發佈：2021-07-22, 週四 11:39
點擊數：21636



在資訊科技越趨普及下，數位化席捲了通訊、工業和服務領域，改變了我們的工作和生活方式，影響了整體社會和經濟，雖然難以定義數位化下動態經濟格局的邊界，但主要有三個核心要素，分別為ICT產業、數位企業以及數位化的使用者（如下圖1）。首先，資通訊部門（Information and Communication Technology,

ICT）的IT

基礎設施作為經濟朝向數位轉型的

核心要素，而從根本上依賴ICT技術的數位平台企業

Phoca PDF

發佈：2021-07-22, 週四 11:39
點擊數：21636

如亞馬遜和阿里巴巴，構成了第二個要素，

最後則為數位用戶，主要指的是上述部門以外

的公司，這些公司主要將數位科技應用在流程和業務上，以擴充現有的價值創造模式（Value Creation Model）。

圖1 數位化經濟的三個核心要素



資料來源： (Beier et al., 2020a)

目前許多研究（Airehrour et al., 2019; ElMassah & Mohieldin, 2020 ; Santarius et al., 2020

）皆點出數位

化應用的日益增長可能促進

Phoca PDF

發佈：2021-07-22, 週四 11:39
點擊數：21636

人類社會朝向永續社會的轉型和發展，且

數位革命將有助於實現聯合國2030年永續發展目標（Sustainable Development Goal,

SDG）中與氣候變遷和環境相關的願景

。不過，工業流程的數位化（又稱工業4.0

、第四次工業革命）將對環境帶來什麼影響？我們該如何利用低碳能源系統來中和與數位科技一併成長的能源足跡？又人們將在這種新的生產模式中扮演什麼樣的角色等問題，都是我們在享受數位科技帶來的便利的同時，需要思考的議題。

圖2 聯合國永續發展目標



數位轉型的三個獨特變化過程

德國前瞻永續發展研究所（Institute For Advanced Sustainability Studies,

Phoca PDF

發佈：2021-07-22, 週四 11:39
點擊數：21636

IASS

）

在其

針對數位

經濟時代的挑戰與機會的研究中提到，整體經濟的數位化將分別影響資訊流（Information

Flows）、資源流（Resource Flows）與價值創造的模式（Value Creation

Model

），而唯有知悉它們變革的過程，才能使我們在打造更加永續的數位經濟體時，理解需面對的挑戰與該權衡的取捨（Beier et al., 2020a）。

不斷變化的資訊流

網路應用的變化展現在數位化經濟及工業4.0

的概念中，不同於過去，如

今資訊流動的界線越來越模糊，不只是在電子商務的金流和物流端，物聯網（Internet of Things,

IoT

）還被用在提升製造過程的效率，並透過將生產過程的資訊提供給生產者、客戶與最終用戶，促進工廠、製造系統和產品之間的訊息

交換，實現資訊技術（IT）與營運技術（OT

）的交叉，這種互聯性使企業能夠更靈活地協調分佈全球的生產流程。

變動的資源流

Phoca PDF

發佈：2021-07-22, 週四 11:39
點擊數：21636

在工業4.0

的背景下，生產過程中的數據的收集和分析都需要仰賴傳感器、執行器和通訊處理器等設備，這意味者ICT

的普及將使全球對鋰，鈷，銅，鉭，鎢和稀土金屬等原材料的需求增加，然而這些設備中有許多原料無法從已淘汰的設備有效回收。此外，ICT

設備所使用的原料主要來自發展中國家和新興工業化國家，而這些國家除了不人道的工作條件時有所聞，開採過程也經常為環境帶來損害。研究因此表明（Beier et al.,

2020a

）希望工業製程的數位化可以有效率地提高並封閉、縮短產品的循環生命週期，以促進循環經濟式的商業型態。

改變中的價值創造模式

工業4.0

涉及的轉型及其規模、範圍和複雜性，改變了公司的營運方式以及供應商、客戶和其他第三方之間的關係。經濟的數位化正在推動新的價值創造模式的出現，此模式係基於市場參與者的相互聯繫並利用大數據來最佳化經濟流程，而憑藉其廣泛的產品和服務、可負擔的價格和便利的支付方式，數位平台的出現可能成為消費增長的驅動力，但也可能鼓勵不永續的消費方式增長，例如外送經濟可能與減塑政策相互矛盾，因此目前也有專門開發永續商品，運用其利潤來支持永續發展的平台出現，如搜索引擎Ecosia

