

數位經濟與智慧城市發展

臺灣科技大學物聯網創新中心主任 周碩彥*

壹、智慧城市發展背景

貳、智慧城市數位基礎建設

參、智慧城市數位經濟應用

肆、智慧城市發展的經濟社會影響

壹、智慧城市發展背景

城市的未來發展是人類社會的重大議題，預計在 2030 年全球將有 60% 以上的人口居住在城市，較開發的區域將會超過 80%，人口超過 1,000 萬的特大城市（megacity）將增加到 39 個。城市為一個複雜的有機體（organic entity），存在著多個相互依存的系統，眾多的獨立組織單元，乃至於所有個別化且自主的居民，使得都市治理具高度的挑戰性。隨著城市人口的持續增加，空間與資源有限的制約將逐漸加強，城市生活的不便和壓力也會持續的增加，導致了更多、更複雜的痛點待有效的紓解，智慧化技術提供了一個整體性改善的機制與機會。

智慧城市的架構包含了各種的智慧應用與服務，但是所謂的智慧其描述性定義為何？要精準的回答這個問題，必須先要瞭解智慧的目的與根源。很顯然的，智慧化本身並非最終目的而為工具抑或是過程，亦非單純的強化城市治理效能的角度，滿足城市居民個別需求才應是終極目的。即是智慧城市的發展必須為以人為中心（human-centric），以使用者需求為依歸。創造了高效能治理的智慧城市，但卻無法紓解居民工作生活的痛點，反而失去了城市智慧化的意義。

