：前者有望打破既有電信設備廠的壟斷局勢，後者則是能夠延續 WLAN 領域的製造優勢並搶占 WiMAX 終端市場的先機。誠如「協助代工」部分所述，臺灣網通廠也是循著電信設備廠客戶所提供的代工訂單以生產 WiMAX 終端設備。然而，不同以往的是：過往是在標準制定確認、產品週期邁向成熟期的階段進行產品生產與代工；而在 WiMAX 尚在標準制定階段之際，後進電信設備廠與晶片廠亟需與臺灣網通廠建立緊密 WiMAX 生態系以確保終端設備市場的穩定供貨。由於 WiMAX 為 Wi-Fi 技術衍生出的新技術，係屬數據傳輸 (datacom) 的範疇，因此在共同發展 WiMAX 標準為目標的基礎之上，多年生產網通產品的臺灣網通廠得以延續既有的技術基礎，因此在資策會系統所高階主管 (20211126) 的觀察上，投入 WiMAX 對於臺灣網通廠而言並非難事：

「因為以往網通產品大部分都 datacom，那很多也是一樣用 solution 去做，他也不是從無到有也都是就既有 solution 去做。那 datacom 部分大家也都比較熟悉、開發很久了」

(III-2, 資策會系統所高階主管, 20211126)

雖然臺灣網通廠如資策會系統所高階主管 (20211126) 所述，仍以取得晶片所提供之解決方案生產為主，但是最大的差異在於：後進電信設備廠為了取得新興標準的市場先機，其任務在於盡可能說服各大電信運營商拋開語音傳輸 (telecom) 的技術架構，轉換使用以數據傳輸 (datacom) 為主的 WiMAX 作為新一代通訊標準。在這項任務作為前提的情況下，後進電信設備廠除了盡可能研發出 WiMAX 基地台之外，也須與投入 WiMAX 的臺灣網通廠密切配合。密切配合的項目包括：(1) 以往臺灣網通廠須將產品送往國外進行測試、驗證，此時則有後進電信設備廠來台設立 WiMAX 相關測試中心，縮短臺灣網通廠出貨的速度——「就是吸引他們來臺灣設置研發中心。那協助臺灣在這驗證測試上面，去建立這個能量」(III-2, 資策會系統所高階主管, 20211126)；(2) 以往電信設備廠直接提供規格委請臺灣網通廠代工，此時則為了搶佔市場先機與驗證 WiMAX 標準是可操作的，因此後進電信設備廠則須在標準制定尚在討論與敲

定的幾個可能方向中，與臺灣網通廠更為密切地合作哪些通過制定的標準項目是可以運作的⁸³。

爾後雖然 WiMAX 最終不敵傳統電信設備廠的競爭，最終宣告 LTE 作為 4G 時期的主流技術標準，然而由於 WiMAX 與 LTE 均屬 OFDM 核心技術，兩者的核心技術有八成接近，因此臺灣網通廠得以將既有生產、研發經驗與產線設計延續到 LTE 產品，一如 B 網通廠創辦人（20220307）所述「累積的技術發展在爾後也可應用到 LTE 相關的產品開發，因為基本上從技術領域來看，WiMAX 跟 LTE 有七、八成的技術是完全雷同的，不管是從射頻來講、整個軟體的一些處理上面、市場的客戶、那甚至很多的產線測試設備其實都是一樣」。也正因為技術上高度重疊的緣故，在 LTE 網路如火如荼佈建的同時，於 WiMAX 投入較深的臺灣網通廠則握有先機得以移轉代工業務至 LTE。不過須注意的是，即使此階段臺灣傾全力投入 WiMAX 技術標準，雖然臺灣網通廠在此階段緊密地與後進電信設備廠合作終端產品的研發與生產，然而其仍以代工為主，基本上均順應著客戶的要求進行產線與產品規劃，因此對其而言並未有所謂的技術押寶問題存在。

（三） 從產品「內」到產品「間」的系統整合

1、 走向專網市場：具備提供客戶整體解決方案的能力

2010 年代初期，LTE 已被市場遴選為主流標準、WiMAX 宣告失敗的情況外，由於核心技術的高度重疊，致使臺灣網通廠得以延續既有的生產與研發經驗、產線與測試設備的配置、客戶合作等。除了前述臺灣網通廠所奠基的技術能力外，外部環境亦有三波重要趨勢，讓其得以在範疇經濟基礎上抓住機會並從而積累技術能力：（1）2000 年代末期至 2010 年代初期，通訊網路（telecom）與電腦網路（datacom）於 4G 時整合為 All-IP 網路；（2）2000 年代末期，固網與行動匯流（FMC）趨勢有利於無線上網覆蓋率較低的國家；（3）2010 年代中後期，開放式無線接取網路（Open RAN）讓企業專網的佈署方式有更多樣的選擇。前兩者可以理解為：在範疇經濟生產模式基礎、相同製程的情況下，臺灣網通廠以其較低的生產成本、較高的產品良率，得以打入電信運營商市場。即使其中製造仍以晶片所提供的解決方案為主，但在晶片未提供的空白之處，則是臺灣網通廠可著墨的地方：產品「內」的軟體與硬體整合。該項系統整合

⁸³ 讀者可能認為：標準制定即是一個可供參考的教科書，讓廠商得以依據教科書進行生產，然而誠如中華電信退休高層（20210513）所言：「你一句話寫出來，十個人可能會有十一種不同的解釋阿，標準規格也會有這種問題啊」，再加上當時 IEEE 802.16 的標準制定過程中，個個投入 WiMAX 標準制定的廠商心懷鬼胎，也就造成了標準制定下有諸多不可行的方案，從而影響產業實作面的產品生產。

能力並非從一開始便建立的，而是其見到 2000 年代後期新興趨勢之下，逐步增聘軟體工程師的比例以及透過軟體技術授權的方式，從而在廠商內部學習如何整合硬體與軟體。

在 2010 年代中後期遇上開放式無線存取網路（Open RAN）趨勢下，臺灣網通廠知悉自己並不具備生產大型基地台的技術能力，但卻能透過既有硬體的多樣（有線、無線）布局搭配產品內部的系統整合下，鎖定企業專網（private network）市場提供私人網路的整體解決方案。但是，整體解決方案並非是有線與無線、硬體與軟體兜在一起之後，便水到渠成的技術能力——「以現在在 5G 如果你要做特定服務（即企業專網）用，你可能就必須要...端到端的系統整合，...為這個應用能夠讓這整個網路系統，包含了機上盒、網、網管、場域量測跟佈建符合他（專網客戶）的需求」（III-2，資策會系統所高階主管，20211126）。對於具備企業專網需求的客戶而言，其除了看晶片是上游哪個晶片廠所提供的，也同時要求私人網路的穩定性。為了回應企業專網客戶的需求，臺灣網通廠需要發展出一套得以統一管理所有產品的系統軟體，因此誠如 B 網通廠創辦人（20220307）所述：

「我們核心的晶片是由國際大廠來供應，相關的技術標準也是遵循國際標準，那這些東西都已經整合在晶片。那我們要解決的第一個就是軟體的部分，在整個相關的系統軟體的部分整合跟設計，再來就是射頻前端這一部分的整合測試，這些都是我們主要解決的問題」

（NC-B-2，B 網通廠創辦人，20220307）

除了外部環境驅動廠商內部的技術學習與技術能力建立，讓臺灣網通廠從 2010 年代以前負責代工以及逐步積累產品「內」系統整合的情況，得以自 2010 年代開始建立起產品「間」的系統整合能力。而該項產品「間」的系統整合並非鎖定由電信設備廠壟斷的電信基礎設施市場，而是轉向鎖定要求相較電信基礎設施市場低的企業專網市場，並提供專網客戶整體解決方案以達到一站式服務的需求滿足。有論者可能會疑問兩個面向的問題：（1）網通廠如何從原先的產品「內」系統整合走向產品「間」的系統整合；（2）在企業專網從過去 4G 時期以 Wi-Fi 這種非授權頻譜傳輸資料，直至 5G 時期轉向以授權頻譜進行聯網設定時，網通廠經歷那些技術能力的升級。

針對問題一的答案，B 網通廠創辦人（20220307）解釋關於連結各項產品的管理軟體，基本上是「跟人家技術合作、去 licensed 來的，也不完全從頭從零開始開發」。對於第二項問題，部分網通廠如明泰、正文等，因應著 5G 核心網部份功能「下沉」至靠近用戶端，以及客戶的訂單要求下，開始研發過去被電信設備廠壟斷的核心網路：「我們跨入所謂的輕薄型核網，是因為在通訊領域裡面企業專網的需求，這些客戶的需求所帶來的……。那投入這個發展呢，有些東西是需要跟人家做技術合作、需要跟人家 licensed，所以並不是都從零開始」（NC-B-2，B 網通廠創辦人，20220307）。因此網通廠基本上並非無中生有地一路從網路通訊、小基台再到核網與產品間的系統整合，而是透過客戶提供的規格與訂單，以及技術授權與技術合作的方式，逐步建立具備提供企業專網一套完整解決方案的能力。

2、投入電信基礎設施市場：從網通產品轉向小型基地台的製造

自 2000 年代末期開始，電信基礎設備有著「小型基地台」的需求以解決市內收訊死角、協助大型基地台負擔日益成長的行動寬頻流量，而這對於長年難以打進電信基礎設施的臺灣網通廠而言，無疑是藉此技術門檻相較大型基地台低的產品搶進的新機會。既然有新機會，臺灣網通廠憑藉什麼條件得以從生產網通產品轉向生產小型基地台？——所有受訪者均指出網通產品與小型基地台的製程並沒有太大的差異，其基本上循著「取得晶片解決方案與電信設備廠規格」模式進行製造，然而小型基地台面對市場要求及研發方面則相較於網通產品有巨大差異存在。針對小基台與網通產品的生產，B 網通廠創辦人（20220307）更詳細指出其中的差異：

「第一個就是做整合，整合包括這些通訊的晶片，baseband 的晶片和射頻前端的晶片。那射頻前端的晶片在整合的時候有很多的問題，比如跟天線的整合，那這些整合上面你要怎麼樣追，在電路板的設計上面，還有在測試上面要怎麼樣，比如在射頻這一方面的整合。那這一部分就是也是一個關鍵的技術，那我也是我們要去解決的，那包括怎麼通過這些相關的一些通訊法規，這種射頻的一些通訊法規，各國都有很多通訊法規，像歐規的 CE，美國的 FCC。那這些東西你要滿足它。還有很多就是電磁相容、電磁干擾的一些規範，各國這方面的規範。那這些都是技術，這些東西都在產品開發的時候要 design 的技術。所以這些東西其實是跟通訊技術標準規格是無關的，但是他在整個產品、在整個產品開發上卻是非常重要的」

（NC-B-2，B 網通廠創辦人，20220307）

雖然小型基地台與網通產品的製程差異不大，但其所面對的市場要求——當地的電信規範（電磁相容、電磁干擾）則在最前端的研發就需要處理，並在製程過程進行整合測試該項產品是否符合當地規範。工研院資通所高階主管（20210914）表示小基台與網通產品在研發與生產階段的投入差別之處：

「電信產品跟傳統的這種網通產品，他們驗測規格差很多。所以也就是你要先區分一個叫做 R&D in-house 階段，跟最後面產品的生產階段，這是兩件事。In-house 裡面，在電信設備裡面，他對於測試的要求非常地嚴苛，所以他有很多測試的規範...。那測完之後，接下來生產就是傳統的生產，你怎麼打件、你元件有多少，這個大概都沒有太大問題」

（ITRI-1，工研院資通所高階主管，20210914）。

製程方面差異不大、研發方面存有巨大差異，負責小型基地台研發的 A 網通廠資深工程師（20220228）更為細節地指出差異之處：

「它（指小型基地台）的製程技術就是一樣的東西，還有一點是研發的不一樣。小型基地台你可以理解成它的能量要打得很大、功率要打得很大，所以它會遇到很多在高能量情況底下的訊號失真以及溫度問題，所以這個技術上相對難一點。另外就是 FWA 或者是 Wi-Fi 的東西，它有辦法跟手機或者是 base station（基地台）做對接、對測，可是 small cell 沒有辦法去跟 base station 做對測，也就是我只能透過 small cell 跟手機對連來看一下 performance，但手機並不是一個完整的檢測用工具，那所以會在測試上面是需要去討論的地方。不過還是有一個方式可以去測，也就是會提供測試 power 能量的值是不是在一個合理的 deviation 之內去做判斷說它（指小型基地台）ok 不 ok」

（NC-A-1，A 網通廠資深工程師，20220228）

傳統上如 Wi-Fi 這類網通產品的研發、生產，可以透過跟終端設備（如：手機）連接的方式，檢測 Wi-Fi 機台的性能表現。小型基地台連線時，牽涉到的是前端為終端設備（如：手機）、後端為大型基地台，因此若以傳統檢測方式的話，僅能評估其連接手機時的性能，難以精準判斷其連接大型基地台的性能

表現如何。從這邊即可判斷出：雖然小型基地台作為臺灣網通廠切入電信基礎設施的敲門磚，然而受限於電信設備廠掌握了產品「間」的互通、互連，故其仍得需要維繫著與電信設備廠之間的代工關係，才能將小型基地台這類電信基礎設施透過電信設備廠銷售給電信運營商。即使如此，代工關係雖然表面上代表著上對下的階層關係，但實際上在 2018 年 Open RAN 開始運作之後，電信運營商開始具備籌碼得以直接向臺灣網通廠下單，並以 Open RAN 架構要求電信設備廠需與其進行產品互通性測試。對此，A 網通廠資深工程師（20220228）提出其與電信運營商的合作經驗：

「5G 我們有做一個產品是一個叫 millimeter wave（毫米波）的 small cell 的 module，然後他是賣給 Verizon...。那我們那時候所做的系統整合的概念是這樣子：我們跟高通買 IC，然後把 IC 兜到我們的產品裡面，我們提供所謂的硬件，那硬件的部分就是他裡面還是有一些基礎的程式碼要給。可是真正在每一個基台跟每一個基台的連接，以及每一個基台跟手機的連接，還有每一個基台跟上游的 base station 的連接，這個對於我們來說我們會在我們的基礎的程式碼裡面搭配 Verizon 的人，就是把他們全部兜起來，這個就是我們所謂的系統整合。因為我們只出那個我說的...我們叫就是 Millimeter Wave 的 small cell，那我們去跟 Verizon 所提供的手機用戶，以及 Verizon 所提供的 base station 的總機房去做整合，這是我們跟他一起 co-work 下去的」

