



E-PAPER

人工智能 與氣候變化

人工智能與氣候變化目標
結合的機遇、考慮及政策

Lynn H. Kaack, Priya L. Donti,
Emma Strubell, David Rolnick

 **HEINRICH BÖLL STIFTUNG**
HONG KONG
Asia | Global Dialogue

作者簡介

Lynn H. Kaack 蘇黎世聯邦理工學院 (ETH Zürich) 能源政治組的博士後研究員及講師、Climate Change AI 理事、奧地利機械人及人工智能委員會成員。她的研究採用統計及機器學習方法，為能源界就緩解氣候政策提供資訊。Kaack 博士擁有卡內基梅隆大學工程和公共政策博士學位，及機器學習碩士學位。

Priya L. Donti 卡內基梅隆大學 (Carnegie Mellon University) 計算機科學與公共政策博士研究生、Climate Change AI 理事、美國能源部計算科學研究學人。她的研究處於機器學習、電力系統，和減緩氣候變化的交叉領域，探索如何將領域知識（例如電力系統物理）納入機器學習模型。

Emma Strubell 卡內基梅隆大學語言技術研究所助理教授。她在「綠色人工智能」方面的研究，位於自然語言理解和機器學習的交叉領域，獲頂級機構的最佳論文獎，曾被《紐約時報》與《華爾街日報》等新聞媒體引述。

David Rolnick 麥吉爾大學 (McGill University) 計算機科學學院及米拉魁北克人工智能研究所 (Mila Quebec AI Institute) 助理教授、Climate Change AI 理事、Sustainability in the Digital Age 科學聯席總監。Rolnick 博士曾任 NSF 數學科學博士後研究員、NSF 研究生研究員、Fulbright 學人，獲麻省理工大學應用數學博士學位。

目錄

前言	4
摘要	5
1. 甚麼是人工智能？	5
2. 人工智能與氣候變化	6
緩解及適應氣候變化的AI應用	6
增加排放或帶來不確定影響的AI應用	10
AI的能源運用	11
3. 槓桿型政策工具	11
4. 政策相關的考慮	12
5. 結論	13
推薦書目	14
參考資料	15

前言

如何使用數碼科技，實現可持續經濟轉型，已成為歐洲與德國政策討論的焦點。

近年機器學習的技術突破，提升了大家的期望，寄望人工智能（AI）可幫助人類邁向實現聯合國可持續發展的目標。另一方面，視乎應用類型及配置環境，也有論者擔心AI或AI驅動的技術，可成為另一股消耗環球資源及碳排放的推動因素。

實際的後果，受到多重因素的塑造和影響。例如用於衛星圖像分析的遙距感應算法，可用於收集農業生產力資訊、預測建築物的能源消耗，但也可用於加速石油與天然氣勘探。自動駕駛汽車可以提高駕駛效率，但也可能進一步增加人類的駕駛活動。

本報告的幾位作者，是北美和歐洲在機器學習和政策範疇具領導地位研究機構的專家，致力辨識和促進有利氣候變化的機器學習技術應用，並對可能損害地球環境的技術提出警告。本報告概述了AI應用的具體好處，包括為氣候建立模型、電池開發、電力網絡，和食品安全等領域，並探討AI可能透過甚麼途徑，在應付氣候變化的工作上產生負面影響。

幾位作者避免將科技吹捧為解決困擾地球各項問題的靈丹妙藥，提醒當我們迎向可持續的未來，AI的角色，最終將取決於人類的抉擇。使用AI是否可以減少——而不是增加——資源的消耗與排放，將取決於明智的政策、監管框架，和鼓勵誘因。

我們感謝幾位作者——Priya Donti、Lynn Kaack、David Rolnick 和 Emma Strubell——讓我們了解他們各個領域的最新發展，就如何評估這些技術對環境和廣泛社會的影響，提供了寶貴見解。我們希望這份報告有助建立共同基準去評估現有政策，並作為起步點，促進各界就未來的政策選項，進行知情的討論。