* 本文作者周碩彥博士為臺灣科技大學工業管理系特聘教授。

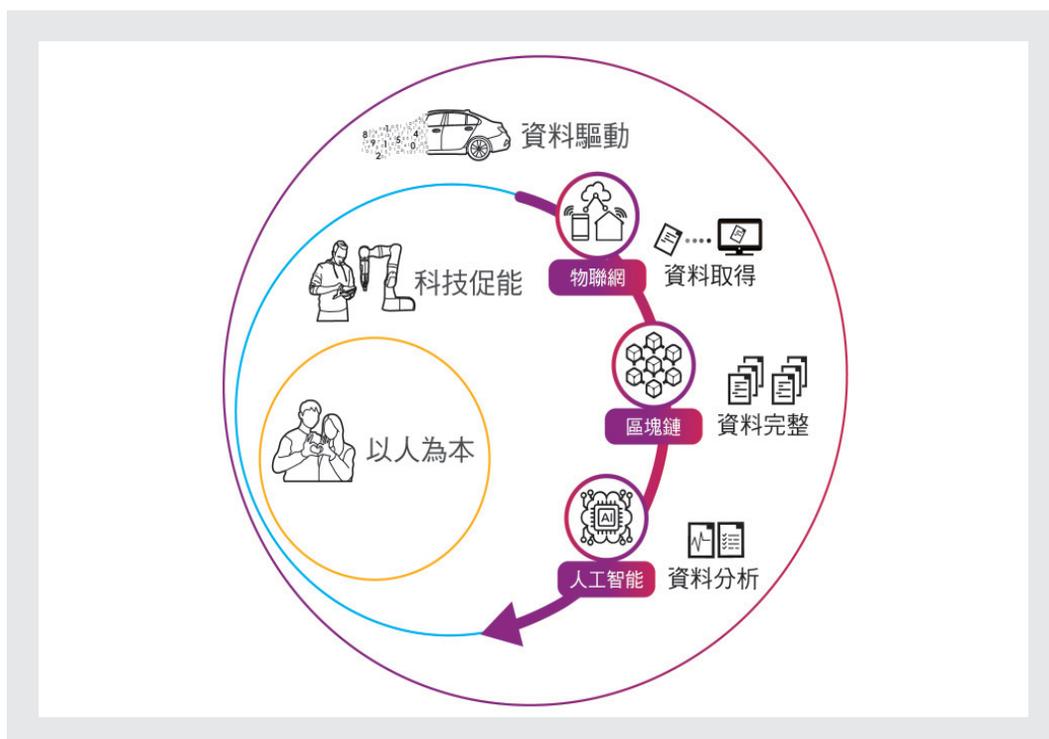


圖 1 智慧城市發展的支撐架構與技術

在動態且複雜的城市環境中，智慧的表徵在於有無能力精準有效的回應和解決問題，而決策和執行效能的基礎在於對問題瞭解的清晰程度。換言之，若要智慧化的解決居民的痛點，必須要充分和即時的掌握城市問題的實際狀況，始得進行分析和構建解決方案，再進一步據以適時執行。此一程序即為建立一個所謂的資料驅動（data-driven）作業模式，依據資料提供的洞察，智慧化的改善或消除城市中各個系統的滯礙，使城市充分發揮其應有的服務效能。

近年來科技的快速發展，提供了一個技術促能（technology-enabled）的基礎建設，支撐城市治理、強化系統效能、改善居民生活，以及維護環境永續。其中最關鍵的為數位技術，無論是在各項實體物件的數位化，或是其本身功能、狀態和工作執行過程資料的提供，乃至於其對其他物件的觀察及互動信息的取得，都可以有效的支持資料驅動的決策需求。上述三個特性提供了智慧城市的基本定義和發展的主要支撐，如圖 1 所示，其中，資料驅動的三個主要程序——資料取得、資料確認和資料分析——將可藉由近年來發展的各项數位技術分別的達成。

智慧城市發展的進程與執行可藉由不同的目標（objectives）引導，例如，環境保護、資源再利用、身心健康、便利樂活、經濟成長；或是著重於城市發展的永續性（sustainability），防災復原的堅韌性（resilience），人身與隱私安全性等關鍵議題。這些主軸乃可規範城市各個功能系統智慧化發展的重點方向，如交通運輸、醫療照護、能源管理、商業與零售等的發展目標與交互關係。如此，得以依循建立智慧城市系統化或是階段性的發展策略。

眾多智慧化科技導入之際，亦仍隱藏著許多執行的障礙、風險及衝突，特別是和傳統功能系統的磨合，不僅在整合上存在技術的問題，也必須要降低其所衍生的經濟、社會衝擊，才得以真正的發揮城市智慧化的功效。本文的主旨在介紹智慧城市的核心理論和應用，探討智慧環境下的數位經濟對城市經濟、社會可能產生的影響，並進一步探討政府所應扮演的角色。

貳、智慧城市數位基礎建設

城市智慧化最關鍵的數位化技術應用為連結性（connectivity）的建立。從互聯網（Internet）、網際網路（World Wide Web, WWW）到語意網（semantic web）的發展，如圖 2 所示，信息連結和彙集的能力已經對人類社會產生了顛覆性的影響。在資訊設備得以連網之後，不只知識散布的速度大幅度的加快，科技推進的速度也大量的提升，經濟循環週期逐漸的縮短，不只影響了經濟和社會的發展步調，也顛覆了許多的傳統商業與生活模式。在城市的範疇中，許多問題的根源都在實體環境與資源的掌握與運用效能。然而，我們對於實體環境發生的事件仍缺乏有效的偵測與記錄能力，因而未能明確掌握問題的癥結，也因此無法提出精準有效的解決方案。

物聯網（Internet of Things）技術的發展擴充了連網的涵蓋面，可以將實體城市環境完整地整合至已高度發展的數位世界進行分析與管理。城市中的居民、物品、設施、運具、建築、街道皆可依需要有不同的數位化，環境與資源的使用狀況與需求亦可連結上線供觀察與分析，進而協助研議產生對資源運用與限制問題的有效解決方案。實體城市更完整的映射至數位世界可以產生所謂的數位孿生（digital twin），除了對現況進行更精確的解析之外，並可以進一步的模擬各種改善方案可能產生的影響，如此得以在導入解決方案之前，更充分的瞭解和準備導入後可能尚要持續因應的問題。