將其部分收入分配給減緩氣候變化的植樹項目，不過，這樣的商業模式在廣泛的市場中仍然佔很小一部分。

Phoca PDF

發佈：2021-07-22, 週四 11:39
點擊數：21636

就上述三層面在數位轉型中的變化，可以發現數位化經濟對環境的影響很大程度取決於它們所利用的技術、資源強度以及潛在的原料及能源組合

，然而，數位化經濟所帶來的挑戰絕不僅限於生態領域。事實上，社交媒體平台、線上零售商等數位公司的員工和承包商時常面臨惡劣的工作條件。同時，數位化經濟帶來的機會在全球範圍內分佈不均（SDG10），這係因為許多南方國家沒有足夠的數位建設和技術（SDG

9）。除非網際網路使用率達到30%，否則數位化將不會產生積極的經濟網絡效應（Gillwald,

2017

）。數位化經濟模式若沒有妥善處理上述

問題，將可能導致全球環境、機會不平等的問題越來越大。

數位手段或成雙面刃？

數位化與永續發展

目前數位化所面臨的挑戰大多集中在討論對環境帶來的影響上，一方面數位科技能透過改變人們的習慣降低生活中的碳足跡，也能應用在提升企業的能源效率。簡單舉例，隨著數位通訊技術的廣泛應用，差旅需求降低，加上疫情使大家習慣在家工作（Work From Home,

WFH），根據IEA（2020

）針對通勤趨勢與勞動力市場

的分析，如果全球每位工作允許採用WFH

的人每週僅在家工作一天，每年將為道

Phoca PDF

路運輸部門節省約1%

的全球石油能耗，中和掉增加的家

庭能源使用量，每年將減少2,400

WFH的人每週在家工作的時間都超過一天，那麼排放量的減少很有可能成比例地增加。

另一方面，越來越多企業將ICT

技術應用在工業流程中，以提升生產能效並減少能源消耗。例如，能源管理系統（Energy

Management System,

EMS）的導入將有助於企業了解設備的用電動態，

進而找到節能機會或是發現儀器問題；而ICT

應用在再生能源發電上，則可以幫

助發電端更輕鬆地應對、追蹤間

歇性再生能源發電的波動性，又AI技術加入互聯網系統（Artificial intelligence of things,

AIoT

），則可以辨別訊息與分類，並即時導出解決方案讓整體流程更加有效率。雖然目前數位化能否幫助企業全面追蹤其價值鏈對環境的影響還有待觀察，但可以確定的是，企業數位化管理可以在該領域做出許多重要貢獻，因為製程數據（例如，機械材料管理和能源效率評估）可用性的提高除了能夠協助計算生態足跡，也可以支持企業投入開發資源效率更高的產品，而在私部門採用數

Phoca PDF

Beier et al., 2020a）。

不過，目前台灣有關數位智慧科技以及永續發展這兩類的政策，基本上是平行發展並因決策層級和目的的不同無顯著交集。舉例來說，發展5G，AI
這類的智慧應用政策，大多都由行政院、國發會主責決策，並直接發給下層執行單位，而節能、減碳這類型的措施則主要由環保署負責統籌後將初步草案和執行建議送進行政院。因此對於政府來說，將數位技術用在達到永續發展上的想法，尚須經過組織的調整和思維的轉換。而若民間企業能作為「利用數位手段達成永續發展」的先行者，透過調整商業模式帶動下游廠商以及消費者的參與，讓社會共同參與轉型，也可以加速政府在相關政策和規範的訂定。

數位科技的硬傷

另一方面，在Beier等人（2020b）針對工業4.0
所做的文獻回顧當中也提到，工業物聯網的概念和解釋中很少考慮到對生態的影響，以及外部成本的問題。如同其他部門，ICT
產業在脫碳工作上也同樣面臨挑
戰。以台灣為例，根據能源局（2021）統計，2020台灣ICT產業電力消費約為556
億度，為全台電力消費的20%，且其中單一家台積電就佔全台用電量約5%（RE100,
2020
）。事實上，儲存和
處理演算法的數據中心相當耗能，舉例來

Phoca PDF

說，訓練單個AI系統的碳足跡可能高達284公噸CO2e

，將近普通汽車生命週期排放量的5倍（Strubell, Ganesh & McCallum,

2019

），而數位設備（尤其是智慧型手機）的生命週期短、硬體的可修復性和可回收性差，也與循環經濟的發展目標（SDG 12）背道而馳（Renn et al.,

2020），研究指出每年約有2,000到5,000

萬噸不等的電子廢物，正在對環境造成不可逆的損害，且垃圾掩埋場中的大多數重金屬來自電子廢棄物，而讓這些有毒物質排放的災難性結果便是地下水的污染（SDG 6, 14）（Airehrour et al., 2019），因此，將綠色概念放進商業策略中（設計、製造）相當重要。