Vérane Meyer

數碼政策部門主管

Heinrich-Böll-Stiftung，柏林

Sabine Muscat

科技及數碼政策計劃主管

Heinrich-Böll-Stiftung，華盛頓

Zora Siebert

歐盟政策計劃主管

Heinrich-Böll-Stiftung，布魯塞爾

摘要

隨著人工智能 (AI) 技術在社會的配置日漸普及，了解AI可如何加快或阻延氣候變化、各方持份者能夠如何引導相關發展，已成為重要課題。一方面，AI能促進氣候變化的緩解及適應策略，遍及能源、製造、農業、林業，及災害管理等界別。但與此同時，AI應用可能惠及高排放行業、推動消費者需求，而AI應用本身也會消耗能源，進一步增加溫室氣體的排放。我們在此概述AI與氣候變化之間的多重關係，並推薦槓桿型政策工具，將AI結合到氣候變化的緩解及適應途徑上。

1. 甚麼是人工智能？

人工智能 (AI) 是指任何讓電腦去執行複雜任務的演算法。近年，機器學習 (ML) 作為人工智能的子領域，即從數據中提取特徵和規律的技術，取得可觀進展。顯著成功的AI領域，包括電腦視覺（解釋影像的內容）、自然語言處理（詞語和文字的語法剖析）、時間序列分析（例如預測未來情況），以及系統控制（操作複雜系統）。目前市面上已出現許多具備上述功能、開箱即用的AI工具。AI研究的前沿領域，不少屬於交叉課題，例如可解釋性 interpretability（解釋預測正確的原因）、量化不確定性 uncertainty quantification（校準預測事件的置信度 confidence），以及小樣本學習 few-shot learning（在可用數據很少時獲取分析結果）。

AI方法現已廣泛應用，例如協助醫生標記醫學影像、檢測自動駕駛汽車的障礙物，以及預測消費模式並投放廣告。一如其他工程及科學的基本工具，AI能夠促進種類繁多的應用。

2. 人工智能與氣候變化

鑑於應用廣泛，AI與機器學習的影響，取決於社會選擇的使用方法。應付氣候變化是重要議題，應評估AI在應付氣候變化上的潛在影響。

緩解及適應氣候變化的AI應用

就緩解與適應氣候變化，AI可在研究、工程與政策上，提供有用方法。我們在此概括介紹幾個AI提供協助的模式，每個模式配上深入範例，以具體說明。

- **收集信息：** 當決策者難以取得與政策相關的資訊時，AI可通過分析大量原始數據（例如地理空間圖像、文字檔案，或感測器數據）來為部分資訊作出估計。例如，AI可以應用於衛星圖像，幫助查明溫室氣體排放源、收集有關建築物能源效益特徵的資訊，並追蹤森林砍伐的情況。

範例：利用AI改善食品安全

氣候變化會造成更頻繁和嚴重的風暴、旱災、洪水，以及病蟲害的蔓延，對農業產生越來越大的影響。隨著高解像度衛星與航拍圖像的廣泛使用，人類可以大規模監測農作物狀況和農業產量，並設計預警系統，及早預防危機。AI正用於自動化上述工作流程，大大增加了可供分析的圖像數量，並從中擷取人類難以察覺的細微線索。例如，專家可以使用AI在幾張圖像中標記覆蓋作物，然後讓演算法學習在大範圍內進行自動推斷。這應用範疇的主要參與者，包括政府計劃（例如 NASA Harvest¹ 和 Copernicus Land Monitoring Service²）、非政府組織（例如 GEOGLAM³），和大量私營企業（例如 Indigo Atlas Insights⁴）。

1. NASA Harvest: <https://nasaharvest.org/>
2. Copernicus Land Monitoring Service: <https://www.copernicus.eu/en/services/land>
3. GEOGLAM: <http://earthobservations.org/geoglam.php>
4. Indigo Atlas Insights: <https://www.indigoag.com/atlas-insight>

- **預測：** AI可通過分析歷史數據，協助進行量向預測，例如風力發電、運輸需求，和極端事件等。預測化為預見能力，在優化供電系統、基建規劃、災難管理等領域上，需求極為殷切。

範例：太陽能光電(PV)即時預報

當電力系統運營商在供電網中大幅度使用太陽能和風能，發電管理越來越依靠短期預測，亦稱「即時預報」。使用歷史數據，AI有助了解電力生產與當地天氣等因素之間的相關性，分析結果可用於預測未來的電力生產。例如，非牟利組織 Open Climate Fix⁵ 正在開發開源的即時預報模型，可識別衛星圖像中的雲量，將之與其他天氣和位置數據結合，從而更準確地預測未來幾個小時的太陽能發電量。另一個例子是美國能源部與國家大氣研究中心，合作開發以概率及多時間尺度為基礎的模型，可提前高達 72 小時預測太陽能發電量 [Haupt et al. 2016]。