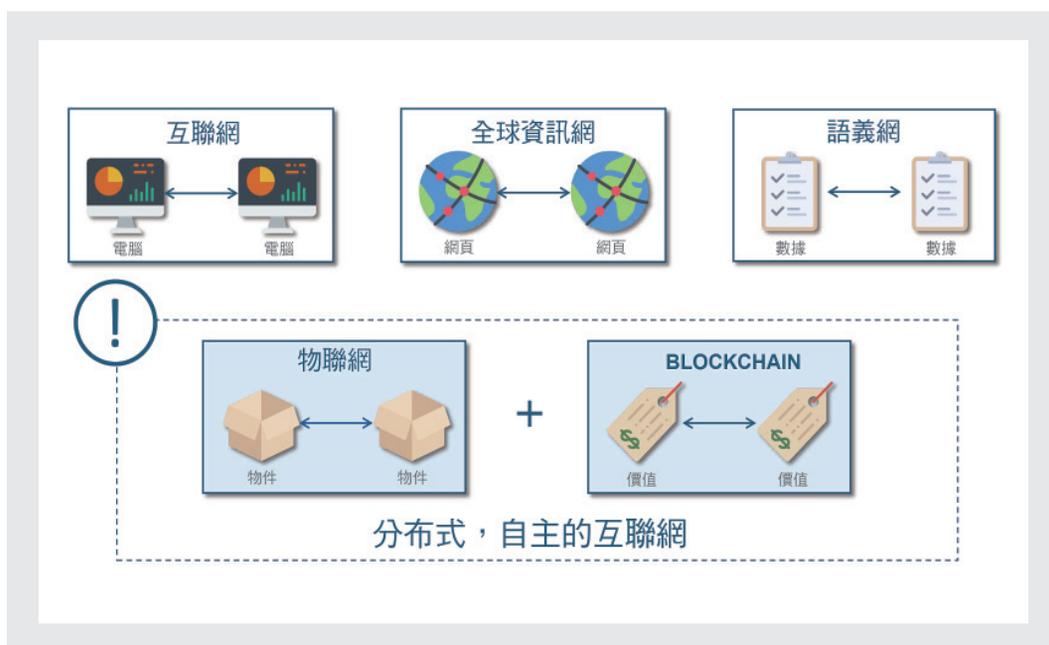


圖 2 連結的演化

然而，隨著對於數位系統的依賴與日俱增，數位資料的完整性（integrity）以及其價值流（value stream）效率的提升更形重要，近年來發展的區塊鏈（blockchain）技術提供了一個有效的技術支撐。區塊鏈為一種數位分散式分類帳（distributed ledger）系統，具有確保資料無法竄改的特性，支持點對點的價值交易，確保數位系統中資料的完整性，乃至於建立數位系統中的信任（trust）機制。區塊鏈支援的數位交易無需依賴第三方機構，除去了確認身份、所有權、記錄、交易數據等所需的繁複驗證程序，使得資料為基或是資料驅動程序的效能大量提升，真正實現以數位速度進行商業活動的效能。

透過物聯網取得來自實體環境豐富的數據，藉由機器學習得以自主學習產生各種的智慧功能，深度學習則可以從非結構性資料中提取結構性信息，使物聯網系統成為具洞察力的智慧物聯網。物聯網系統結合區塊鏈，可以確保所獲取數據的完整性，且提供機制強化物聯網系統的擴展性，進一步的提升數位和實體系統運作的功效。反之，由物聯網獲取資料無需人工干預，從而避免資料獲取潛在的人為問題。物聯網、

區塊鏈與人工智慧三種技術功能相互依存和融合的關係如圖 3 所示，其間的整合可為智慧城市應用創造巨大的綜效。但是，技術的採用應基於實際需求，即在其技術特性對於應用與服務問題解決具有實際功效時，技術所帶來的功能才得以有效的發揮。