（NC-A-1，A 網通廠資深工程師，20220228）

原先需要搭配電信設備廠才能將小型基地台打入電信運營商的情況，隨著 5G 多樣化應用及 Open RAN 趨勢，讓電信運營商可以直接向臺灣網通廠下單，不必再透過電信設備廠購買設備。能夠掌握這波趨勢的臺灣網通廠，條件則是具備基礎軟體能力與其所累積的產品內系統整合經驗，才能夠在這波趨勢之下與電信運營商合作。臺灣網通廠與電信運營商合作下，為了能夠及時回應電信運營商的需求，透過在電信運營商所屬國家開設子公司的方式（參考第三章第二節），讓臺灣網通廠更能直接而非間接掌握到電信運營商的狀況。因此誠如 A 網通廠資深工程師（20220228）所述，臺灣網通廠除了代工業務之外，直接銷售電信白牌產品予電信運營商，並與電信運營商一起處理產品「間」的系統整合。從代工到系統整合的過程，一來是奠基於一開始的範疇經濟生產模式，讓其可以在相同製程上鑽研其他技術相近的產品以累積技術能力，二則是小型基

地台相較於大型基地台，是技術門檻相對低且能直接打入過往難以打入的電信基礎設施市場。即使小型基地台技術門檻較低，然而對於過去未直接接觸電信運營商的臺灣網通廠，仍舊需要提高其原有的技術能力以應付可能會有的訊號失真、產品溫度問題等。



二、 軟技術 (soft technology)：生產管理的技術能力拓展

在硬技術 (hard technology) 深化的同時，臺灣網通廠也逐步拓展軟技術 (soft technology) 的能力。關於軟技術的描述，對於軟技術的深化過程，Sato、Fujita (2009) 指出軟性技術能力的建立及深化過程：(1) 管理常規生產以應對零售通路市場，屬於 B2C (Business to Customer) 的範疇；(2) 穩定生產管理以達到客戶要求，屬於 B2B (Business to Business) 的範疇；(3) 逐步改善生產管理能力，屬於企業內部的組織創新，以及最後一個 (4) 建立生產管理體系。需要注意的是，軟技術的能力建立並非是線性發展，而是隨著時間逐步積累能力，以下解析臺灣網通廠如何建立並積累軟技術能力。

(一) 生產管理：消息打聽與成本控管

誠如本章第一節關於臺灣網通廠如何成立的說明，諸多臺灣網通廠的技術能力起初來自：(1) 曾於學術機構端、公共研發機構端的實作與研發經驗，舉例如：自工研院創業的智邦、中科院創業的正文等；(2) 自企業端操作學習而來的實務經驗，舉例如：自智邦代工部門分割的智易、歸國學人創業的合勤、國內科技人才成立的建漢等。在公司成立之際除了挾帶既有的技術經驗之外，由於 1990 年代國內高科技人才多數聚集於公共研發機構，於是臺灣網通廠常延攬來自公共研發機構的科技人才，抑或藉由與公共研發機構合作 (技術合作、技術移轉等) 的方式取得相關技術。

雖然在相關科技專案計畫上，載明臺灣網通廠如何向公共研發機構申請技術移轉或技術合作，讓公共研發機構的存在作為臺灣網通廠取得技術、帶動後進國家產業發展的功能 (Choi, 1986; Mathews, 2002)，但實際上在研究者訪談網通業界創辦人、工程師時，均指出公共研發機構的技術對其生產並沒有太大的影響，抑或是指出廠商與公共研發機構之間較少合作的薄弱關聯。然而這便要詢問是：既然技術移轉或技術合作影響臺灣網通廠的技術取得不大，那為何其仍舊與公共研發機構在帳面上仍有技術往來？對此，資策會產業分析師

(20210318) 指出其中緣由在於：廠商－公共研發機構聯盟的建立，更多的是能夠透過結盟的方式取得國家資源及市場行銷的機會。那麼在此時期的臺灣網通廠，其中的技術學習又從何而來呢？除了前述硬技術已經談過的（1）嵌入全球價值鏈以代工、（2）購買晶片以銷售通路市場模式之外，臺灣網通廠在此時期的軟技術能力在於：管理生產上的成本節降。自代工廠起家的臺灣網通廠，首要之務在於盡可能壓低生產成本，其中策略除了在硬技術上持續精進製程技術以提高產品良率之外，選址位置及生產成本控管亦是其降低成本的策略：

「它們的技術學習內涵反而很有趣，它是一群做 module 的人，然後互相去打探你賣多少錢、你的材料哪裡來的」

(III-1, 資策會 MIC 產業分析師, 20210318)

打探競爭對手的策略並非隨意打探即可收穫，基礎在於：（1）國內高科技人才於大學時期所建立的人脈網絡，以及（2）彼此設廠、設址的地方坐落於鄰近之處的加成，讓探聽價格及材料來源奠基於地理及關係上的基礎。關於第二個生產成本控制部分，各家網通廠的成本節降方式不盡相同，但大抵上均需處理三個面向的成本：（1）研發階段的測試成本及時間成本、（2）大量製造的生產成本以及（3）原物料及產品的運送成本。誠如前述「打探消息須建立在地理及關係基礎」，臺灣網通廠的設址位置盡可能地接近原物料供應地，一來得以降低原物料及產品的運送成本，二則能夠提高產出產品原型（prototype）的生產效率。既然運送成本及研發成本得以在地理鄰近性的基礎上降低，那麼網通廠能盡可能降低的成本則為生產成本，對此 A 網通廠資深工程師（20220228）提供了具體的降低成本策略：

「我們有一招很厲害的地方叫做免洗筷。就你知道免洗筷的用途就是我拿來用完之後又把它丟掉了。那我們的做法就是說，今天我們就有一間供應商要進來我們公司，我們就跟他們講說你在多少錢以下，你就會有機會做進來。那因為你一間供應商要進我們公司的話，一定你什麼都配合，就是為了要打進市場，所以可能前一兩年他們就會很願意的去壓低，他們自己少賺一點，甚至不賺的方式來進入我們 A 網通廠的市場。那這一間供應商發現他賺了兩

年之後，他跟我們採購他說他想要價格往上拉，就是跟我們也玩夠久了，然後真的也進入我們 A 網通廠的市場了，我們這時候就把他丟掉，我們再找另外一家進來，就是免洗筷的策略」

(NC-A-1, A 網通廠資深工程師, 20220228)



研究者在訪談過程中發現，不論是在訪談公共研發機構亦或是廠商時，受訪者們雖然並沒有表明將上游元件劃分的情形，但無意間卻將上游元件劃分為二類：晶片及其他。可想而知，晶片之於網通產品的重要性在於解決方案，讓廠商得以藉此投產，故而在晶片價格難以下降，同時面臨激烈競爭的網通市場而言，廠商能夠降低的便是劃分於「其他元件」的成本。當然並非說被劃分為「其他元件」的成本不重要，主因在於上游「其他元件」的市場競爭性比起晶片而言更為激烈，做為客戶的臺灣網通廠就能在市場激烈競爭的情況下比價。有論者可能會對 A 網通廠資深工程師（20220228）提到的「免洗筷策略」感到疑惑：只因為上游元件價格上漲就肆意更換供應廠商，難道不會影響到產品良率嗎？A 網通廠資深工程師（20220228）表示：

「其實以產品來講，每一個 IC 或者是每一個 component 來講的話，它其實都不會差到哪裡去，然後它一定都要達到它 SPEC 上面所定義的規格。那我們會就是不斷地去換、change vender 的時候，他們提供的樣品我們會去做個幾次的產品去驗證一下 performance，那如果驗證沒有問題才會進來。所以就是以這種方式，有技巧地把供應商的 cost 壓下來」

(NC-A-1, A 網通廠資深工程師, 20220228)

透過開規格並開標的方式，網通廠得以篩選出其中價格較低、性能較好的產品，而當上游元件廠商反應漲價需求之際，便得以迅速換成其他家性能相近但價格更低的廠商供應元件。因此「免洗筷策略」在前述驗證產品並列清單的方式，不但不會影響臺灣網通廠的生產成本，同時也不會牽連產品性能與生產良率，是其得以維持低成本的管理技巧。

(二) 生產管理：建立全球生產體系、人才延攬與組織革新

1、 建立全球生產體系與人才延攬

除了控管成本與打探消息做為降低成本的生產管理策略，如何取得與培訓人才⁸⁴、管理落址於不同國家的產線亦是臺灣網通廠自成立之初便逐步積累的軟技術。本章第二節談論臺灣網通廠設址的區位變化，可以區分成四個階段：

(1) 創業之際設廠於新竹，同時在美國設立銷售據點；(2) 中國市場崛起時，紛紛至中國設立工廠；(3) 隨著電信直接銷售趨勢越發明顯，網通廠開始設立海外其他銷售據點以直接接觸當地市場；(4) 中美貿易戰開打時，開始尋覓中國、臺灣之外的第三生產基地。撇除掉自一開始即以品牌進佔歐美市場的合勤，基本上臺灣網通廠各個設廠的功能變化可以歸納為表 14：

表 14 臺灣網通廠建立的全球生產體系變化

年代	區位變化	據點功能
1990s-2000s	設廠新竹、美國設立銷售據點	臺灣同時作為研發、製造據點
2000s-2010s	至中國設廠與銷售據點	臺灣：研發與少量製造 中國：主要製造據點
2010s-2018	至其他國家設立銷售據點	臺灣：高階研發與少量製造 中國：研發與製造並重
2018-	尋覓海外第三生產基地	臺灣：高階研發與少量製造 中國：研發、製造並重，但逐步降低中國生產的比重 海外：設廠並調高製造比重

資料來源：本研究整理。

從表 14 可見：臺灣網通廠如過去描述的中小企業一般，於 2000 年代透過西進中國嘗試學習如何進行跨國生產管理，最後隨著外部市場趨勢與地緣政治經濟局勢的變化，進行海外銷售據點的布局及生產據點、產線配置的再分配。全球生產體系的建立過程，各家網通廠有著不一樣的狀態：自 2000 年代初期便納入集團管理的網通廠（如：建漢、智易），主要隨著集團的經營管理策略布局；單槍匹馬的網通廠（如：中磊、正文）雖然難以獲得集團奧援，但掌握較多的生產管理布局的權力。需要探問的是：這些網通廠嘗試西進理解全球化生產管理，並在近年進行全球無論是銷售或製造布局過程中，難道沒有遇到任何的經

⁸⁴ 前面已經討論過臺灣網通廠網羅人才有賴於緊密的人際及人脈網絡，以及產業群聚所提供的空間基礎，本部份即不對此多討論，而更側重於圍繞著生產方面的人才取得、培訓與管理全球生產網絡。



營管理障礙嗎？關於此疑問，A 網通廠資深工程師（20220228）提出了看法：

「其中原因是因為我們在各個國家，尤其在歐美國家，原本舊方式是由臺灣的 Sales 去 Local 跑業務，那他們會發現一個問題是：我們臺灣業務就是華人面孔，在歐美國家會被 rejected，所以我們到最後就是白人面孔去談比較順利一點，這是實際上的考量。那第二個考量原因是因為畢竟臺灣人的 Sales 每次要飛出去的話，一次可能就是半個月、一個月的，也有自己的家庭要顧，那我們就在當地 local 就是做一個 office，然後也讓那些老外、白人面孔的當地人，有個地方可以上班，我在當地 hire 一些 R&D 這樣最好處理事情」

（NC-A-1，A 網通廠資深工程師，20220228）

為了拓展歐美及其他新興市場，網通廠起初以華人業務開發，最終在考量交通成本及文化差異的情況下，轉而聘用熟知當地產業文化與在地語言的當地人協助其開拓市場。同樣的情況可見於臺灣網通廠 2000 年代西進及 2018 年後紛紛南進設廠的情形。為了管理數量龐大的中國員工以及應付中國複雜的政治因素，部分臺灣網通廠設廠後另外在當地成立中資子公司，並且聘用一定比例的中國籍員工管理生產與研發業務。這種延攬並聘用在地人之趨勢，使臺灣網通廠設廠中國一定時程之後，中國廠開始從基礎的生產逐步邁向中、高階產品研發與生產的基地。隨著 2018 年因應中美貿易戰遷移產線至東南亞（越南、菲律賓等地），為了克服勞動文化差異，網通廠嘗試聘用在地人負責生產管理。除了克服文化差異、搶進當地市場之外，延攬業務上有所往來者，也是網通廠取得電信市場屬地性的法規要求、產品規格開發的方式。舉例如：正文積極投入 WiMAX 時，便延攬牽線 Intel 與臺灣政府合作的 Intel 亞洲總監林榮松加入團隊，以掌握 WiMAX 趨勢；中磊挖角 Ericsson 業務主管取得 Verizon、T-mobile 等電信運營商的訂單，同時也掌握產品規格的设计細節與屬地電信市場的法規要求。

2、組織革新：生產管理思維的轉變

自一開始的 OEM/ODM 代工模式轉變為近年的電信白牌銷售模式，臺灣網通廠管理生產的模式也有所改變。以中磊為例（參考圖 14），從一開始的內嵌軟體（韌體）、硬體設計、產品保證到測試技術，均是在代工時期慢慢建立起來的技術能力。針對上述各面向的技術能力，均有專案經理（project manager）

負責特定項目的研發、製程與進度，並且嘗試最佳化生產過程以求提高產品良率、降低生產成本。直到 2010 年代初期，中磊因應電信運營商一站式購足的需求，且若是供應產品後便能形成長期穩定的客戶關係特性，開始嘗試從代工模式轉向電信白牌供應模式。因此在白牌模式之下，臺灣網通廠憑藉多年跨足網通、通訊產品的產品生產經驗，從原先具備硬體、韌體的技術能力及少許的軟體設計能力，嘗試設計出能夠管理產品與產品之間的運作管理軟體。