- **提高運營效率：** 透過系統優化，AI 有助提高現存系統的效率。應用實例包括管理工業供暖及冷卻系統、貨運整合，及減低食品行業的浪費。

範例：暖氣、通風及空調 (HVAC)系統控制

暖風空調 (HVAC) 系統佔建築物能源消耗量的一半以上，現實中目前的系統在樓宇的熱力學、使用模式和設備限制上，仍有很大的改進空間。以AI為基礎的控制策略，有助改善暖風空調系統的運作，以提高其效率。例如強化學習⁶ [Wang and Hong 2020]、與AI結合的模型預測控制⁷ [Drgoňa et al. 2020, Drgoňa et al. 2018] 等技術已用於商業及住宅樓宇，以制訂最佳暖風空調控制策略。AI驅動的 control 策略也可用於工業環境，例如英國AI公司 DeepMind，為谷歌數據中心的 HVAC 開發了上述方法，效率取得了可觀提升 [Gamble and Gao 2018]。

5. Open Climate Fix: <https://openclimatefix.org/>
6. 強化學習是機器學習的一個領域，演算法嘗試學習策略，通過與環境互動，儘量將出現理想結果的機會率，提升到最高。
7. 模型預測控制是一種控制工序的方法，把工序的未來狀態納入考慮範圍內，已廣泛應用於各行各業。

- **預測性維護：** 通過及早檢測故障，AI有助提高基礎設施安全、降低成本，並提高系統的能源效益。 例如，AI已用於檢測天然氣管道的洩漏、識別太陽能電池板的輸出異常，以及預測基礎設施或工業設備的故障。

範例：鐵路系統維護

在客運與貨運交通減低碳排放的問題上，鐵路系統能發揮關鍵作用。要提高鐵路系統面對高碳運輸方式的競爭力，需要多管齊下。 預測性維護技術是其中一種方法，能提高效率、減少昂貴的維修需求。 AI通過大規模分析感測器數據，能為預測性維護系統提供資訊，以檢測目前或未來的異常情況。 例如，Deutsche Bahn⁸ 正在開發AI技術，分析來自聲音感測器和視頻設備的數據，以預測機械故障、監控鐵路設備的狀態。 其他應用研究包括大規模分析振動數據和視頻圖像，與現存有關軌道特徵的知識結合，為鐵路維護決策提供指引 [Jamshidi et al. 2018]。

- **加快科學實驗速度：** AI有助加快科學發明的進程，例如從過往的實驗中學習，提出成功機會較高的未來實驗。 在這基礎上，AI有助加快無污染技術的發展，例如電池或新一代太陽能電池。

8. Deutsche Bahn: https://www.deutschebahn.com/en/Digitalization/technology/New-Technology/artificial_intelligence-3520346

範例：電力儲存技術的研究及開發

在交通和電力行業中，電池及電力的儲存，普遍被視作減碳策略的關鍵環節，而相關科技在性能和成本上，仍有顯著的改進需求 [Beuse et al. 2020]。AI已開始在電池行業的研發 (R&D) 工作上取得成功，例如研究人員已證明，使用AI進行數據分析，可用於評估電池的容量退化，這一點目前業界仍知之甚少 [Severson et al. 2019]。AI亦可用於加速發現新的電池材料 [Jain, et al. 2013]，例如通過分析大型材料數據庫，從而推薦下階段可試用的物料。這種AI衍生的研發方法，正開始應用於電池行業中。⁹

- **對耗時密集的模擬，進行近似計算：** 對於氣候物理或工程系統中，運算密集的模擬模型，AI可以幫助加速運算。例如，AI可挑選氣候模型和電力系統優化模型內的特定部分，協助進行近似值模擬；並已用於城市規劃工具的加速，幫助實時決策。