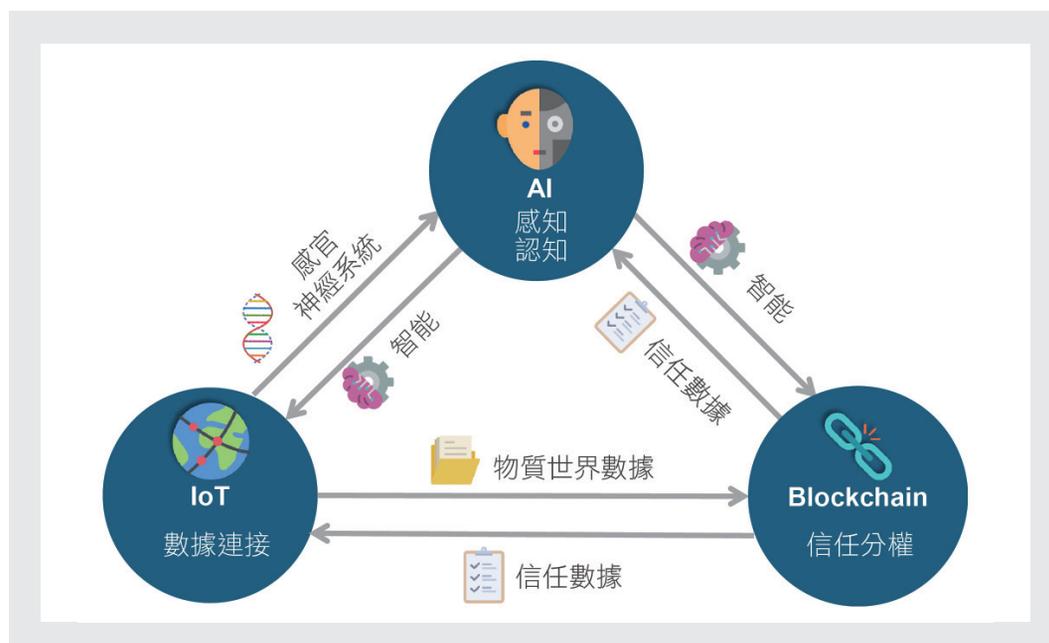


圖 3 物聯網、人工智慧和區塊鏈技術的融合

近年來全球市場快速的變化刺激了製造業技術發展的轉型，德國政府發起的工業 4.0 製造業發展政策，如圖 4 所示，代表了這個巨大的典範移轉，亦被認為引導了第四次工業革命的發生。為因應客戶需求的多樣化和不確定性，生產系統必需具備生產少量多樣產品的彈性和敏捷性。生產過程中的許多單元—包括系統、機器、產品、存貨、運輸機和機器人—其彼此與跨層級間必須主動溝通和協調，才能因應變化頻繁的生產需求調整工作，確保生產的順暢與滿足交期的要求。相關軟硬體技術可進一步的整合成具連動功能的網宇實體系統 (Cyber-Physical System, CPS)，運用數據驅動的方式，為實體生產系統加入神經系統，使其得以更有效地滿足差異性產品的生產要求。第四次工業革命的影響不僅限於製造業，幸運的，工業 4.0 技術架構的應用亦不限於製造業應用，而 CPS 系統更可適用於支持包含智慧城市的各種實體系統數位化整合與應用。