而為解

決傳統數據中心耗電量大的問題，許多組織正在採用遠端共享式的雲端計算服務（Airehrour et al.,

2019

）以節能並節省成本，除此之外，蘋

果、谷歌和微軟等主要ICT和數位平台也已承諾透過使用100%

再生能源來限制該行業不斷增長的能源需求所對環境造成的影響，這些企業近期也有透過管制供應鏈的碳排要求，例如蘋果於2015年起啟動的「供應商潔淨能源專案」（Supplier Clean Energy Program），即促使廠商承諾所有供給蘋果產品製程的電力，需100%來自潔淨能源（SDG

13）。另外，能源科技以及ICT技術進步將對環境帶來的正面影響也是可以期待的（SDG 9）。

數位轉型與勞動力

Phoca PDF

發佈：2021-07-22, 週四 11:39
點擊數：21636

然而，雖然工業的數位化轉型在資源節省方面蘊藏著機遇，但也帶來了包括就業機會不平等以及失業等風險。數位化一方面為相關產業創造了高薪工作，另一方面，隨著辦公場所的數位化，許多工作正在消失，例如線上購物平台的出現對零售業帶來了衝擊、機器的自動化則影響了製造業勞工、人工智慧的出現可以直接替人類處理許多例行性的任務、甚至做出更佳的決策。因此，找到能使失業率保持在低水平、又能支持被數位革命帶來負面影響的解決方案相當重要。從過去的經驗來看，被創新技術取代的傳統工作不勝枚舉，例如馬達取代了燃煤蒸氣鍋爐，背後就代表著許多相應的產業鏈工作將逐一被淘汰。不過，過去這些技術發展同時也創造了許多新的工作機會，對工作的淨影響似乎是積極的。而工業4.0
是否會同樣帶來積極影響，仍是尚未被解答的問題 (Balsmeier and Woerter, 2019) 。

意識到未來有許
多工作將可能被人工智慧取代，
以及將會需要大量了解如何運用ICT
技術的人才，許多國家已陸續將數位化訓練放入學校以及職業培訓的課程中，讓各領域人才在接受早期教育時就能學習如何使用資訊、電機相關技術（SDG
4），如歐盟近期發布的2030數位指南（European Commission,
2021
）就提
到，獲得基本
數位技能應是所有歐盟公民
的權利，終身學習應成為現實，並預計到2030年將有80%
成年人具有基本數位技能。此外，由於企業在支持勞動力市場轉型中也發揮關鍵作用，而目前超

Phoca PDF

過70%的企業表示缺乏具備足夠數位技能的員工（European Commission,

2021

），因此公司增加對員工的數位培訓、加強關鍵技術的研發投資也是第四次工業革命中不可或缺的行動（Gay,

2017

）。數位培訓和教育應為勞動力提供支持，使人們可以掌握專門的數位技能，從而獲得體面、報酬豐厚的工作（SDG

8）。同時，若ICT產業人才能跨出ICT領域，去了解非ICT領域如何運用ICT

技術，則可以加速產業數位轉型的進程，並減少職能、人才的失調（mismatch）。

而歐盟除了增加對內部數位人才的投資外，其在2030

數位指南中也強調，在會員國內採取的行動應輔之以在全球範圍內增強數位素養（digital

literacy）以實現對聯合國永續發展目標的支持（SDG 10, 17），如Erasmus

+計劃將為第三國的數位工程師和專家提供機會（SDG

8

），並協助增加他國的數位學習環境，此外歐盟也通過專門項目支持非洲政府，使當地學校和教育機構制定通用的數位技能課程（SDG 4）。

數位化邁向永續的未竟之路

數位化可以說是全球化的一種新形式，它除了改變跨境業務開展的方式也降低了全球經濟參與的門檻，與全球化不同的是，大型跨國公司和金融機構不再扮演主要的行動者，如今，龐大的數據

Phoca PDF

和訊息流確保了數位時代下的經濟、金融和社會間的聯繫不段增長和擴大，企業家、藝術家、工程師、自由業者、小型企業甚至個人都可以直接在具有影響力的數位平台上參與（Schilirò, 2020）。

不過，機會與風險通常是緊密相連的，為了避免或減少這些風險並為永續發展提供機會，需要採取新的社會舉措來幫助塑造利於數位技術和服務的環境（Renn et al., 2021），且只有在轉型一開始就包含明確意圖，並設定長期路徑，數位轉型才有望為產業永續發展作出貢獻（Beier et al., 2020b）。而工業4.0
若沒有考慮轉型對社會、環境和經濟的潛在影響，則會像重蹈過去全球化和工業革命帶來的傷害，忽視相對脆弱的族群並且對環境造成破壞。