範例：本地的氣候模型

氣候科學家對氣候變化所涉及的因素（例如大氣和海洋物理學）有準確的了解，但運行以物理為基礎的氣候模型時，需要耗費大量時間，並需要密集的運算，部分模擬更需要使用大型超級電腦。雖然AI無法取代建基於物理的模型，但在某些情況下，AI可以為這些模型中特別耗時的部分，提供快速的近似模擬。例如，通過觀察更精確模型的預測，AI可以學習到雲物理（氣候模擬的一個重要組成部分）的粗略模型，協助整個氣候模型運行得更有效率。若要對地球上某個確切位置的氣候變化進行精細預測，完整的物理模擬會非常耗時。採用AI近似模擬，卻能讓地方層面的決策更加明智，例如規劃可抵禦極端情況的基礎設施，還可節省運行超級計算機獲取精確氣候模型所需的能源。愈來愈多氣候科學家，已將AI納入他們的運算管道（參見 [Reichstein et al. 2019]、AI2ES initiative¹⁰）。

9. 參與者如 Aionics、Accure 與 Twice。

10. NSF AI Institute for Research on Trustworthy AI in Weather, Climate, and Coastal Oceanography (AI2ES): <https://www.ai2es.org/>

增加排放或帶來不確定影響的AI應用

鑑於AI的廣泛應用，可能助長另一批應用，對緩解氣候變化與適應策略帶來負面影響。例如，AI廣泛用於促進石油與天然氣的勘探和開採；高度依賴AI的自動駕駛汽車，視乎具體配置條件，可能導致交通運輸界的排放量增加；而AI推動的營銷或製造創新，則有可能增加商品和服務的消費，從而提高排放量。這些AI應用對氣候的影響尚未經過充分研究，但潛在影響可能很大。

範例：石油與天然氣的勘探和開採

AI已廣泛應用於化石燃料行業。例如近期一份報告詳細介紹了，大型科技公司如何用AI幫助石油和天然氣公司辨識和模擬開採地點、優化輸送管道以擴大化石燃料的運輸和儲存能力、改進煉油工序，並促進化石燃料衍生產品的市場營銷 [綠色和平 2020]。一些報告估計到 2025 年，AI和其他數碼科技可為石油和天然氣行業創造高達 4,250 億美元的價值 [Spelman et al. 2017]。這不僅對增加排放帶來直接影響，還可能提高化石燃料技術的競爭力，從而減緩朝向低碳技術的過渡 [Victor 2019]。

範例：自動駕駛汽車

AI是自動駕駛汽車 (AV) 技術的發展關鍵，有AI才可能出現自動駕駛汽車、貨車、送貨機械人、無人機等的發展。自動駕駛汽車可能對客運和貨運帶來根本的變化，影響到車輛設計、交通流量，和運輸需求。雖然自動駕駛汽車的部分特性可以減少駕駛時的能源消耗（例如隊列行駛 platooning、¹¹ 生態駕駛，以及將自動駕駛汽車與低碳交通結合），但自動駕駛汽車有可能導致更多能源消耗，例如降低個人化交通工具的使用門檻、增加行駛里數，並吸引乘客和貨物從鐵路等低碳交通工具流向高碳模式 [Wadud et al. 2016]。

11. 隊列行駛(platooning)是指讓貨車在行駛時彼此靠近，由AI技術推動，通過減少空氣阻力，提供較佳燃料效益。

AI的能源使用

運行AI演算法會直接耗用能源，而不同演算法之間，耗用能源量的差異相當大。大多數廣泛使用的AI系統耗電量很少，能在標準筆記簿電腦或智能手機上運行。能源消耗量較高的AI系統往往用於研究，當中估計碳影響值最高的型號，大概與一輛汽車的生命週期排放量相若 [Strubell et al. 2019]。社會上目前缺乏AI總耗電量的統計數據，但國際能源署 (International Energy Agency) 報告稱，目前數據中心消耗的電力約佔全球電力的 1% [IEA 2019]，其中AI只佔有限的部分。除用電量外，也要考慮到所使用硬件相關的嵌入式排放 (embedded emissions)。測量單一AI模型的耗能量相對容易，由AI驅動應用的整體氣候影響則較難估算，但我們預期後者將對溫室氣體排放 (包括正面和負面) 產生更大的影響。我們應繼續監察這範疇的未來趨勢。