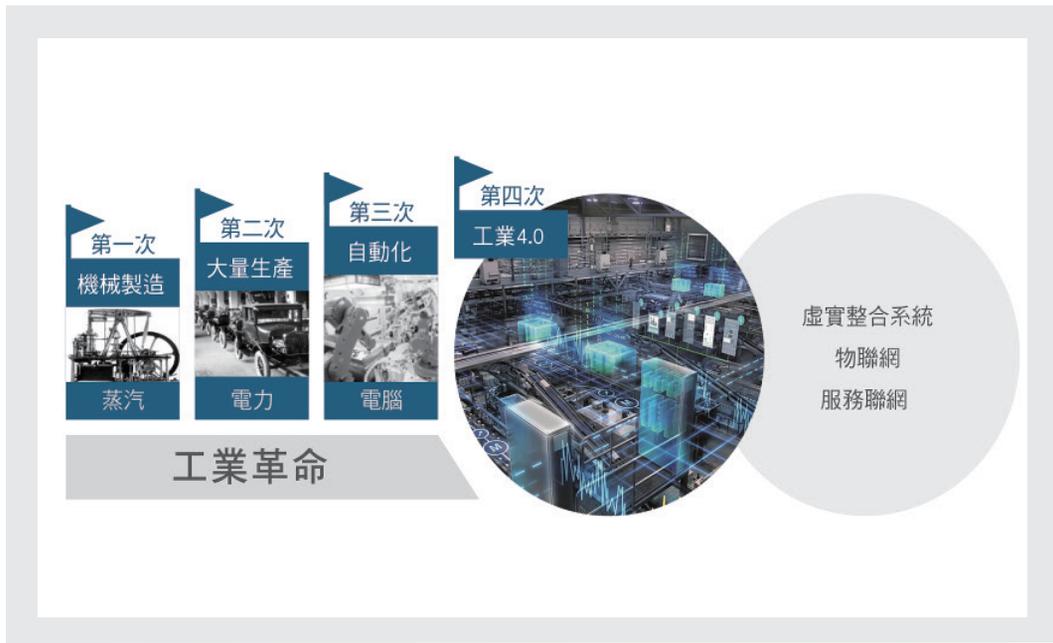


圖 4 工業革命和其支撐的主要技術發展

參、智慧城市數位經濟應用

城市生活的最主要困境為人口眾多而實體空間和有形資源 (tangible resource) 有限，若能最經濟有效的運用侷限的資源，最大化的滿足居民的差異需求，相較現有的城市治理機制，即已足夠讓居民感受到城市的智慧化。若基於工業 4.0 來產生對應的城市 4.0 應用規範，除了建立連線讓城市實體而有機的脈動數位化，以及大量採用資料分析外，也必須建立如同製造業 CPS 般的連動回應機制。以整體的角度考量城市中包括衛生，教育，商業，金融，旅遊，交通，建築和農業等功能性系統的問題，轉變其原本大量生產推式的產品／服務模式，至大量客製化 (mass customization)，甚至個人化拉式的效益提供模式，並可對應產生許多新數位經濟應用發展機會。

連網設備得以持續傳輸其運作狀況信息，供服務廠商偵測作業狀態，如同由工業互聯網聯盟 (Industrial Internet Consortium) 推動於智慧工廠的預測性維護 (predictive maintenance) 模式，服務廠商得以在滿足客戶服務水準的同時，以最經濟性的程序維護設備，並保證設備可持續有效的運作與提供效能。使用者可以不必購買設備產品，而是在需要時直接購買產品提供的效益。如此，可支持創建所謂「效益經

濟」(outcome economy) 的新型商業模式，以販賣直接效益取代販賣間接實體產品。換言之，使用者得以在需求發生的當時再即時取得，城市內資源的運用，可以由大量製造架構下的推式經濟(push economy) 模式，轉為依使用者需求而取得的拉式經濟(pull economy) 模式，而更深化了數位經濟影響的層面。

共享經濟的發展強調了人類行為和產品作用的根本變化，在智慧城市中，依靠物聯網的連結和數據分析能力，可隨時掌握閒置資源所在地點及狀態，需求者即可容易的獲取以及共享運用該資源。如此，城市內閒置資源得以被有效的釋放，同時在不需擴增能量下，資源需求者也可以被有效的滿足。在此種環境下，除了使用者購買實體設備的需求和意願皆會降低，服務廠商因為仍擁有設備，將會以最有效的方式維護設備，延長其使用年限以降低成本。降低對設備的需求即可降低生產量，如此，亦可降低過量產品所產生的對環境的額外壓力。服務客製化、效益經濟、拉式經濟和共享經濟模式，提供了城市智慧化的經濟架構基礎，並可具體反應在各種智慧城市應用領域中。