如前所述，數位化浪潮將席捲而來並改變我們的生活模式，同時氣候危機也正需要我們做出行動去調適和減緩，因此如何將永續的概念放入整體社會數位轉型的過程，是目前相關政策需要引導和協助的。雖然在生態、經濟和永續的社會層面之間發生的衝突和困境，將需要痛苦地做出權衡和折衷，不過，如果利益相關者皆願意參與設計與永續發展一致的
治理目標和規則的過程，則可以解決或部分解決大多數的難題（Renn et al., 2021），另一方面，數位科技日新月異的發展加上行為者的參與，也將使數位化在支持社會和產業的永續轉型方面具有巨大的潛力。

Phoca PDF

References:

經濟部能源局（2021）。〈能源統計月報，發電量_歷年〉。2021/4/15檢索。

經濟部能源局（2021）。〈能源統計月報，電力消費_歷年〉。2020/4/15檢索。

Airehrour, D., Cherrington, M., Madanian, S., & Singh, J. (2019). Reducing ICT carbon footprints through adoption of green computing. In 10.12948/ie2019. 04.17. Academy of Economic Studies in Bucharest. Department of Economic Informatics and Cybernetics.

Balsmeier, B. and Woerter, M. (2019) 'Is this time different? How digitalization influences job creation and destruction', Research Policy, 48(8), p. 103765. doi: 10.1016/j.respol.2019.03.010.

Beier, G., Fritzsche, K., Kunkel, S., Matthess, M., Reißig M., Zyl-bulitta V. (2020a) 'A Green Digitalized Economy? Challenges and Opportunities for Sustainability', Iass Fact Sheet 1/2020, (April).

Beier, G., Ullrich, A., et al. (2020b) 'Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes – A literature review', Journal of Cleaner Production, 259. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120856.

Phoca PDF

ElMassah, S. and Mohieldin, M. (2020) 'Digital transformation and localizing the Sustainable Development Goals (SDGs)', Ecological Economics, 169(March 2019), p. 106490. doi: 10.1016/j.ecolecon.2019.106490.

European Commission. (2021). 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade. Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX :52021DC0118 Retrieval Date: 2021/05/10.

Gay Marco. (2017). Digitalisation is like globalisation: it needs to be managed and governed. Shaping Europe's digital future, EU Commission. Available at: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/blog/digitalization-globalization-it-needs-be-managed-and-governed Retrieval Date: 2021/05/07.

Gillwald, A. (2017). Beyond Access: Addressing Digital Inequality in Africa. Hg. v. Center for International Gov- ernance Innovation und Chatham House (Paper Series, 48).

IEA (2020), Working from home can save energy and reduce emissions. But how much?, IEA, Paris. Available at: https://www.iea.org/commentaries/working-from-home-can-save-energy-and-reduce-emissions-but-how-much Retrieval Date: 2021/05/07

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., Koomey, J. (2020) 'Recalibrating global data center energy-use estimates', Science, 367(6481), pp. 984–986. doi: 10.1126/science.aba3758.

Renn, O., Beier, G. and Schweizer, P.-J. (2021) 'The opportunities and risks of digitalisation for sustainable development: a systemic perspective', GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society, 30(1), pp. 23–28. doi: 10.14512/gaia.30.1.6.

Renn, O., Beier, G. and Schweiz, P. (2020) 'Systemische Chancen und Risiken der Digitalisierung', (November). Available at: https://www.iass-potsdam.de/sites/default/files/2020-12/Thesenpapier Digitaler Summit.pdf.

RE100 (2020). Meeting demand with supply: renewable energy market briefing Taiwan. https://www.there100.org/our-work/publications/meeting-demand-supply-renewable-energy-market-briefing-taiwan Retrieval Date: 2021/02/13.

Santarius, T., Pohl, J., & Lange, S. (2020). Digitalization and the Decoupling Debate: Can ICT Help to Reduce Environmental Impacts While the Economy Keeps Growing? Sustainability, 12(18), 7496. doi:10.3390/su12187496

Schilirò, D. (2020) 'Towards digital globalization and the covid-19 challenge', International Journal of Business Management and Economic Research, 2(11), pp. 1710–1716.

Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and policy considerations for deep

learning in NLP. arXiv preprint arXiv:1906.02243.

United Nations (2020). United Nations Secretary-General's Roadmap For Digital Cooperation. https://www.un.org/en/content/digital-cooperation-roadmap/ Retrieval Date : 2021/2/22.

[1]
此文章係為臺大風險社會與政策研究中心進行中的「臺灣2050前瞻轉型研究計畫」之關聯研究。

作者 周姵妤 為台大風險中心助理研究員

Phoca PDF