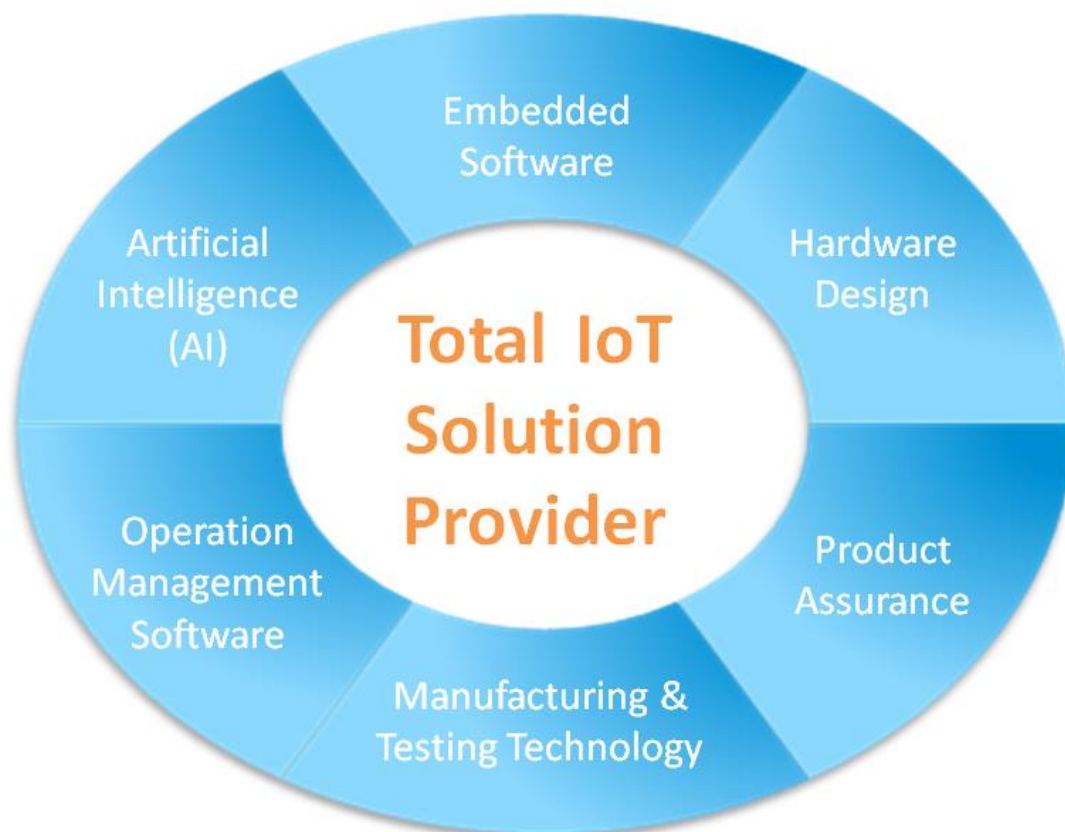


圖 14 中磊電子提供完整解決方案

資料來源：中磊電子官方網站。

轉型到電信白牌模式之下，電信運營商作為直接面對消費者的營業者，其提供給消費者的必須是具備高穩定性的聯網產品，再加上市場需求出現之際，電信運營商所期待的是上游廠商能夠迅速提供其產品以掌握趨勢。如果有意從原先代工模式轉向白牌模式的臺灣網通廠，則必須正視「市場一出現，即能即時供應」的市場狀況。因此像中磊從原先的專案經理（**project manager**）額外新增了產品經理（**product manager**）職務，負責在市場需求未明之際，預先判斷接下來的產品趨勢。相較於過去接下訂單並且掌握研發、生產過程，產品經理（**product manager**）職務的出現，意味著網通廠若要搶下電信白牌商機，就必

須嘗試訂定產品規格以與下游客戶溝通，並在確認客戶需求之際，提前在市場需求出現前的 18 個月投入研發、生產（NC-C-5，C 網通廠董事長，20221107）。



三、「臺灣網通廠技術能力建立、學習與升級」結論

彙整第四節內容，可以分成如表 15 之硬技術能力與軟技術能力兩個類別。

表 15 臺灣網通廠技術能力學習、建立、累積與升級過程

年代	技術能力	
	硬技術能力：生產能力	軟技術能力：生產管理
1990 年代至 2000 年代中	<ul style="list-style-type: none"> 單一產品生產：通路 產品內系統整合：代工、通路 	<ul style="list-style-type: none"> 消息打聽：探聽材料與成本 生產成本管理：免洗筷策略
2000 年代至 2010 年代初		基於前階段軟技術能力上，臺廠向上升級其軟技術能力。 <ul style="list-style-type: none"> 建立跨境生產體系：臺灣（研發）－中國（生產） 延攬人才：聘僱本地人
2010 年代至今	基於既有生產能力，臺廠向上升級其硬技術能力。 <ul style="list-style-type: none"> 產品「內」到「間」的系統整合：電信及專網市場 	基於前兩階段軟技術能力，臺廠向上升級其軟技術能力。 <ul style="list-style-type: none"> 建立全球生產體系：尋找中國之外的第三生產基地 組織革新：新增產品經理職位以預判未來趨勢

資料來源：本研究整理。

參考表 15 彙整內容，在硬技術能力方面，臺廠起初鎖定代工／通路市場情況下，其在既有製程的基礎上，技術發展目的是：（1）精熟既有製程以提高產品良率、（2）整合上游各個零組件、設備廠規格以供貨給設備廠，或是整合零組件並銷往網通市場。在此階段，臺灣網通廠歷經有線到無線、無線到 WiMAX 的市場發展過程，其中尤以 WiMAX 及後續的三種技術整合⁸⁵，正面影響網通廠跨入到下個階段的技術能力升級。雖然臺灣網通廠於 WiMAX 時期仍以代工、通路為主，但由於後進設備廠欲向電信商證明 WiMAX 具備完整生態系，故此階段臺廠相較先前的代工模式，與後進設備廠有更緊密的合作關係。對於臺廠而言，WiMAX 的出現無疑是延續其既有在數據傳輸（datacom）上的

⁸⁵ 基地台核心網路的整合（All-IP based Network）；終端產品的異質網路整合；網通技術的整合（FMC）。

研發量能，再加上新通訊技術 OFDM 的出現、掌握設備廠的測試驗證規範下，即使最終由 4G LTE 被遴選為市場主流通訊標準，然而臺廠仍能將既有的研發量能延續到 4G LTE 產品生產上。隨著行動寬頻上網需求的成長，再加上三種市場趨勢⁸⁶的出現，使臺灣網通廠從原先硬體、韌體生產能力向上升級至具備軟體生產能力。此階段的臺灣網通廠直接面對來自系統整合廠及電信運營商的客戶需求下，其需處理的即是（1）整合硬體、韌體乃至軟體產品，以向系統整合廠提供特定場域的解決方案；（2）處理與網通產品截然不同的電磁相容、干擾與產品溫度過熱等問題的電信產品，以向電信運營商提供電信白牌設備。因此可以說：市場機會即使出現，若沒有臺灣網通廠多年深耕硬／韌體及製程的技術能力，就不會掌握到由數據傳輸（datacom）逐漸主導行動通訊產業發展的趨勢。

在軟技術能力方面，既然臺灣網通廠起初以代工、通路市場為主，其目的便是盡可能節降成本，也因此其在產業群聚的基礎上，「打探材料來源」與「免洗筷策略」均為其不向外人道但卻重要的成本降低策略。隨著其西進中國、臺灣網通廠必須管理臺灣與中國的產能分配與區位定位，從而發展出「臺灣（研發）－中國（生產）」之跨境生產體系，以回應激烈競爭的網通市場所強調「降低成本」的重要性。在外部三個市場趨勢出現之際，臺廠為了緊抓住運營商及系統整合廠的訂單，其必須向客戶證明其不僅只有代工而已，更多能夠提供售後的維護與運作，因此臺廠此時的重心不再是「降低成本」，更多的是如何「服務客戶」。在這層理解上，臺廠必須跳脫過去的代工思維——客戶、市場給規則就生產，而需要超前市場需求出現的前 18 個月，便預先投產可能客戶會需要的產品，同時新增「產品經理」以控管新產品的研發及判斷客戶的需求。再者，當中美貿易戰對於中國製產品有資安與政治疑慮的前提下，臺廠則必須尋覓海外第三生產基地以建立起全球生產體系，目的是回應「中國－非中國」之二極化供應鏈的情勢。最後，臺廠從跨境到全球生產體系、從美國銷售據點到全球佈局的趨勢下，其理解到「當地業務只有本地人了解」，因此開始聘僱非臺灣人之業務以盡可能抓到本地市場的不成文規範。

⁸⁶ 固網行動匯流市場、基地台市場及企業專網市場。

第五節、本章結論



依照臺灣網通廠的業務模式，可分成兩個時期：(1) 1990 年代至 2010 年代初期，以代工、通路為主；(2) 2010 年代開始，在代工、通路基礎上，逐步轉型至具備提供電信白牌設備及解決方案能力。

在臺灣網通廠起初發展時，其面對到代工及通路市場價格競爭激烈，且加上產品差異性不大的情況下，必須尋找低成本的生產基地以應對後進者的追趕。因此，臺廠在區位選擇上，於 2000 年代初期西進中國設廠取得廉價勞力與土地成本，同時亦在美國設立行銷據點以服務美國的網通市場。隨著 2005 年至 2010 年代初期積極與後進設備廠在 WiMAX 生態系建立的互動基礎上，在 2010 年⁸⁷開始便延續既有技術與客戶，逐步投入電信白牌與解決方案提供之市場。服務電信運營商及系統整合廠的市場特性要求客製化，故臺廠發展出以前所沒有的「就近服務」能力，同時在硬體基礎上闢建軟體能力，目的僅在跳脫價格戰與提升毛利率的表現。在 2018 年中美貿易戰開打之際，臺廠因應地緣政治經濟的影響，逐步建立起全球生產體系以應對不確定的政治因素與市場風險。

本章討論了臺灣網通廠如何學習並建立技術，同時又如何向上升級的過程，然而在討論臺灣網通廠的發展過程，並不能忽略掉公共研發機構作為後進者追趕的影響，故下一章將繼續分析公共研發機構在臺灣網通廠追趕過程中，扮演什麼角色與影響為何。

⁸⁷ 有論者可能會疑惑：為什麼時間切點落於 2010 年代初期？誠如第二章所述，主要基於「行動上網需求的大量成長」，2010 年開始有三個技術面的整合趨勢：(1) 基地台核心網路整合成全 IP 網路化 (All-IP Network)、(2) 終端產品異質網路整合、(3) 有線、無線網通技術整合，目的均指向降低既有基地台資料處理負擔。

第四章、公共研發機構對臺灣網通產業的影響

臺灣網通廠的發跡與技術學習有賴於國內與國際趨勢的推波助瀾。首先從國際趨勢檢視，1990 年代電腦周邊產業的發展、2000 年代無線技術的趨勢、2005 年開始的 WiMAX 與 LTE 競逐 4G 主流標準、2010 年代 IC 與 IT 匯流成 ICT 產業，以及後續幾年蓬勃發展的雲端技術、Open RAN 趨勢、5G 多樣化應用的市場需求，都讓從臺灣網通廠立基於既有硬體製造技術之上，能夠向上升級技術能力與生產關係。再者從國內角度出發，臺灣政府由上而下地干預整體產業政策，透過資金挹注、行政協助、稅賦優惠的方式設置科學園區以及扶持公共研發機構。設置科學園區旨在地理鄰近性下的管理效率、成本共享與產業連結效益加成，而公共研發機構的成立目的，對外透過科技計畫取得國外前沿技術並將技術與知識擴散至國內廠商，對內則與國內廠商進行合作開發，造就自 1970 年代開始蓬勃的臺灣電子產業 (Mathews and Cho, 2000 ; Hsu, 2004)。

關於臺灣網通廠技術學習管道，第三章已經描述、分析了廠商內部如何透過聘僱、研發與實作的過程，以及在廠商外部的不同尺度中，藉由技術授權、購買資本財、產業群聚、全球價值鏈及外資投入方式以取得技術能力並逐步累積之 (陳良治、朱凌毅, 2016)。上一章節未細談的公共研發機構，本章將描述並分析其在臺灣網通廠發展的不同階段中，所扮演的角色與影響為何，並試圖回應既有談論臺灣產業發展之所以成功的「工研院模式」(Noble, 2000) 是否同樣適用於臺灣網通廠的發展。

第一節、公共研發機構在臺灣網通廠代工期的角色與影響

基於引進國外前沿技術、技術開發與技術移轉、扶植國內廠商等為宗旨的公共研發機構，一如於 1990 年代便進入資策會 (III) 工作的受訪者描述「那所以傳統 (意指公共研發機構) 的確是有做相當多的研發跟技轉，協助網通廠去、去產生他做為它產品的技術來源」(III-2, 資策會系統所高階主管, 20211126)。在本研究訪談過程中，主要影響臺灣網通業發展的公共研發機構有三個：工研院、資策會與中科院，並依據公共研發機構的組織特性，分別負責不同的技術業務：

- (1) 工研院專責技術研發、
- (2) 資策會專責軟體開發測試、
- (3) 中科院負責系統工程 (參考表 16)。

表 16 工研院、資策會、中科院之組織定位

公共研發機構	對應機關	定位
工研院 (ITRI)	經濟部	技術研發 (技術)
資策會 (III)	經濟部 ⁸⁸	軟體研發 (軟體)
中科院 (NCSIST)	國防部	系統工程 (產品)

資料來源：本研究自 NCSIST-1 (中科院資通所計畫主持人，20211108) 逐字稿重新製表而成。

表 16 呈現三個公共研發機構不同的定位及其對應的政府機關。在工研院與資策會部份，其主管機關均為經濟部，承接不少政府服務案及科技專案計畫，目的在於以國家之力扶植廠商；中科院主管機關為國防部，早期掌管軍用設備研發及通訊頻譜，隨著 1990 年代電信自由化趨勢及組織改革的呼聲，因此釋出軍用通訊頻譜並逐步移轉給國家通訊傳播委員會 (NCC)，並同步進行軍用設備研發與軍民科技研發。三種截然不同的公共研發機構特性：(1) 工研院鑽研硬體元件與前瞻技術；(2) 資策會專責軟體研發與技術服務；(3) 中科院強調各個不同零組件如何組構成複雜的單一系統，以下將講述三個機構在網通廠代工時期的角色與影響。

一、工研院與資策會：科專計畫扶植臺灣廠商轉型

見證公共研發機構如何影響臺灣網通業的受訪者表示「工研院的目的就是要協助產業、工業製造業等」(CSP-3, 中華電信退休高層, 20210513)，工研院於 1990 年代透過科技專案計畫協助臺灣網通廠取得網路通訊相關技術，舉例如：工研院電通所透過科技專案計畫，以便宜的授權金技轉 Ehternet Multiport Bridge、Ether Switch、Ethernet-to-ATM Switching Hub、ATM IP Edge Hub 等網路通訊技術項目⁸⁹給有意申請技術授權的網通廠。除了工研院電通所藉由科專計畫扶持臺灣網通業發展之外，在當時無線技術 (如：傳輸距離短的 Bluetooth、傳輸距離較長的 Wi-Fi) 尚在發展，還不清楚哪個技術在未來可能勝出的情況下，資策會便嘗試整合技術於產品中，扮演著協助臺灣網通廠發展的角色。關於這段歷史，當時甫進入資策會的系統所高階主管 (20211126) 便以親身經歷描述：

⁸⁸ 在行政院數位發展部成立之前，資策會原主管機關為經濟部。而 2022 年數位發展部成立之後，資策會主管機關改為數位發展部，並聚焦於第三方業務以作為供給方與需求方之間的介接橋梁。

⁸⁹ 該技術隸屬〈通訊電子技術發展第二期五年計畫 (1994-1998)〉下的網路互連技術分項，其技術技轉給以下廠商：(1) 乙太網路多埠橋接器：智邦、友訊、榮電、台達、訊康；(2) 交換式乙太網路集中器：智邦、友訊、榮電、台達、訊康；(3) 乙太網路對非同步傳輸模式交換集線器技術：智邦、友訊、訊康；(4) 非同步傳輸模式網際網路協定邊際集線器：智邦、吉梯