醫療照護是城市生活中和居民最切身的一環，醫療資源的不均以及成本與療效間的考量，使得醫療設施的服務和醫療內容存在多種大量製造的特性。透過物聯網連結的協助，醫院病床、醫院看診、救護車、手術室、醫療測試設備和血袋等關鍵醫療資源得以被有效的管理和充分的利用。也可以協助醫院醫護人員全時的偵測觀察患者狀況，照護病患的品質和壓力也可因此得到改善。物聯網亦可提供個人持續追蹤其生理、心理、飲食、活動、環境條件和藥物依從性等狀態資料，建立較全面性的個人背景資料，在就醫時可協助分辨其狀態與需求，提升診斷和治療的效果。此外，長期累積的完整個人醫療健康相關資訊，可以健全個人數位孿生協助防範健康問題，降低社會醫療照護的總體成本。在智慧城市的數位技術支持下，醫療服務得以成為具有智慧化、個人化服務的智慧 CPS 醫療系統，進一步提升城市醫療服務的精確性、靈活性與便捷性。

同樣的，移動力(mobility) 是城市內經濟社會活動的核心功能，居民的日常工作、教育、社交、飲食、娛樂等眾多活動，以及各種實體物資的移轉，皆有透過交通運輸變換地點的需求。但運輸能力受到空間乃至於基礎設施極限的制約，同時移動運輸亦導致空氣污染和其他環境衝擊，運輸資源需有效的掌握協調以支持居民移動力的需求。經由線上即時提供公共交通工具所在位置與尚餘容量，即可大量地改善乘客旅

程管理與舒適度，甚至在減少車班狀況下亦能維持同樣的服務水準。另一方面，通過連網可使私人運具的運輸資源被有效的識別，因而可被運用精確的滿足個別使用者移動的需求。同理，相較於增建昂貴的新設施以提高車位的供給，可透過物聯網將未被充分使用的私有停車位釋放，停車需求者即可即時連接動態共享。交通號誌可在掌握交通即時狀況下智慧化連動回應需求，個別駕駛也可以即時因應交通變化機動的調整路線。在交通運輸物聯網基礎建設上，移動力的提供亦可轉換成具彈性及環境友善的拉式經濟模式。

空間不足亦為城市發展的關鍵問題，若要以增加空間使用率的方式解決，則需利用有效的結合供需，以及有效的商業模式共同協助達成。空間設施的完備程度影響其使用性，但同時應依設施實際運用狀況區隔差異計價，以滿足不同使用者的需求。此種完備而又具差異化的空間資源的授權與管理，可以藉由物聯網偵測與控制以及與區塊鏈的連結達成，如圖 5 所示，並確保設施提供者應得的分潤得以正確和快速的取得。此種空間細化的共享商業模式，使得具完備性的空間可滿足更多元的使用需求，讓空間可以被更細緻化的共享和充分使用，除了舒緩城市空間不足的問題，亦可間接降低移動需求所產生交通流量。