「我進資策會第一份的工作是我們所在的單位（1990 年代末），那時候是做 Wi-Fi 的整合以及 Bluetooth 的整合。那時候有些比較新一點的 Wi-Fi、Bluetooth 跟 ADSL，對你來講、對國內廠商來講都非常新。當然傳統的那些 Ethernet 他們也是在剛開發階段，那也許有些都是從法人機構做相當的研發出去的。那以資策會來講，其實像你現在用的那 ADSL modem 第一代的產品，大概都是資策會的，那時候整合的、所有介面都是用資策會發展的 solution。那時候有些部分的確是照規格做，就有機會賣」

（III-2，資策會系統所高階主管，20211126）

資策會系統所高階主管（20211126）、中華電信退休高層（20210513）兩位受訪者以從業 3、40 餘年的工作經驗，均表示工研院、資策會如何透過合作研發與技術移轉，協助國內網通廠取得關鍵網通技術。這些受訪者的資深工作經驗，證實了 1990 年代的公共研發機構是如何在特定產業領域中，讓後進者得以跨越既有技術障礙以獲得新興技術與知識（Amsden，1989；Hobday，1995）。

回頭檢視網通產業的發展，資策會系統所高階主管（20211126）雖然描述的是 1990 年代甫任職資策會時，其如何參與整合 Wi-Fi、Modem、Bluetooth 等技術的研發計畫，但背後直指的卻是整體網通產業的核心：在產品多樣化的網通領域中，網通廠如何重新組合不同的生產技術以迎合市場面的需求。基於上述的產業核心，不難理解國內網通廠在工研院、資策會協助下，原以生產「傳輸距離短／有線」之網通產品（如：網路卡）等低階網路通訊產品，逐步取得生產其他區域網路（LAN）有線產品（如：集線器、交換器、橋接器等）製造能力，以及「傳輸距離相較長／無線」網通技術（如：Wi-Fi、Bluetooth）等，獲取具有範疇經濟（economies of scope）基礎上的生產能力。透過上述所談論：網通廠與公共研發機構的緊密合作，目的在於：（1）降低對國外廠商的高度依賴、（2）在既有網通產品的產線基礎上開闢產品多樣性、（3）藉由公共研發機構以降低研發成本。

二、 中科院：電信自由化趨勢促使人才擴散

相較於工研院處理硬體研發、資策會處理軟體設計及測試，兩者均對應經

濟部，中科院由於定位為國防科技的研發機構，負責處理各種特製軍事規格的零組件並組裝成軍事產品，於 1980 年代吸納來自臺大、清大、交大等頂尖學府的通訊電子人才以處理系統工程業務。高度掌握軍事設備自主設計與製造、頻譜資源以及臺灣通訊人才的中科院，對於團隊成員有部分來自中科院的 B 網通廠（20220307）則有以下評價：

「在中科院裡面這些技術發展，大部分屬於什麼？要麼就是買不到，買不到的東西有兩種可能，一個是技術太...規格太困難，所以國外不願意做，第二種是不願意賣給我們...他做的東西都是規格很困難的、買不到的、做不到的」

（NC-B-2，B 網通廠創辦人，20220307）

同樣對於上述中科院技術相對於民間而言過於困難的敘述，也可見於以下報導：「由於中科院的技術沒有充分移轉，民間廠商也常常不得其門而入，或因本身技術能力不足及獲利不大的考量，對參與國防工業興趣缺缺」⁹⁰。因此，隨著 1980 年代電信自由化的國際趨勢，加上民間自主發展通訊產業的呼聲中，中科院受限於政府研究預算縮編原因，人才不斷外流民間⁹¹，也使得中科院開始策劃轉型事宜，可見相關報導所述：

「因為實施戒嚴，民間禁止使用或研製無線電通信設備，因此，無線通信技術一直是國內電子資訊產業最弱的一環，中科院是戒嚴時期臺灣唯一研究無線微波技術的地方，國內絕大多數相關技術人才都集中在中科院第三所。工業局二組副主長葛之剛說，國內電信市場開放後，外商蜂擁而來，對臺灣通信業者造成很大競爭壓力，中科院的技術能不能移轉技術給民間企業，關係著國內通信產業存亡」

（丁萬鳴，19970512，《聯合報》23 版）

⁹⁰ 徐瑞希，19910311，《聯合報》11 版。

⁹¹ 相關報導顯見於：「經濟部指出，中科院（NCSIST）有龐大的技術人才與設備，過去數十年曾為軍方研發許多高級軍品。但近年來，由於部分軍品已經不再研發、生產，使得中科院有幾個研發單位面臨『停工』壓力」（宋宗信，19951128，《聯合報》19 版）。

迥異於工研院、資策會如何在 1990 年代扶植臺灣廠商的敘述，中科院吸納臺灣通訊人才投入國防科技、掌握關鍵通訊技術以及頻譜資源等原因，致使民間在無線通訊技術發展上，難以如早已電信自由化的美國趕上市場開放的浪潮。即使如此，1990 年代經費縮編緣故，中科院籌設軍民通用科技發展基金以及投入科技專案計畫，「讓和中科院合作的廠商省下一大筆研發費用，避免設備、人員重複投資」⁹²，得以從此轉型階段見得中科院在 1990 年代隨著政治解嚴、電信自由化趨勢下，褪去其濃厚軍事色彩，逐步釋放出在通訊領域的鑽研成果。隨著 1990 年代末期，行動通訊世代逐步邁向以 CDMA 為 3G 主流通訊技術的過程，三家公共研發機構各自在研發 CDMA 部份，被分配到不同的任務。依參與過 W-CDMA 當時研發計畫的資策會系統所高階主管（20211126）回憶：在投入 W-CDMA 時，工研院負責基地台零組件開發、資策會負責終端手機的通訊協定（protocol）開發，而中科院則參考國外解決方案（solution）進行開發以及在龍潭園區進行測試、認證的工作：

「我第一次接觸到中科院是我們做 3G、W-CDMA 的時候。那時候資策會是負責終端手機的 protocol 開發，工研院負責基站開發，我們在終端部分是中科院協助找了滿多韓國 solution 幫忙做開發。最後我們 reference 到英國一個 solution 開發。那為了開發保證不是抄他的，做了 clean room 的問題，做了那個保證，對因為開發一定要用不同的人，而且保證是不同的一個 page。那時候跟中科院合作，第一階段是在 3G、在終端這邊的合作，那中科院本身對外開發是在桃園龍潭那邊的龍園科技園區，所以他那邊也有測試認證的地方。所以除了開發，也是透過他們測試認證設備來做測試認證」

（III-2，資策會系統所高階主管，20211126）

既有研究多討論工研院、資策會等公共研發機構，如何承接政府指派的任務以協助臺灣電子業發展，而中科院則因其濃厚軍事色彩，目前國內主要文獻側重從管理學角度理解中科院在技術移轉、組織績效、決策評估等作用（蔡渭水、毛禮忠，1999；林國勝、黃志伸、陳貴欽，2013；陳明惠、邱文宏、張家維，2015），甚少從側面或直接性訪談理解中科院在國內產業扮演的角色為何。本研究在搜尋中科院、工研院、資策會所執行的科專計畫、研發計畫時發現：

⁹² 丁萬鳴，19970512，《聯合報》23 版。

中科院除了內部人才創業或被招攬至國內網通廠之外，其研發與國內網通廠並無直接關聯。考究中科院與網通廠無直接關聯的原因在於：中科院定位為系統工程，擅長將不同領域之零組件拼湊為單一完整產品，而網通廠需要的並非是經整合過的產品——而是網通技術。即使如此，中科院在臺灣從電子代工企圖走向電信基礎設施的規劃上，仍舊扮演相當重要的角色：1990 年代中科院是唯一掌握較具規模無線通訊人才與技術的公共研發機構，也因其為整合各個不同零組件的「系統工程」之定位，故在電信市場走向 3G 之際，嘗試處理 W-CDMA 相關解決方案（solution）的研發。相較中科院與網通廠的不直接關聯，工研院與資策會則如文獻理解一般，透過技術研發、技術移轉、成立衍生公司、技術合作開發模式，與網通廠建立緊密連結。

第二節、公共研發機構嘗試投入標準階段

隨著網通市場的發展，臺灣網通廠原先取得的高市占表現在中國市場蓬勃發展及後進廠商基於網通產品標準介面進行生產的挑戰下，利基遭到侵蝕。即使利基遭到侵蝕，但在技術百花齊放的 1990 年代末，整體網路通訊趨勢從有線轉向無線領域之際，公共研發機構執行的科技專案計畫以及 1998 年臺灣政府開始整合式實施的五年期電信國家型科技計畫⁹³，著實讓臺灣網通廠從有線轉向無線領域、取得相關網通技術進行產品線的重新布局。

在 2005 年時任 Intel 創新科技中心林榮松總經理自美國外派至臺灣後，積極走訪臺灣的產官學界，成功促使 M-Taiwan 計畫⁹⁴以 WiMAX 作為無線通訊技術的主幹，也同時讓臺灣成為全球少數與 Intel 簽屬合作備忘錄的政府單位⁹⁵。

⁹³ 陳熾竹，20221022，〈我國大型科研計畫之演進〉，《Research Portal 科技政策觀點》。網址：<https://portal.stpi.narl.org.tw/index?p=article&id=4b1141ea751cdcda01752494c6d60d70>。

⁹⁴ 370 億經費中，70 億為建置無線上網基礎環境及應用服務（如：學校、藝文單位示範區、示範生活圈、娛樂示範應用點、政府單位等等），另 300 億則補助地方政府建置寬頻管道 6000 公里，再轉租給固網、有線電視及行動電話等業者鋪設寬頻線路。該項計畫最終目的在於：透過政府計畫經費的支持，一方面帶動臺灣行動上網的可及性，二方面則是協助臺灣網通廠得以藉國內無線上網市場練兵。

⁹⁵ 相關報導顯見於：「Intel 今（17）日將在英特爾亞太科技論壇（IDF）上，宣布與經濟部簽訂 WiMAX 無線通訊合作備忘錄，顯示 Inter 在台推動 WiMAX 無線通訊基礎建設的決心……Intel 在全球其他地區多半與民間企業簽約，但在臺灣則與政府機關簽約，提供政府必要的技術支持」（曹正芬，20051017，〈推動 WiMAX 今與經部簽備忘錄〉，《經濟日報》C3 版）

⁹⁶ 關於時任 Intel 創新科技中心林榮松如何牽線臺灣與 Intel 的合作，可見《今周刊》林宏文顧問轉引自林榮松的回憶錄：<https://owenlin.pixnet.net/blog/post/31706990>。

同年（2005 年）年底政府提出 WiMAX 加速計畫⁹⁷，目的是希望在產品生命週期「導入期」的 WiMAX，政府能夠藉由加速計畫串接臺灣 IC 設計業與網通產業以繞過國際電信設備廠所掌握的技術與市場，直接擇定新興技術做為網通產業發展的技術之窗（technological windows）⁹⁸。在這樣的趨勢之下，政府以第二期「電信國家型科技計畫」成立跨部會 WiMAX 推動小組，並以法人科技專案方式優先補助公共研發機構，一則透過公共研發的方式，將研發成果技轉給國內廠商以降低國內廠商投入門檻⁹⁹，二則使公共研發機構積極投入新興的技術標準以搶佔市場先機。

關於公共研發機構的角色，原先在 W-CDMA 研發時期是工研院負責基站零組件研發、資策會負責通訊協定（protocol）研發、中科院負責解決方案（solution）研發。隨著臺灣確立投入 WiMAX 之際，三家公共研發機構的角色則有所轉換：工研院投入終端研發、資策會與中科院投入基站研發（III-2，資策會系統所高階主管，20211126）。時任資策會系統所高階主管（20211126）闡述角色轉變之因：「因為他們（指工研院）規模比較大，所以整個計畫是以他們（指工研院）為主，我們（指資策會、中科院）一起在裡面做配合的法人」。

以下將講述工研院、資策會與中科院之間在此階段的差異。

一、工研院：標準提案、基站技術與終端設備研發

當時鑽研基站零組件開發的工研院，在電信國家型科技計畫的支持下，其開發了不少於 WiMAX 上的關鍵技術，如：以 OFDM 技術為基礎，發展物理層（Physical Layer）及媒體存取控制子層（MAC layer）等較強調硬體開發的終端系統；發展 WiMAX 無線通訊系統晶片研發，並促成聯發科發展 WiMAX 基頻

⁹⁷ 該加速計畫上級計畫即為電信國家型科技計畫，其旗下的子計畫包含：IEEE 802.16e 終端晶片、802.16e 基地台及 WiMAX 局端與系統整合等。

⁹⁸ 相關報導顯見於：「我國無線通訊設備在全球市占率雖高，但是切入領域侷限在終端設備等方面，對利潤頗高的手機基地台等無線通訊設備市場，一直找不到著力點。而 WiMAX 仍屬萌芽期，如能提早掌握技術，臺灣廠商有機會切入 WiMAX 的基地台市場，有助產業鏈的完整發展及提高附加價值……種種因素相加，讓行政院科顧組、經濟部、交通部等單位會商後，決定採取『跳躍式的發展方式』，略過國際大廠已捷足先登的技術，而選擇還處於萌芽期的 WiMAX，作為臺灣發展無線寬頻通訊產業的重要技術選項」

（黃玉珍，20051018，〈跳躍發展 搶佔先機〉，《經濟日報》C5 版）。

⁹⁹ 相關報導顯見於：「行政院科技顧問組副執行秘書蔡志宏表示，WiMAX 推動小組的策略，是以申請法人科專的方式，讓政府的資源先補助中科院、工研院、資策會等法人機構，成功後再技轉給業界」。（黃玉珍，20050811，〈推動 WiMAX 增撥 3 億元補助研發〉，《經濟日報》A6 版）。

晶片；發展局端基地台技術，和具有資本發展的鴻海精密、東信電訊、明泰公司進行技術移轉與合作開發¹⁰⁰。

除了進行 WiMAX 終端與基地台硬體層面的關鍵技術研發之外，工研院同時亦肩負著培育臺灣人才積極參與標準組織的使命。據鄭延年博士（2014）所述：「以往臺灣是以標準觀察者的身份加入去追蹤標準發展，對於 IEEE 802.16j，臺灣是以標準參與者的角色制定相關內容」¹⁰¹¹⁰²（頁 61）。因此，當時以第二期電信國家型計畫（2004-2008）的培力以及工研院所肩負的責任之下，培育不少人才於 IEEE 802.16 及 WiMAX Forum 上擔任重要職務¹⁰³。然而為什麼需要在兩種標準會議上均派出人選積極參與標準制定，原因在於：關於資料的傳輸方式是在 IEEE 802.16 中訂定，而在 WiMAX Forum 上則是選擇 IEEE 802.16 通過的傳輸技術，制定好通訊協定、測試驗證方法、產品輪廓並負責向市場行銷¹⁰⁴（鄭延年，2014：55；工研院資通所高階主管，20210914）。

無論是 WiMAX 終端技術開發、初嘗局端設備的基礎研發抑或是積極參與 IEEE 802.16 及 WiMAX Forum 的標準制定會議，均讓臺灣當時得以申請成立兩座 WiMAX Forum 所認證的實驗室，加速廠商產品投入市場的時間。同時，臺灣積極發展 WiMAX 的野心以及工研院所付出的努力，促使多家國際電信設備廠與臺廠及公共研發機構合作開發解決方案、互通性測試¹⁰⁵，以及力促多家外商採購相關設備。以上資料再再顯示「工研院模式」作為介接後進者與前沿技術的橋梁，國家層級如何嘗試在 WiMAX 技術標準出現之際，複製過去為人稱頌的工研院模式以盡可能在 WiMAX 階段帶動國內於通訊領域的發展。

¹⁰⁰ 資料來源：電信國家型科技計畫第二期（V）。

¹⁰¹ 鄭延年，2014，《殘酷的 4G：寬頻網路背後的戰爭》。新北市：零極限文化。

¹⁰² 對於標準參與一事，工研院資通所高階主管（20210914）便表示事實上在 IEEE 802.11 時，其就代表工研院參與標準，只是全球當時僅只約莫 20 人左右參與。故鄭延年博士表示的內容，更多是象徵臺灣有較多人才參與標準的趨勢。

¹⁰³ 舉例如：鄭延修博士、謝慶堂博士、陶明宏博士於 IEEE 802.16 技術標準制定中擔任要職；陳詠翰博士、丁邦安博士、林寶樹博士、吳誠文博士、陳芳祝博士、謝慶堂博士於 WiMAX Forum 同樣亦擔任特定議題主席或董事會成員。

資料來源：網路通訊國際標準分析及參與制定計畫網，網址：<https://bsmi-std.itri.org.tw/stdtalent>。

¹⁰⁴ 同理可證何以由 Nokia、Ericsson 等國際電信設備廠所組成的 3GPP 能夠持續把握話語權，原因在於其已經在 IEEE 布局有利其產品開發的技術，並在 3GPP 主導技術傳輸方式。誠如中華電信退休高層（20210513）所述：「一個標準，十種解讀方式」，因此不難理解何以國內公共研發機構需要在 IEEE、WiMAX Forum 上積極參與與標準制定工作與提案。

¹⁰⁵ 國際電信設備廠有：Alcatel-Lucent、Motorola、Nokia-Siemens Networks、Sprint-Nextel、Starent 等。資料來源：電信國家型科技計畫第二期（V）。

二、資策會：標準制定、通訊協定研發與投入測試驗證工作

關於同樣肩負執行基地台研發的資策會，其嘗試理解從技術標準到產業規格制定的過程，並累積其國際制定標準的經驗及遊戲規則。資策會除了起初投入 IEEE 802.16e 的討論之外，2005、2006 年也著手參與 IEEE 802.16 之會議，討論「如何用最小的製造、佈署成本，最大化基地台的運作效率與涵蓋範圍」¹⁰⁶。為了回應這個問題，隨著 IEEE 802.16e 之後衍伸的 IEEE 802.16j，其主要討論如何透過小型基地台以配合 WiMAX 大基地台的運作，用以降低運營商的營運成本¹⁰⁷。對於此階段投入 IEEE 802.16j 的經驗，資策會系統所高階主管（20211126）便提出了如何在場上參與標準的同時，也與國際大廠合作的經歷：

「資策會在 05 年、06 年開始參加，我們那時候就跟 Nortel 有做了一些合作，想希望藉由 802.16j 這一在 relay 方面跟他做一個 prototype 的合作。那時候我們在 07、08 年於 WIMAX Forum 成立了 study group，想要變成是一個 WIMAX Forum 發展計畫中的一部分」

（III-2，資策會系統所高階主管，20211126）

從技術標準組織 IEEE 再到產業標準組織 WiMAX Forum，資策會圖的不僅僅是掌握標準制定過程中的眉角，同時也是在會議過程中尋找合適的供應鏈夥伴並與之合作。然而作為一個肩負國家期待的法人機構，資策會並不甘於只了解標準制定過程與找夥伴合作那樣地「快速跟隨」，嘗試將研發技術移轉給國內廠商而已（王振寰，2010）。資策會同工研院一樣，企圖在「快速跟隨」的過程中，佈局更多潛在專利於標準提案中，從而提升臺灣廠商與國際大廠斡旋授權金的籌碼¹⁰⁸，希冀在此次押寶標準並佈局專利的同時，能夠將臺灣產業從快速

¹⁰⁶ 謝智強，20080114，〈提升 WiMAX 效益 802.16j MR 標準脫穎而出〉，《新通訊》。取用日期：2021 年 10 月 23 日。

取用網址：<https://www.2cm.com.tw/2cm/zh-tw/tech/573DBCE2CA6547E2885A724BCC71E8B0>。

¹⁰⁷ 關於為什麼此時期出現小型基地台的雛型，在於當年雖然 WiMAX 在涵蓋範圍、速率表現上優於 3G，有望侵蝕掉既有倚賴語音通訊的電信市場，然而 WiMAX 在進入室內六公尺後的訊號即大幅衰減，致使 WiMAX 基地台需要依靠 Relay（小基台）或 Repeater（中繼器）解決市內收訊不佳的問題（林一平，2009，《閃文集 II：網路通訊國家型科技計畫簡訊專欄》，頁 97）。

¹⁰⁸ 為何法人機構專利佈局越多，臺灣廠商越有籌碼與國際大廠斡旋？其原因在於：若該項專利

追隨角色轉向至產業帶領者（王振寰，2010）。因此，在作為中繼站¹⁰⁹（Relay）的 IEEE 802.16j 技術標準提案通過數中，資策會僅次於 Nortel 之提案數而名列世界第二¹¹⁰。緊接著資策會從 IEEE 802.16j 向國外延攬的人才羅耿介，便在被視為準 4G 技術標準的 IEEE 802.16m 會議中，獲得推舉成為共同主席¹¹¹。關於資策會所網羅的人才羅耿介「成為主席」一事，表面上看似要對各個提案保持中立，但實際上卻有很大的議事主導權，也因此「主席」一職便是各個參與者極力想要競爭的職位。回憶起當時羅耿介推選為共同主席之際，資策會系統所高階主管（20211126）做了更詳細的利弊分析：

「取得主席可以主導議題的進度。主席可以善用他的主導權，他不能 bias 太多，但他還是可以優先處理哪個提案，或是技術性地把提案放得晚一點，所以你的技術優勢或技術劣勢上，可以有些時間差異了解。……以前我們剛開始參加的時候，我們覺得有一些事情沒準備好，當然就是當下說我們反對這個提案，下次會議再談這個提案就中間兩個月時間，我們就要拼了命把這技術議題提出我們的想法。……可以做主席的話一定背後要有很大的團隊 support，因為你要去分析每個廠商在各方面的提案內容跟可能協調」

（III-2，資策會系統所高階主管，20211126）

從起初只參與標準會議，了解標準制定以分析標準如何對未來研發方向產生影響的快速追隨者角色，直到 WiMAX 時期之始，資策會同工研院般大量在標準會議上盡可能提案以佈局專利。同前面所述，佈局專利有利於臺灣廠商與國際大廠談判與協商，然而作為企圖於 WiMAX 領域佔有一席之地的臺灣，並不只甘於在國際會議上被動等待議程安排，可能是：（1）標準會議的檯面下斡旋並嘗試共同提案，另一種則是（2）在國際會議上積極搶進主席之位並掌握議

是發展特定產品的必要專利的話，國際大廠即不得不向專利擁有者繳交專利授權金，但同時臺灣廠商在製造產品時，同樣也繞不過國際大廠的專利佈局。因此在這種情況下，兩方便會透過交互授權的方式，降低彼此授權金之餘，也能提早因應該項專利進行產品線的佈局。

¹⁰⁹ 「中繼站」的意思，就是小型基地台如何彌補覆蓋死角的功能。

¹¹⁰ 中央社，20091105，〈資策會積極參與 WiMAX 國際標準制定 協助業者搶得市場先機〉，《中央社》。取用日期：2021年10月23日。

取用網址：http://ncusec.ncu.edu.tw/news/press_content.php?P_ID=3932。

¹¹¹ 其他共同主席為：Intel 與 Nokia-Siemens 之代表，總共三位主席（邱思婕，20081204，〈資策會任 16m 大會主席〉，《經濟日報》D7版）

程安排。除了研發與參與標準會議之外，資策會也偕同臺灣網通廠向各國有意佈建 WiMAX 基礎設施的國家及運營商搶進 WiMAX 設備訂單或共同簽署合作契約，舉例如：沙烏地阿拉伯 WiMAX 運營商 Atheeb 即將開台，資策會便與當地資訊服務業者合作並搶下設備合約¹¹²；資策會與馬來西亞官方、業界合作，建立技術合作關係以為將來偕臺灣網通廠進軍大馬市場鋪路。

最後，回歸時任資策會網多所所長何寶中對於資策會在投入 WiMAX 所扮演的角色說明：「在 WiMAX 終端產品、基地台與核心網路三者之間，要有規範與測試標準，扮演串接互通的測試依據。而資策會就是扮演執行臺灣 WiMAX 產品與系統互通互聯測試 (IOT) 的角色」¹¹³。經濟部負責說服各家大廠來台設立 WiMAX 產品測試中心，轄下的資策會則於此階段作為國際大廠與國內廠商間的橋梁，除了確保國內廠商與國際大廠的產品可以互通互連之外，最重要的是嘗試縮短廠商測試驗證時間，以爭取尚未有太多產品問世前、高額利益的成長期。而這些積極合作的最終目的，則是在國內廠商及後進電信設備廠共同合作的基礎上，向其他仍在觀望風向的各國運營商說服 WiMAX 已漸具成熟產品，並在速率、覆蓋範圍與效能表現上優於既有電信設備。

原先資策會的任務如上段落所述，爾後卻在中科院退出 WiMAX 計畫之列後，原先的基地台研發的部份工作便由資策會扛下研發基地台之責任。對於當時扛責的資策會系統所高階主管 (20211126)，便回憶起當時資策會是如何處理懸缺的基地台研發工作：

「那時候我們就找了物理層晶片的 solution，好像是一開始先找了一家加拿大公司叫 wavesat (提出 802.16d、802.16e WIMAX 晶片解決方案者)。那最早我們用他的 solution 去兜我們的 protocol 做，後來我們又用英國 picoChip solution 做了 WiMAX 基地台的開發。這部分我們那時候做滿多，還滿為那次開發同仁肯定的，他們做了滿多開發，從無到有去把這事情做出來」

(III-2，資策會系統所高階主管，20211126)。

資策會原先在基地台研發方面處理軟體要求較多的通訊協定，直到中科院

¹¹² 邱思婕、黃晶琳，20080906，〈正文智邦 可望獲中東訂單〉，《經濟日報》C4 版。

¹¹³ 李正宗，20081218，〈創新應用服務 資策會動資通訊產業發展〉，《經濟日報》A19 版。

退出整個科技專案計畫後，便開始肩負整合性要求較高的 WiMAX 解決方案，嘗試處理其較不擅長之研發任務。以下將敘明為何中科院退出科專計畫，致使資策會需扛下解決方案開發事宜。



三、中科院：嘗試系統整合基站與淡出 WiMAX 研發之列

由於中科院定位屬於負責系統工程的公共研發機構，因此較不著墨於研發關鍵零組件，而是傾向於找尋合適的解決方案，並基於所尋找的解決方案進行開發。對於中科院是否在 WiMAX 時期嘗試取得解決方案並拼裝基地台之事，資策會系統所高階主管（20211126）表示須回到中科院自身的地位而論：

「傳統在國防發展上，很多事情他們受的訓練就是找各個不同的 solution 去訂好合理的規格，去開出規格、整合起來。因為他們以國防的角度看，很多事情你不可能全部都自己發展，所以他們的習慣就是用系統工程的角度去看這事情，這的確有滿多人是有這個 know-how。但是在基站這邊好像沒有，因為基站這邊他要他們開發，所以後來這整個事情就變成好像沒了，他們習慣是找 solution 再去弄」

（III-2，資策會系統所高階主管，20211126）。

既然中科院定位為系統工程者，且其對應的主管機關為國防部，其公共研發機構的特性就如同工研院資通所高階主管（20211130）所述「中科院就是有很明確的需求，而且他要做到可以馬上用，就是像是商品化過程的廠商階段，跟研發階段不太一樣」。也因此，工研院、資策會投入科專計畫研發，後續成果是否有效益還難以論斷，但中科院投入科專計畫，則必須有明確的商業用途與產品定位才算成功¹¹⁴。在 WiMAX 時期，中科院原應負責與基地台有關的天線、射頻等技術¹¹⁵，然而如中科院資通所計畫主持人（20211108）說明：由於 1990 年代開

¹¹⁴ 關於中科院於科專計畫的定位上，研究者在拜訪中科院時，當時受訪者帶著我參觀中科院歷年來的研發成果。在與民間合作開發產品部分，基本上誠如段落所述，以產品的實用性為主，均列出其如何將自身的技術與民間廠商進行合作，最終兜出一項產品。而「兜出一項實用產品」，則與工研院、資策會在科專計畫上強調技術前瞻性大相逕庭。

¹¹⁵ 相同敘述也可見於資策會系統所高階主管（20211126）的說法：「那時候物理層本來...中科院也說要負責物理層跟 RF 的部分，那後來好像這方面隨著中科院...那時候不知道為什麼，好

始的人才逸散至民間、強調實用性的組織特性、組織內部僵化與福利縮減、逐步縮編的政府經費等因素，致使中科院沒有足夠的團隊得以承接科專計畫以繼續研發基地台。除了組織內部與整體環境趨勢之外，原先在中科院資通所負責 WiMAX 計畫研發的團隊，在民間企業大力招手的情況下，該計畫負責人便偕同團隊成員一同進入該家網通廠，使得後繼並無人得以繼續 WiMAX 研發，轉由資策會扛下基地台研發、設計的責任¹¹⁶。

有論者可能會疑問，何以資策會及工研院均能積極參加標準制定會議的同時，也能協助臺灣網通廠盡早佈局 WiMAX 相關技術，但中科院在此階段卻看不出有積極參與標準的痕跡？實際上中科院資通所計畫主持人（20211108）即表述：中科院屬於軍事敏感機關，而各國的通訊技術早已在 1990 年代漸漸隨著電信自由化的呼聲去軍事化。有鑑於此，當一個軍事敏感機關嘗試在標準制定會議上提案時，對於其他與會者而言並不會讓明面上的軍事色彩干預整個技術發展的進程。也因此，無論是組織內部問題、電信自由化趨勢、標準制定抑或是基地台研發，中科院漸漸淡出國家優先補助以扶持產業的法人機構之列，由工研院、資策會扛下研發之責。