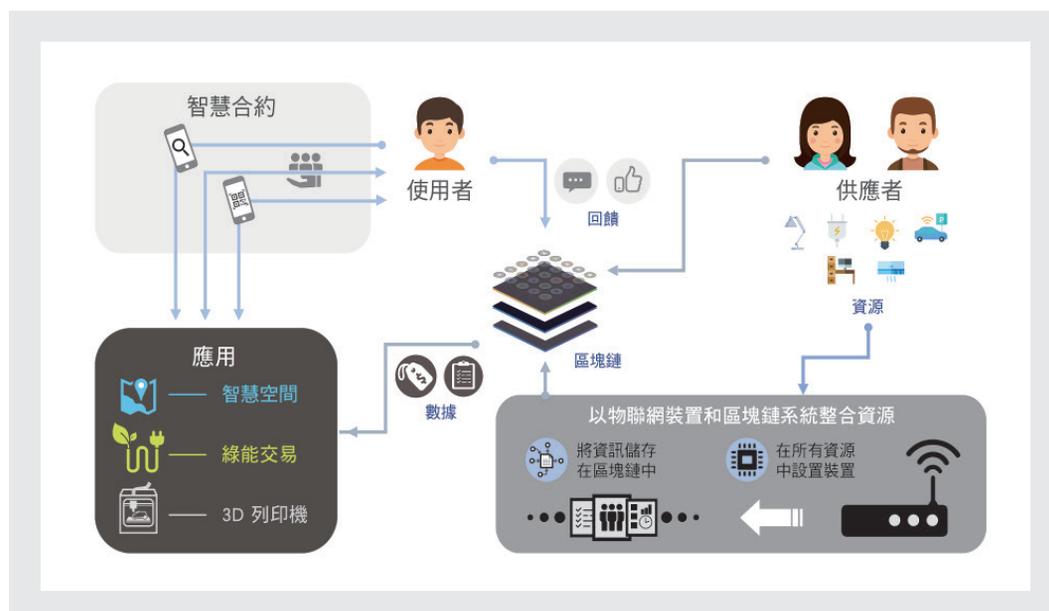


圖 5 物聯網技術和區塊鏈技術結合支持的共享應用

由於城市化的趨勢，許多主要城市的基礎建設和各種空間容積的擴張已達到頂峰，共享剩餘或閒置資源具有成本效益，相較於以產能擴充緩解資源短缺更為有效。城市中許多應用為連動的，必須系統性的整合而非獨立的處理，才可取得有效的解決方案。同時，不同的應用間亦具有高度關聯性，部分亦存在相斥性，需經由協作和協調的模式進行，以產生更大的綜效。此外，可以充分運用居民眾包（crowd sourcing）的機制，紓解城市治理資源不足的問題。藉由連線以及具良好人機介面的行動應用，主動地（pro-actively）運用居民就地發覺或是解決各層面的城市問題，讓居民有效的參與和貢獻城市治理。

肆、智慧城市發展的經濟社會影響

第四次工業革命正在經由實體世界的數位化轉型創造未來的智慧城市，從經濟觀點而言，將可產生許多創新商業模式支持新形態的經濟發展，同時並可強化資源的管理和運用，紓解城市資源有限的窘境。效益經濟著重於產品所能產生的效益而非產品銷售，將導致產品需求下降或是銷售量減少，企業更將無法在短期間內回收生產與產品的成本投資，除了企業的價值提供的重心將會轉變，更需要建立對應的財務模式支持其永續性（sustainability）。然而，城市居民與智慧系統之間的動態交互作用，將會超出其對經濟或是效能的影響，而持續誘發許多勞力、社會、安全、隱私、財務與道德的衝擊，從而催化社會急劇改變。關鍵利益相關者複雜和潛在的利益衝突，必須以謹慎和平衡的方式解決，以建立可持續性的社會經濟發展。

網際網路和全球資訊網的連通性以及共享資訊普及，以及其對人類社會所可能帶來的影響，在起初多半的預測皆是正向的。除了可以推進社會、經濟與知識的發展，擴充訊息與服務之間的途徑，促進更廣泛的合作關係，協助推展甚至創新的全新商機，政府系統將變得更加透明，腐敗和其他惡意的活動更難以掩飾。然而，實際的狀況並沒有完全如所預料的脈絡發展，隨著數位世界變得愈來愈龐大而複雜，連接和開放的好處，被私人或不對稱訊信息的利益以及充斥的假消息給覆蓋。腐敗的組織和個人，可以相對容易的偽裝或隱藏自己，而利用數位經濟的各種便利性活躍在數位世界，或許利用大量的數據，或許利用不正當的手段，進行詐欺獲取不當利益。

雖然數位融合能為城市帶來許多潛在益處與機會，但倘若對其過度依賴亦會增高風險。在停電或是網路中斷的情況下，高度依賴數位系統的運營將可能癱瘓甚至危及

居民生計。在過去無法避免的第三方中介機制，不但原本就存在中立性的疑慮，其所經管的資料更有機會使他們獲得可觀經濟利益，因而增加了系統的風險。犯罪分子亦可以透過物聯網，遠程並同時的控制多個地點的設施，對城市實體系統構成更大的威脅。企業將透過無遠弗屆的網路向市民和消費者行銷，隨處可見的電子看版，可以動態的向消費者推撥影響個人觀感的信息。同樣的，各種系統的提供者可利用無時不在的接觸，改變個人及群體的意見和行為。如果沒有有效管理，物聯網連接所產生的智慧化系統與數位經濟應用，將會為城市帶來更廣泛和深層的風險。