第三節、公共研發機構投入電信基礎設施階段

隨著電信國家型科技計畫（1998-2008）結案並轉型為網路通訊國家型科技計畫（2009-2013），既有參與 IEEE 802.16 標準制定投入與 WiMAX Forum 仍持續推進。好景不常的是，WiMAX 原被視為有機會爭奪 4G 主流標準的技術，卻在最後輸給了由傳統電信設備廠等廠商組成 3GPP 所主導的 LTE 技術。

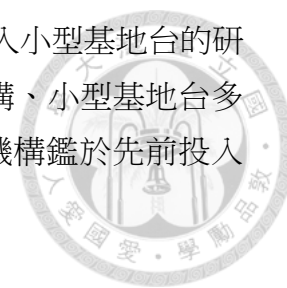
即使明面上看似角逐 WiMAX 成為主流通訊標準之戰失利，但是臺灣大力投入 WiMAX，仍舊提供公共研發機構及臺灣廠商寶貴經驗。從公共研發機構出發，其了解整體標準制定並非表面上地技術中立，而是背後有個各家參與者的利益盤算與商業策略邏輯在運作¹¹⁷；在臺灣廠商部份，則是趁著數據傳輸踏

像就那個時間點就沒有再繼續再參加經濟部的法人科專計畫，在通訊這一塊就退出了」。

¹¹⁶ 此段落為田野筆記重點摘錄內容。為何沒有逐字稿之因，在於我當日要進入中科院時，接待我的研究員表示中科院為軍事敏感機關，不得帶任何通訊、錄音錄影設備入內，必須全部放在警衛室置物櫃並換取通行證始可進入。於是在結束訪談後，我旋即在路上記錄下當時的訪談內容，作為後續引述內容。

¹¹⁷ 關於這項「瞭解」，實際上內容可以參考鄭延年（2014）所著之書《殘酷的 4G：寬頻網路背後的戰爭》。

入通訊領域、全 IP 網路成為未來通訊產業主流之際，開始投入小型基地台的研發，以作為跨入電信基礎設施市場的敲門磚。隨著基地台解構、小型基地台多樣化種類、5G 頻段的兩強相爭的種種趨勢之下，公共研發機構鑑於先前投入 WiMAX 研發經驗，開始嘗試新的發展路徑。



一、工研院：基地台技術儲備與猜標準

工研院除了持續投入標準制定會議，掌握最新的標準趨勢之外，其投入資源時所需要考量的核心重點在於：「可能必須找一個臺灣產業界用要需求，那業界又不太擅長的部份」（ITRI-1，工研院資通所高階主管，20210914）。也因此工研院在整體考量之下，工研院資通所高階主管（20210914）說明當初為何開始嘗試投入小型基地台這類電信基礎設施市場門檻較低的產品研發：

「從一個技術 barrier entry 比較低的情況下，我們切進去小型基台是比較合理的，因為你必須要有一個比較沒那麼難做的產品，barrier entry 沒有那麼高的產品，去想辦法把一個團隊建立起來，做所謂的技術儲備。我們在十年前開始選定的小型基地台...，第一個比較像樣的產品其實就是 LTE 的基地台，我們大概花了三、四年的時間，就是把 LTE 的小型基地台做了技術儲備。... 當時我們在選擇技術的過程中，因為工研院的技術儲備、技術開發不可能選一個很簡單的東西...，所以我們會選擇一個難度比較高的。那難度比較高的，後來我們決定是往 infrastructure 開始做。那 infrastructure 產品裡面，我們選最好做的就是叫小基站」

（ITRI-1，工研院資通所高階主管，20210914）

對於工研院跳入小型基地台研發之事，雖然可以作為整體工研院發展儲備技術的圖像以因應未來潛在市場需求，但其實當時工研院遇到「賣不出去」的市場難處。考究其難處，一則在於當時臺灣網通廠已能在市場上取得解決方案生產小型基地台，二則是當時小型基地台以室內市場為主，目前既有室內無線傳輸產品已有價格較低廉的 Wi-Fi 競爭。因此，小型基地台在 2010 年代初期並沒有太強的市場基礎，「賣不出去」的結果亦在工研院的推估結果裡：



「我們知道電信網路需要錢，那你到了室內也許有 free Wi-Fi，我就用 free Wi-Fi 或者是家裡的 Wi-Fi。所以基本上來講，在 indoor 市場裡面，小型基地台就必須要講清楚它跟傳統 Wi-Fi 差異化做到什麼地方」

(ITRI-1，工研院資通所高階主管，20210914)

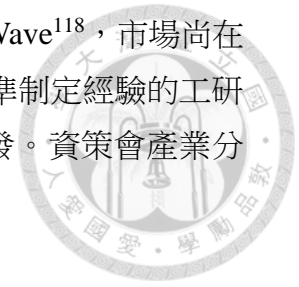
小型基地台看似當時沒有任何發展機會，但在基地台解構趨勢以及 5G 多樣化應用趨勢下，Open RAN 提供了工研院更多著力點以抓住潛在市場機會扶植國內廠商。針對第二章第二節提到的 Open RAN，其因應著市場端的需求而有更高度客製化的拆分方式與解決方案。在工研院考究成本、效能與趨勢之下，決議投入得以省下備份與營運成本的 split 7.2 及效能表現較好的 split 2：

「我們目前大概就是 split 2 跟 split 7.2。因為把基地台拆分過程中，在某地方賺到，一定在某地方丟掉。以前整機（即一體化基地台）在一起的時候沒有前傳，那現在要把 BBU 往後送到 edge 端做，多出一個前傳。現在看起來前傳成本還可以接受，而且整體效能不會掉太多，我們評估就是 7.2。所以最終就是：前傳成本再加硬體成本合起來，就可以達到 Cloud-RAN 的功能，又可以達到跟 D-RAN 成本沒有差太多，這是目前解決方案之一。第二點就是整體式基地台 split 2，那個切點切在 PDCP。你可以看到 PDCP 後面的 RLC，那塊就是從天線、射頻一路到 RLC，通通被一個單晶片包掉了。阿這樣的方案，現在目前看起來是出單晶片的公司比較有興趣去推這個系統，像 Qualcomm 等很多公司可能對這個就有興趣：我前面做一顆晶片之後，有一些公司可能就用晶片來兜系統。但這個一體式，很像回到 D-RAN」

(ITRI-1，工研院資通所高階主管，20210914)。

對於工研院何以投入 split 7.2 及 split 2 之因，除了前面所談到的成本、效能與市場趨勢外，同時也在鑽研小型基地台開發的資策會系統所高階主管（20211126）便述明工研院考量有其技術延續性：「他們以前本身有做 FAPI，那因為他物理層（即硬體部份）掌握得多，所以他們切在 option 7 其實合理，因為那邊都是物理層要做處理」。除了在 Open RAN 趨勢下判斷拆分方式（split option）之

外，由於 5G 在 2010 年代中後期出現兩股趨勢：sub-6 及 mmWave¹¹⁸，市場尚在判斷哪個頻段會優先商業化之際，汲取先前參與 WiMAX 標準制定經驗的工研院，此時要做的是「拔草測風向」並提前布局相關產品的研發。資策會產業分析師（20210318）觀察當時的情況以及後續結果：



「你說 micro 的基站，他（指工研院）決定了這個物件在這個圖像裡面的時候，其實下面的技術是還沒有確定的。所以在工研院跟資策會後來沒有落地的原因是因為，3GPP 跟 5G 的這一些 alliance，他其實就已經決定了很多 standard。但那時候為什麼說工研院跟資策會在做，簡單講他就是「猜」——我今天猜標準猜對了，我就起來了，那很可惜後來 mmWave 沒有猜到」

（III-1，資策會 MIC 資深產業分析師，20210318）。

關於「猜標準」乃鑑於工研院等公共研發機構體認到先前標準制定的經驗，容易受到大國與大廠的市場決策左右，因此對於現在的公共研發機構而言，目的不在於執著標準提案，而是在於精準判斷市場趨勢以早期投入研發。

二、資策會：基地台研發與測試驗證

不同工研院擅長研發、生產硬體，資策會多著重在開發軟體，因此在面對到基地台解構趨勢下，資策會便以其本身的研發基礎，投入不同的拆分選項（split option）研發。資策會系統所高階主管（20211126）表述其投入 split option 2 及外圍管理面的開發：

「我們做軟體為主，也會想做 option 2，因為我們強項不在射頻。射頻如果廠商有做射頻、物理層的話，那我們也可以一起整合。我們本來就打算在 option 2 往下做，我們也做外圍 RIC 的管理，這方面都有做，只是沒有再針

¹¹⁸ Sub-6 之頻率範圍為 450MHz 至 6GHz 之間，其產業技術成熟、傳輸範圍廣，可從既有 4G 技術延續發展；mmWave 為毫米波，其頻率範圍為 24GHz 至 52GHz 之間，其技術尚在發展、傳輸範圍相較 Sub-6 而言較短、穿透力弱，而這亦是大家討論為何小型基地台在 5G 會大量成長、需要密集部署之因。

對 option 7 發展，那部分我們沒辦法參加，只能 leverage 合作廠商做的事情」

(III-1, 資策會系統所高階主管, 20211126)。



資策會不僅同時投入基地台軟體面的開發，其也必須協助測試整體網路拓樸 (typology) 的設計，確保基站與基站之間不會互相干擾，並能有效覆蓋住通訊網路使用人口。因此誠如資策會產業分析師 (20210318) 所述：

「我們其實大部分是...CU 問題解不了，但是解的是 DU 的問題，也就是我們做 typology 設計。比如說蜂巢網路的格子怎麼劃以及密度是什麼，其實需要測試，那它其實就會被分到一些研發資源去做測試，就測試距離、波長等等……其實最適合的是 small cell，然後我們就會把這個技術移轉給廠商去做量產。...所以資策會較多是在軟體平台或是 typology 等等」

(III-1, 資策會 MIC 產業分析師, 20210318)。

資策會產業分析師 (20210318) 指出資策會與工研院在投入基地台相關技術研發時的分工：前者處理軟體與測試認證，後者則專精於硬體開發與性能優化工作。然而關於資策會技術移轉給廠商的技術，廠商是否會依該項解決方案做出相應的產品設計，以資策會系統所高階主管 (20211126) 的觀察而言，答案在 4G 時是否定的，但在邁向 5G 且市場尚未有太多解決方案的情況下則未必：

「我們當然會接觸臺灣廠商是不是願意用臺灣發展的。有些廠商會用，但像 4G 比較沒機會，4G 那時候我們跟工研院從 4G 都有做 LTE 的部分。那雖然有些部分也給一些網通廠技術，但基本上它也只做 reference，並沒有用這個做 solution、做產品」

(III-2, 資策會系統所高階主管, 20211126)

何以公共研發機構能讓廠商在 5G 市場發展初期嘗試使用技轉而來的解決方案，關鍵誠如前面工研院段落所描寫的：在市場還沒有太多晶片之解決方案

的情況下，較早參與標準、投入研發並產出實際成果，得以提供廠商商品化的參考。故而像資策會系統所高階主管（20211126）所述的內容一樣：



「因為大家越來越早參加這些協會、標準組織，所以很多的技術都還沒有相關的產品出來前，那你只能說透過管道讓更多的臺灣廠商先知道有哪些發展機會，這是我們目前能做的事情。那當然我們也會同步做技術研發，也希望這些研發是他們需要的。像我們可能是做 5G 比方做那個低時延、高可靠相關的基站技術，這方面我們目前在跟信曜的基站和仁寶合作，我們也希望對廠商有幫助。當然受限於我們規模跟人力，我們不可能整個從頭做到尾，只能是基於信曜的技術去加持一些 5G 可能後面會用到的技術範疇」

（III-2，資策會系統所高階主管，20211126）

先前參與 WiMAX 標準制定的經驗，雖然後續成果不盡理想，也拖延到公共研發機構投入 4G LTE 的期程，但在 2010 年代中後期開始出現的 Open RAN 與 5G 多樣化應用趨勢，致使提早布局相關技術的公共研發機構得以發揮作用，青國家資源與人才之力，協助廠商發展基地台相關技術。因此可以這麼說，WiMAX 的失敗經驗未必是失敗的，反而更讓作為電信領域後進者的臺灣理解到：（1）提早參與的重要性，以讓臺灣廠商得以迅速投入研發、生產，以及（2）在大國與先行者競逐技術標準之際，臺灣作為夾縫中求生存、求突破的後進者，需要做的便是判斷趨勢並伺機而動。

第四節、本章結論

公共研發機構在後進追趕中的影響，本研究分成三個時期：

（1）1990 年代到 2000 年代初期：在臺灣網通廠未具足夠技術的情況下，公共研發機構積極介入網通技術並技轉、合作。

（2）2000 年代中期至 2010 年代初期：臺灣網通廠已具一定規模，公共研發機構目的是透過參與標準制定以從「快速跟隨」轉到「技術領先」。

（3）2010 年代初期至今：臺灣網通廠逐步跳脫代工思維，公共研發機構

目的在於搶下更為前瞻之技術創新。

公共研發機構主要經歷的三個時期，對應的均是臺灣網通廠的不同發展階段：代工、標準投入乃至於投入電信市場階段。起初在代工階段時，公共研發機構可以憑藉其自身國家扶植的經費支持，透過研發技轉方式，成為臺灣網通廠的技術研發的主要來源之一。接著進到標準制定時期，公共研發機構積極在國際標準會議上培力相關標準投入的人才，同時也透過研發，帶給臺廠基地台相關技術；最後在臺廠投入電信市場階段，公共研發機構此時的任務乃為投入更為前瞻的技術研發，目的是「預先投資」以潛在降低臺廠的研發經費。因此可以說，不同階段的公共研發機構，均對臺廠後進追趕過程中，扮演不同的正向影響角色。

第五章、結論與建議



本研究主要回應一個問題意識：作為後進者的臺灣網通廠，其如何從網路通訊產業跨足電信產業。在這樣的問題意識下，又分成兩個研究發問：(1) 後進者如何建立及升級其技術能力？他們又如何抓住擴大市場的機會之窗？(2) 公共研發機構在臺灣網通廠進入電信產業的過程中扮演了什麼角色，以及對這個過程產生了什麼影響？

第一節、研究結論與發現

一、技術積累與範疇經濟是臺廠從網通跨入電信的重要因素

從市場特性回頭檢視，有助於我們理解臺廠如何建立、升級技術以及抓住機會之窗（參考表 17）。

在臺灣網通廠起初發展時，其面對到代工及通路市場價格競爭激烈，且加上產品差異性不大的情況下，必須尋找低成本的生產基地以應對後進者的追趕，因此臺廠分別在區位、生產管理與生產上，展現出不同的生存策略。首先，其透過西進中國設廠以取得當地廉價土地與勞動成本，同時亦享有來自新竹與臺商在中國之產業群聚的支持；再者，其透過地理鄰近性的優勢，得以打聽競爭對手的材料來源，以及透過垂直產業在地理上的緊密連結以執行「上游漲價就換廠商」的免洗筷策略；第三，精熟製程、提高良率是作為代工廠維生的首要之務，唯有透過這種方式，才能拉攏住客戶、降低單位生產成本。

隨著 2005 年至 2010 年代初期積極與後進設備廠在 WiMAX 生態系建立的互動基礎上，在 2010 年¹¹⁹開始便延續既有技術的研發與合作客戶的關係，逐步投入電信白牌與解決方案提供之市場。電信白牌與專網市場的特性是：產品差異性高、客製化服務以及毛利優於代工／通路市場，為了回應市場本身的要求，臺廠在既有技術能力的基礎，分別在區位、生產管理與生產上發展出以前所沒有的能力。首先，臺廠因應電信客戶要求以及動盪的地緣政治經濟，開始南向

¹¹⁹ 有論者可能會疑惑：為什麼時間切點落於 2010 年代初期？誠如第二章所述，主要基於「行動上網需求的大量成長」，2010 年開始有三個技術面的整合趨勢：(1) 基地台核心網路整合成全 IP 網路化 (All-IP Network)、(2) 終端產品異質網路整合、(3) 有線、無線網通技術整合，目的均指向降低既有基地台資料處理負擔。

建立起全球生產體系，同時亦在電信客戶所在之處設立「就近服務」的維運據點；再者，臺廠增設產品經理以提前 18 個月佈局產線，同時亦聘僱本地業務處理電信客戶所在國家的行銷；第三，臺廠具備便宜、彈性的優勢，其抓到白牌與專網市場，意欲著其必須滿足電信客戶、系統整合廠的要求，因此臺廠開始在既有多樣化產品組合上提供相較設備廠而言，便宜的白牌設備以及具備軟硬體完整解決方案。

表 17 臺灣網通廠業務：「代工／通路」vs.「電信白牌／解決方案」

市場類型	代工／通路（網通）	電信白牌／解決方案（電信）
時間	1990 年代至 2010 年代初期	2010 年代開始至今
市場特性	價格競爭、產品差異性不大	客製化服務、產品差異性高
主要客戶	電信設備廠、消費者	電信運營商、系統整合廠
成本要求	高：以求在網通市場上取得產品價格差異	較高：提供相較設備廠而言較便宜的白牌設備
毛利率	低	高
生產類型	範疇經濟生產模式	
設廠思維	低成本：西進中國	低成本與政治因素：南進東南亞（越、菲等）或河流投資
行銷據點	以美國為主	就近提供客戶維運服務
生產要求	取得晶片、精熟製程以提供產品內系統整合或生產產品	取得晶片、精熟製程外，尚須具備多種網通技術整合能力、軟硬體整合能力以提供客製化服務
生產管理	<ul style="list-style-type: none"> • 降低成本：探聽材料來源以及免洗筷策略 • 聘僱本地業務：目的是以本地人開拓當地市場 • 成立跨境生產體系：中國（製造）、臺灣（研發） 	<ul style="list-style-type: none"> • 降低成本策略 • 聘僱本地業務 • 成立全球生產體系：中國（高階製造）、臺灣（研發）、第三基地（製造） • 增設產品經理：在市場未明確時，先於 18 個月前研發、投產

資料來源：本研究整理。

二、 公共研發機構因應臺廠的不同階段而有不同的執行策略

以每隔十年的行動通訊世代作為時間區塊，有助於我們理解公共研發機構在臺廠不同階段時，其如何協助臺廠進行追趕（參考表 18）。

首先在臺廠還在生產有線網通產品時，其已經面對到來自其他後進者逐步跳入有線網通領域的挑戰。在臺廠的利潤遭到侵蝕的情況下，公共研發機構（工研院、資策會）發揮其功用，協助臺廠逐漸從低階向上升級至中階有線網通產品，以及協助臺廠跨入無線網通領域。在此同時，中科院雖然沒有直接協助臺廠轉型、升級，但由於其受到來自政府的經費縮編與電信自由化的趨勢，中科院逐步釋放出既有的技術人才至民間，間接使臺廠獲益。除了務實處理臺廠所需要的技術，三間公共研發機構亦有來自政府任務的執行責任，個別跳入基地臺硬體（工研院）、軟體（資策會）及整合（中科院）的任務。此時相較於上段落描述的務實取向，三間公共研發機構分別投入技術與資本門檻高的基地台研發，目的在於讓台灣具有一家大型設備廠的存在。

隨著臺廠逐步站穩代工與通路市場，其已經具備精熟製程的能力，公共研發機構在 WiMAX 階段的任務便是讓臺廠在既有技術能力基礎上，擴大其市佔率。援此，公共研發機構除了承繼 W-CDMA 時期的基地台研發量能，亦積極參與國際標準制定會議，目的在於擅長終端產品的臺廠能與國際設備廠更為緊密的互動，搶下 WiMAX 終端市場剛起步的甜頭。中科院起初雖然負責研發如何整合基地台，但最後受限於不可逆的組織與國際趨勢，逐步淡出 WiMAX 研發之列。

雖然 WiMAX 最終並沒有起飛，但對於公共研發機構而言，其培訓了不少標準參與的人才，對於臺廠而言則是能承繼既有技術與合作以延續到 4G LTE 的產品研發。2010 年代初期開始，已經具備深厚生產能力的臺廠，以其範疇經濟模式開始抓住各個逐漸浮現的市場趨勢，此時公共研發機構的任務並不在於如何讓臺廠學到技術——即使公共研發機構的其中一項任務是技術移轉，而是轉向提前佈局更為高深的技術。在這個階段的臺廠與公共研發機構，呈現出對技術截然不同的思維。「擇優投資」的臺廠，其必須考量生產成本而進行產品的研發與生產，「預先投資」的公共研發機構，則是在標準底定前即投入研發，目的在於潛在降低臺廠的研發風險。因此可以說，此時的公共研發機構不僅分散了臺廠的投資風險、提前佈局相關產品研發，同時亦知曉作為小國不再是競逐標準，而是猜測風向以等待時機。



表 18 公共研發機構於不同時期在網通產業發展中的主要任務

時間	工研院 (ITRI)	資策會 (III)	中科院 (NCSIST)
1990 年代至 2000 年代初期	科專計畫扶持廠商：協助網通廠從有線升級、轉至無線領域	科專計畫扶持廠商：協助網通廠從有線升級、轉至無線領域	掌握通訊人才、頻譜資源，負責自主設計生產軍事產品
	W-CDMA 時，負責基地台硬體研發	W-CDMA 時，負責終端通訊協定研發	W-CDMA 時，參考國外解決方案進行開發、測試與認證工作
2000 年代中期至 2010 年代初期	基站技術與終端硬體研發： (1) 發展物理層及 MAC 層終端系統； (2) 研發局端基地台技術、晶片並技轉	通訊協定研發與測試驗證工作，以及找基站 solution 兜自研通訊協定	系統整合基站負責基站物理層、射頻、天線研發
	標準提案與主席競選 <ul style="list-style-type: none"> IEEE 802.16j、IEEE 802.16m 提案 擔任 IEEE 802.16 要職 擔任 WiMAX Forum 要職 	標準提案與主席競選 <ul style="list-style-type: none"> 提案 IEEE 802.16j 競逐 IEEE 802.16m 主席 與大廠合作原型產品及共同研究 	淡出 WiMAX 研發之列 <ul style="list-style-type: none"> 政府經費縮編與組織僵化 既有 WiMAX 研發團隊跳槽 軍敏機構，無法參與標準提案
2010 年代初期至今	電信基礎技術研發與技術儲備：小型基地台（天線、射頻等硬體面）	電信基礎技術研發：管理軟體研發、網路拓樸設計與測試	
	猜標準 <ul style="list-style-type: none"> mmWave vs. sub-6 option 7.2 or 2 	猜標準 <ul style="list-style-type: none"> mmWave vs. sub-6 option 7 	

資料來源：本研究整理。

第二節、 研究貢獻

一、 補足後進發展理論的未竟之處

目前後進發展理論主要討論後進者兩個面向因素：(1) 技術學習：討論技術學什麼、如何學以及如何積累技術；(2) 機會之窗：討論外部環境變化如何讓後進者開闢新市場、擴大市佔率的機會。

本研究透過後進發展理論詮釋臺灣作為電信產業後進者整體追趕路徑發展、轉折與突破，但更詳細地談論「代工」對後進者而言到底是不是好事。事實上在本研究中發現：「寧為雞首不為牛後」的追趕方式未必不是一件壞事，而是透過蟄伏的方式，隨時間累積技術並在外部環境出現時，得以迅速掌握機會之窗以深化生產關係、生產活動或向上升級。

再者，在現存後進追趕理論談及「標準」中僅只談及後進者如何在標準下生產產品，抑或是另訂市場規格以搶下尚未開發的空白市場。本研究提出後進者如何掌握機會於國際標準會議上制定標準，並區分「技術標準」與「產業標準」並詳細分析標準並非技術中立，而是政商角力下的結果。

最後，在公共研發機構方面，既存研究多著重探討工研院、資策會如何協助後進廠商移轉技術、合作技術或分拆公司，然而中科院角色則甚少或幾乎未討論過。本研究提出工研院、資策會之於臺灣網通廠的角色以及影響為何，更補充中科院在臺灣邁向電信產業中所扮演的角色與影響。

二、 提供產業政策擬定的未來方向

本研究可提供後進國家及廠商在擬訂產業政策時，如何掌握後進者在外部環境變動情況下實施妥適的產業政策。此外，相關研究機構亦能以此進行產業政策建議，提供有別於主流只論技術、市場因素的評估因子。

第三節、 研究限制與未來研究建議

本研究共訪談 15 位成員，其中包含 3 間網通廠 (5 人)、1 家電信運營商 (4 人)、3 間公共研發機構 (5 人) 及 1 間 IC 設計廠 (1 人)，主要透過滾雪球及公文邀訪的方式取得訪談的機會。本研究之研究限制總共有三點：

一、 研究對象限制：田野的時間問題與困難之處

首先，由於研究期間恰逢兩次疫情緣故，本研究在約訪過程中，常接收到

疫情因素而遭到受訪者拒絕。再者，由於研究者為學生的緣故，預計訪談的單位於上班期間均有要務在身，很難撥出時間接受訪談。第三，研究者雖然積極參與各種技術與產業研討會，但實際在現場時，各家廠商均忙著與其有興趣的業者互動，並不會與學生互動。最後，本研究嘗試處理研究可能產生的「快照」問題，在受訪者的設定上，要求其需要在該單位具備 2-30 年以上的工作經驗。因此在邀訪時容易出現：(1) 工程師只懂技術而不懂公司發展，以及 (2) 有資深工作經驗者不願意接受訪談的狀況。基於上述四點，本研究預計訪談的 6 家網通廠、3 家電信運營商，實際僅只 3 家網通廠、1 家電信運營商願意接受訪談，其於廠商均因上述原因回絕訪談邀請，抑或本研究難以接觸到所欲訪談的對象，是為本研究之研究對象上的限制。

有鑑於此，本研究建議未來若欲訪談相似研究對象的設定時，能夠掌握相關的訪談人脈，以助於研究的進行與資料的厚實。

二、 研究對象限制：倖存者偏誤

本研究將過去政府積極發展的 WiMAX 納入討論，嘗試在既有後進追趕理論的討論範疇中，將失敗經驗當作擬定追趕策略的參考依據。本研究所設定的研究對象，均是從 WiMAX 時期苦熬過來、生產小型基地台的臺灣網通廠。雖然該設定有助於我們理解：(1) 臺灣網通廠的生產特性、(2) 臺廠如何撐過 WiMAX 失利後的狀況、(3) 臺廠如何從低技術與資本門檻的網通市場，跨足高技術與資本門檻的電信市場，但卻有著倖存者偏誤的問題存在。

為了解決倖存者偏誤的問題，本研究嘗試邀訪臺灣投入 WiMAX 階段時，積極參與基地台研發設計的廠商們，最終卻因廠商原有技術團隊解散或其不願意提供失敗經驗，而沒有辦法處理倖存者偏誤的問題。為了處理這個狀況，本研究嘗試在訪談公共研發機構及蒐集二手資料上，側面了解當時幾家投入基地台研發設計的廠商，其實際狀況為何。最終從側面了解的結果，正如本研究所設想的：產品互連技術掌握在別人手上的情況下，臺廠並不如報導所說已經具備生產基地台的能力，而僅能做出原型產品而已。

只從側面理解雖然能夠掌握大致輪廓，但實際接觸卻能了解當時執行細節。因此本研究建議未來若有相關研究意欲訪談廠商如何投入技術、資本門檻高的基地台研發時，能夠訪談當時只差臨門一腳的臺廠。

三、 研究內容限制：電信國家型科技計畫執行人員

「電信國家型科技計畫」的存在一如口委所述：透過整合性科技計畫處理政府效能不彰問題，具備制度之窗的理論意涵。本研究起初有打算訪談電信國家型科技計畫當時的張進福委員、鄧一平委員等，但在考量計畫執行細節後旋即放棄，原因在於：這些計畫經費一來流向學界，二則流給公共研發機構負責承擔前期研發工作，真正會影響到臺灣網通廠的其實並不如預期多。由於臺灣網通廠作為代工者，學界與公共研發機構即使研發出效能表現優異的技術及產品，但臺廠重點在於降低成本，因此該項技術及產品僅能提供臺廠參考（reference），並沒有辦法實際進到商品化的階段。

上述的回應並不代表口委所述不重要，因此本研究建議未來有意從國家角度檢視其如何投入通訊標準時，可以納入當時執行國家型科技計畫的執行成員，勢必能更豐富後進追趕理論中，討論國家在標準投入上的珍貴經驗。

參考文獻



- Abernathy, William J., And James M. Utterback, 1978, "Patterns of Industrial Innovation." *Technology Review* 80(7): 40-47.
- Amsden, Alice H., 1991, "Diffusion of Development: The Late-Industrializing Model And Greater East Asia." *The American Economic Review* 81(2): 282-286.
- Amsden, Alice H., 1992, "Asia's Next Giant: South Korea and Late Industrialization." London: Oxford University Press.
- Amsden, Alice H., 2001, "The Rise of 'The Rest' ": Challenges To The West From Late-Industrializing Economies." London: Oxford University Press.
- Amsden, Alice H., And Wan-Wen Chu, 2003, "Beyond Late Development: Taiwan's Upgrading Policies." Boston: MIT Press.
- Arnold, Nadine, And Raimund Hasse. 2015, "Escalation of Governance: Effects Of Voluntary Standardization On Organizations, Markets And Standards In Swiss Fair Trade." *Sociological Research Online* 20(3): 94-109.
- Arthur, W. Brian, 1994, "Increasing Returns and Path Dependence In The Economy." Michican: University of Michigan Press.
- Baru, Sanjaya, 2012, "Geo-Economics and Strategy." *Survival* 54(3): 47-58.
- Bell, Martin, And Keith Pavitt., 1993, "Technological Accumulation and Industrial Growth: Contrasts Between Developed and Developing Countries." *Industrial And Corporate Change* 2(2): 157-210.
- Bell, Martin. 2006, "Time and Technological Learning in Industrialising Countries: How Long Does It Take? How Fast Is It Moving (If at All)?" *International Journal of Technology Management* 36(1-3): 25-39.
- Blind, Knut., 2004, *The Economics of Standards: Theory, Evidence, Policy*. Cheltenham, UK And Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing.
- Blind, Knut., 2017, "The Economic Functions of Standards In The Innovation Process." Pp. 38-62 In *the Handbook of Innovation And Standards*, Edited By Richard Hawkins, Knut Blind, And Robert Page. Cheltenham, UK And Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing.
- Boschma, Ron, 2004, "Competitiveness of Regions from An Evolutionary

Perspective.” *Regional Studies* 38(9): 1001-1014.