智慧城市系統中的安全和隱私問題將變得更加複雜與衝突。除了需要採取額外的網絡安全（cyber-security）措施，並需採用區塊鏈相關技術來識別參與者，以及驗證儲存或傳輸內容的完整性。透過無處不在的監視攝影機和其他感測器，監控不再只侷限於數位世界，而是於實體世界侵入式和全視角的。即使裝置使用者沒有使用訊息提供功能，他人也能夠透過個人手機收集位置與行動數據，藉由分析並推導個人造訪地點、行程、飲食、穿著、購物、娛樂、就醫等活動，進而取得商業利益，甚至用於影響個人工作、就醫、保險的不當用途。

無處不在的物聯網使城市居民別無選擇，只能接受更無隱私的生活方式，期望與他們相關的資料不得亦不會用於加害他們。儘管許多國家已經建立了個人隱私保護條款，特別是歐盟最近通過「一般資料保護規範」，擬解決這個不斷演化的問題，並使個人對其個人資料有更多的控制權。然而在智慧城市應用中，這些法律不足以涵蓋經由物聯網收集大量個人和私人數據的眾多衍生問題，主管機關必須要進一步的釐定採用物聯網進行資料收集與運用的界限。因為其所能產生的價值，數據現在已被視為資產，亦可為企業建立可持續競爭力，因此在提供服務期間獲得的資料，其所有權和運用皆必須要進一步的規範。

數位融合所造成根本性變革，意味著勞動力所需的知識和能力核心將會產生重大變化。代表智慧的連通性與軟體帶來先進而強大的功能，將取代許多需要多年經驗與大量勞力的工作，例如，著重於人類及系統之間的介面工作，客服機器人可以透過語音或其他數位方式與客戶互動，機器人廚師可以藉由觀察人類廚師學習複雜的烹飪技能，汽車也將在不久的將來大量的在公路上自動行駛。這些改變將威脅許多城市居民賴以為生的工作機會，也更進一步強化了中產階級的迅速消逝，物聯網的普及進一步地助長了此種趨勢。政府需要擬定政策來解決這種不平衡可能造成的破壞性社會議

題，需將社會和經濟責任重新配置，特別是針對從新數位經濟產業中獲得高額利潤的實體徵收賦稅，例如，採用人工智能和機器人的個人或企業，以減少現有工作被取代所造成的經濟社會衝擊。

政府在智慧城市的發展上擔任了核心的角色，主要是城市基礎建設為政府所管轄，許多新科技的採用尚需政策與法規修正才得以施行。政府也是城市資料收集的最主要單位和應用的最終整合者，工作內容牽涉到治理、財務、技術、商業、需求以及其他專業，需要靠公務機關和私人企業建立夥伴關係共同發展（Public Private Partnership, PPP）。智慧城市在執行面上亦有眾多的議題需要治理單位良好的規劃，以降低導入的成本，以及確保智慧應用未來的延伸性和共用性。資訊系統架構必須要具彈性化，不同系統獲取的多元資料需要建立標準才能降低溝通成本，城市內眾多的實體物件的命名架構及其可辨識性亦需建立規則。相同或類似應用功能也不應重覆發展，應藉由規範功能 API 發展，使得不同城市在發展智慧城市之際，可以受惠於其他城市先前已完成的智慧功能。

城市治理的方式亦需積極的轉變，政府必須建立一個共同創造（co-creation）服務的機制，有效的整合利害關係人（stakeholders）共同創造服務或解決城市問題。智慧城市的效能在 IT 成熟度較低的行業，如農業和營造業，其不規範和動態的作業特質，亦可透過增加連通性與透明性達到顯著的改善。最後，智慧城市發展不應陷入技術推動方法的陷阱，而應採用服務驅動、以人為本的導向，並且必須努力確保以安全和健全的方式引導城市的發展和進步，以避免未蒙其利，先受其害。🌀