Boschma, Ron, And Ron Martin, 2010, “The Aims and Scope of Evolutionary Economic Geography.” Pp. 3-39 In *the Handbook of Evolutionary Economic Geography*, Edited by Ron Boschma, And Ron Martin. Cheltenham, UK And Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing.

Brusco, Sebastiano, 1982, “The Emilian Model: Productive Decentralisation and Social Integration.” *Cambridge Journal of Economics* 6(2): 167-184.

Cheng, Lu-Lin, 2007, “Surviving in The Middle: Embedded Learning and Managed Dependency Among Taiwanese Automakers.” Pp. 61-90 In *Competition and Cooperation Among Asian Enterprises In China*, Edited By Yukihito Sato And Momoko Kawakami. Tokyo: Institute of Development Economies, JETRO.

Chinitz, Benjamin, 1960, “The Effect of Transportation Forms on Regional Economic Growth.” *Economic Journal* 70(57): 12-15.

Choi, Hyung-Sup, 1986, “Science and Technology Policies for Industrialization of Developing Countries.” *Technological Forecasting and Social Change* 29(3): 225-239.

Choi, Young-Jin, And Jim Glassman, 2018, “A Geopolitical Economy of Heavy Industrialization and Second Tier City Growth In South Korea: Evidence From The ‘Four Core Plants Plan’.” *Critical Sociology* 44(3): 405-420.

Dahlman, Carl J., Bruce Ross-Larson, And Larry E. Westphal, 1987, “Managing Technological Development: Lessons from The Newly Industrializing Countries.” *World Development* 15(6): 759-775.

Dicken, Peter, 2007, *Global Shift: Mapping the Changing Contours of The World Economy*. London: SAGE Publications Ltd.

Dosi, Giovanni, Christopher Freeman, Richard Nelson, Gerald Silverberg, and Luc Soete, 1988, *Technical Change and Economic Theory*. Pisa: Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies.

Doucette, Jamie, And Bae-Gyoon Park, 2018, “Urban Developmentalism in East Asia: Geopolitical Economies, Spaces of Exception, And Networks of Expertise.” *Critical Sociology* 44(3): 395-403.

Gereffi, Gary, 1994, “The Organization of Buyer-Driven Global Commodity Chains: How US Retailers Shape Overseas Production Networks.” *Commodity Chains and Global Capitalism*: 95-122.

- 
- Gereffi, Gary, John Humphrey, And Timothy Sturgeon. 2005, "The Governance of Global Value Chains." *Review of International Political Economy* 12(1): 78-104.
- Gereffi, Gary. 1999, "International Trade and Industrial Upgrading in The Apparel Commodity Chain." *Journal of International Economics* 48(1): 37-70.
- Haraway, Donna, 2013, *Simians, Cyborgs, And Women: The Reinvention of Nature*. London: Routledge.
- Harrison, Bennett, 1992, "Industrial Districts: Old Wine in New Bottles?" *Regional Studies* 26(5): 469-483.
- Hobday, Mike, 1995, "East Asian Latecomer Firms: Learning the Technology of Electronics." *World Development* 23(7): 1171-1193.
- Hsu, Jinn-Yuh, 1997, *A Late-Industrial District? Learning Networks in The Hsinchu Science-Based Industrial Park, Taiwan*. Geography in the Graduate Division, University of California, Berkeley.
- Hsu, Jinn-Yuh, 2004, "The Evolving Institutional Embeddedness of A Late-Industrial District In Taiwan." *Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie* 95(2): 218-232.
- Hsu, Jinn-Yuh, Dong-Wan Gimm, And Jim Glassman, 2018, "A Tale of Two Industrial Zones: A Geopolitical Economy of Differential Development in Ulsan, South Korea, And Kaohsiung, Taiwan." *Environment And Planning A: Economy and Space* 50(2): 457-473.
- Humphrey, John, And Hubert Schmitz, 2002, "How Does Insertion in Global Value Chains Affect Upgrading In Industrial Clusters?" *Regional Studies* 36(9): 1017-1027.
- Humphrey, John, And Hubert Schmitz, 2004, "Chain Governance and Upgrading: Taking Stock." Chapter 13 In *Local Enterprises in The Global Economy*, Edited by Hubert Schmitz. Cheltenham, UK And Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing.
- Jacobs, Jane, 2016, *The Economy of Cities*. New York: Vintage.
- Kaplinsky, Raphael, And Mike Morris, 2000, *A Handbook for Value Chain Research*. Vol. 113. Brighton: University of Sussex, Institute of Development Studies.
- Katz, Jorge M., 1984, "Domestic Technological Innovations and Dynamic Comparative Advantage: Further Reflections on A Comparative Case-Study

- Program.” *Journal Of Development Economics* 16(1-2): 13-37.
- Katz, Michael L., And Carl Shapiro, 1985, “On the Licensing of Innovations.” *The RAND Journal of Economics* 16(4): 504-520.
- Kim, Linsu, 1997, *Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning*. Boston: Harvard Business School Press.
- Kvale, Steinar, 1995, "The Social Construction of Validity." *Qualitative Inquiry* 1(1): 19-40.
- Lall, Sanjaya, 1987, *Learning to Industrialize: The Acquisition of Technological Capability by India*. Berlin: Springer.
- Lall, Sanjaya, 1992, “Technological Capabilities and Industrialization.” *World Development* 20(2): 165-186.
- Lall, Sanjaya, 1996, *Learning from The Asian Tigers: Studies in Technology and Industrial Policy*. Berlin: Springer.
- Lee, Keun, And Franco Malerba, 2017, “Catch-Up Cycles and Changes In Industrial Leadership: Windows of Opportunity and Responses of Firms and Countries in the Evolution of Sectoral Systems.” *Research Policy* 46(2): 338-351.
- Lee, Kun, Mani, Sunil, and Mu, Qing, 2012, “Explaining Variations in The Telecommunication Equipment Industry in Brazil, China, India and Korea.” Chapter 2 in *Economic Development as A Learning Process: Variation Across Sectoral Systems*, Edited by Franco Malerba and Richard Nelson. Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing.
- Lee, Seung-Ook, Joel Wainwright, And Jim Glassman, 2018, “Geopolitical Economy and The Production of Territory: The Case Of US–China Geopolitical-Economic Competition In Asia.” *Environment and Planning A: Economy and Space* 50(2): 416-436.
- Luttwak, Edward N., 1990, “From Geopolitics to Geo-Economics: Logic of Conflict, Grammar of Commerce.” *The National Interest* 20: 17-23.
- Luttwak, Edward N., 1993, “The Coming Global War for Economic Power: There Are No Nice Guys on the Battlefield of Geo-Economics.” *The International Economy* 7(5): 18-67.
- Malerba, Franco, And Richard Nelson, 2011, “Learning and Catching Up in Different Sectoral Systems: Evidence from Six Industries.” *Industrial and Corporate*



Change 20(6): 1645-1675.

Marshall, Alfred, and Mary Paley Marshall, 1920, *The Economics of Industry*. London: Macmillan and Company.

Martin, Ron, and Peter Sunley, 2006, "Path Dependence and Regional Economic Evolution." *Journal of Economic Geography* 6(4): 395-437.

Martin, Ron, and Peter Sunley, 2007, "Complexity Thinking and Evolutionary Economic Geography." *Journal of Economic Geography* 7(5): 573-601.

Martin, Ron, and Peter Sunley, 2010, "the Place of Path Dependence in An Evolutionary Perspective on the Economic Landscape." Chapter3 in *the Handbook of Evolutionary Economic Geography*. Edited by Ron Martin and Peter Sunley. Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing.

Maskell, Peter, and Anders Malmberg, 1999, "Localised Learning and Industrial Competitiveness." *Cambridge Journal of Economics* 23(2): 167-185.

Maskell, Peter, and Anders Malmberg, 1999, "Localised Learning and Industrial Competitiveness." *Cambridge Journal of Economics* 23(2): 167-185.

Mathews, John A., 2002, "The Origins and Dynamics of Taiwan's R&D Consortia." *Research Policy* 31(4): 633-651.

Mathews, John A., 2006, "Catch-Up Strategies and the Latecomer Effect in Industrial Development." *New Political Economy* 11(3): 313-335.

Mathews, John A., and Dong-Sung Cho, 2000, *Tiger Technology: The Creation of A Semiconductor Industry In East Asia*. Cambridge: Cambridge University Press.

Morrison, Andrea, Carlo Pietrobelli, and Roberta Rabellotti, 2008, "Global Value Chains and Technological Capabilities: A Framework to Study Learning and Innovation in Developing Countries." *Oxford Development Studies* 36(1): 39-58.

Niosi, Jorge, Suma Athreye, and Ted Tschang, 2012, "The Global Computer Software Sector." Chapter3 in *Economic Development as A Learning Process: Variation Across Sectoral Systems*, Editer by Franco Malerba and Richard Nelson. Cheltenham, UK And Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing.

Noble, Gregory. W., 2000, "Conspicuous Failures and Hidden Strengths of the ITRI Model: Taiwan's Technology Policy Towards Hard Disk Drives and CD-Roms," The Information Storage Industry Center, University of California.



- Öniş, Ziya, 1991, "The Logic of The Developmental State." *Comparative Politics* 24(1): 109-126.
- Porter, Michael E., 2000, "Location, Competition, and Economic Development: Local Clusters in A Global Economy." *Economic Development Quarterly* 14(1): 15-34.
- Ramani, Shyama V., And Samira Guennif, 2012, "Catching Up in the Pharmaceutical Sector: Lessons from Case Studies of India and Brazil." Chapter5 in *Economic Development as A Learning Process*, Edited by Franco Malerba and Richard Nelson. Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing.
- Sato, Yuri, and Mai Fujita, 2009, *Capability Matrix: A Framework for Analyzing Capabilities in Value Chains*. Tokyo: Institute of Development Economies, JETRO.
- Saxenian 著，彭蕙仙、常雲鳳譯，1999，《區域優勢：矽谷與一二八公路的文化與競爭》。臺北：天下文化。
- Shapiro, Carl, 2000, "Navigating the Patent Thicket: Cross Licenses, Patent Pools, and Standard Setting." *Innovation Policy and the Economy* 1: 119-150.
- Shapiro, Carl, and Hal R. Varian, 1999, "The Art of Standards Wars." *California Management Review* 41(2): 8-32.
- Shieh, Gwo-Shyong, 1992, "Boss" Island: *The Subcontracting Network and Micro-Entrepreneurship in Taiwan's Development*. New York: P. Lang.
- Stubbs, Richard, 2009, "What Ever Happened to the East Asian Developmental State? the Unfolding Debate." *The Pacific Review* 22(1): 1-22.
- Sturgeon, Timothy J., 2008, "From Commodity Chains to Value Chains: Interdisciplinary Theory Building in An Age of Globalization." Paper Presented at the Industry Studies Association, (ISA) .
- Swann, GM Peter, 2000, *The Economics of Standardization: Final Report for Standards and Technical Regulations Directorate*. Manchester: Department of Trade and Industry, Manchester Business School.
- Sydow, Jörg, Georg Schreyögg, and Jochen Koch, 2009, "Organizational Path Dependence: Opening the Black Box." *Academy of Management Review* 34(4): 689-709.
- Tassej, Gregory, 2017, "Standards and Expansion Paths in High-Tech Industries." Pp. 135-161 in *the Handbook of Innovation And Standards*, Edited by Richard

Hawkins, Knut Blind, and Robert Page. Cheltenham, UK And Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing.

Vernon, Raymond, 2013, *Metropolis 1985*. Manchester: Harvard University Press.

王振寰，2007，〈從科技追趕到創新的經濟轉型：南韓、台灣與中國〉。《台灣社會研究季刊》68: 177-226。

王振寰，2010，《追趕的極限：臺灣的經濟轉型與創新》。臺北：巨流。

吳明澤、林谷合、鄧天強、陳昱辰，2018，〈紅色供應鏈下台商網絡的解構與重組：以電子廠商的訪談為例〉。《國家發展研究》18(1): 39-71。

李世暉，2017，〈近代戰爭下的日本與台灣地緣經濟學的觀點〉。《臺灣國際研究季刊》13(2): 67-87。

林國勝、黃志伸、陳貴欽，2013，〈國防科技工業技術移轉機制之探究－中科院現況與研析〉。《管理與系統》20(3): 407-424。

胡太山、解鴻年、賈秉靜、羅欣玫，2013，〈產業區的知識型態與空間演化：以新竹為例〉。《建築與規劃學報》14(2/3): 147-166。

胡太山、賈秉靜、解鴻年、賴玫樺，2008，〈從社會資本觀點探討社群網絡於創新環境中之角色扮演－以新竹地區為例〉。《建築與規劃學報》9(2): 77-99。

徐進鈺、鄭陸霖，2001，〈全球在地化的地理學：跨界組織場域的統理〉。《都市與計畫》28(4): 391-411。

陳介玄，1994，《協力網絡與生活結構：台灣中小企業的社會經濟分析》。臺北：聯經。

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。

陳良治、朱凌毅，2016，〈技術變遷：後進國家的技術學習〉。頁 239-265，收錄於簡旭伸、王振寰編，《發展研究與當代臺灣社會》。臺北：巨流。

陳明惠、邱文宏、張家維，2015，〈法人研究機構之技術商品化合作模式：以中科院為例〉。《科技管理學刊》20(1): 55-91。

陳東升，2003，《積體網路：臺灣高科技產業的社會學分析》。臺北：群學。

蔡渭水、毛禮忠，1999，〈研究機構技術分殖現象之研究－以工研院與中科院為例〉。《管理評論》18(1): 1-21。

瞿宛文，2006，〈台灣後起者能藉自創品牌升級嗎？〉。《台灣社會研究季刊》

63: 1-52。