3. 槓桿型政策工具

要在緩解和適應氣候變化途徑上妥善地結合AI應用，我們相信制定政策者需要在三個主要領域採取行動：(a)在開宗明義旨在應付氣候變化的應用中，促進AI的研究、開發和配置；(b) 監管由AI驅動的科技，在新興或已投入應用的各個經濟範疇，所帶來的影響；及 (c) 對AI和氣候變化的交叉領域，提高公營部門的監管和創新能力。我們建議在以下範疇，考慮實施槓桿型政策工具。整體而言，我們強調氣候變化和AI方面的政策制定，對妥善塑造鼓勵誘因和實現發展，至關重要。

促進有利氣候的AI研究、開發和配置

- 促進計算機科學，與氣候相關學科 (例如工程、經濟學、城市規劃) 在交叉領域的跨學科應用研究。
- 在緩解和適應氣候變化範疇上，開拓各類研究、開發與示範 (RD&D) 計劃，推進AI應用技術更趨成熟。
- 對於緩解及適應氣候變化的相關部門和行業 (例如電力部門)，配置AI技術方面，減少監管障礙。

監管由AI驅動的技术對排放的影響

- 在AI驅動新興技術（例如自動駕駛汽車或共享經濟應用）的相關法規內，納入對氣候影響的考慮，令AI技術與緩解及適應氣候變化的途徑，有較佳結合。
- 制定經濟鼓勵誘因和監管要求（例如通過碳稅、排放權限額與交易計劃），減少溫室氣體排放，並避免將AI用於提高工業效率時，出現碳排放的反彈效應。
- 在適用情況下，強制要求AI界別保持透明度，提供溫室氣體排放或能源消耗影響的報告，包括生命週期影響，以及外部成本（externalities）效應。

促進公營機構的AI和數據共享

- 公營機構內部，在有益情況下，發展或增強AI配置能力。
- 收集持份者（例如民間社會、業界）的反饋意見。在AI項目的範圍界定、設計、配置過程中制定流程，納入技術參與者及受影響人士的意見。

4. 政策相關的考慮

AI系統可能存有風險，以及意想不到的後果。歐盟委員會AI高級專家組定義了可信任AI的七項要求 [AI HLEG 2019]；這些考慮同樣適用於與氣候變化相關的應用，及其他範疇。以下議題，尤其適用於氣候策略：

- **影響的評估標準：** 關於AI對氣候影響的可用數據，存在訊息不對稱的基礎。尤其是，AI模型的能源消耗量相對容易估計，但應用個案的氣候影響數據卻很少。儘管如此，考慮到AI行業的快速發展，相關政策宜雙管齊下，既回應能源使用，也積極應對特定應用對氣候的影響。
- **公平：** 各級管治部門在制定緩解和適應氣候變化策略時，應抱持公平作為核心考慮因素。AI驅動的系統，有可能加劇社會上的不平等，例如擴大數碼鴻溝、出現演算法偏差等問題。
- **權力轉移：** AI的使用，有可能改變公共和私營機構之間的權力結構，視乎誰控制相關數據、數據分析能力和智力資本的（不均勻）分佈，以及取用和維護分析結果的權限條件。許多氣候策略都是由公營機構制定和實施的，有意採用AI技術的公營機構，在制定決策發展內部能力時，宜考慮上述因素。

- **關鍵基礎設施：** 能源行業是緩解氣候變化的核心界別，也被視為關鍵基礎設施。這方面的AI應用，必須包含安全考慮，具備保安功能。

5. 結論

在未來的年月，我們選擇應用AI的方式，對社會實現氣候變化目標的進程，將產生重大影響。AI作為應用廣泛、力量強大的工程工具，是具有加速潛力的兩刃劍——它既能幫助緩解和適應氣候變化，亦可能窒礙各界應對氣候變化的努力。政策將會擔任重要角色，確保人類應用AI的方式能結合氣候變化策略，符合當前和未來社會的福祉。

推薦書目

緩解及適應氣候變化的AI應用

- Rolnick, D., Donti, P.L., Kaack, L.H., Kochanski, K. et al., 2019. Tackling climate change with machine learning. arXiv preprint arXiv:1906.05433
- IEA (2017), Digitalisation and Energy, IEA, Paris
- Deutsche Energie-Agentur, 2020. Artificial Intelligence – from Hype to Reality for the Energy Industry

增加排放的AI應用

- Costas Samaras, various articles on the climate and energy impacts of autonomous vehicles
- Donaghy, T., Henderson, C., and Jardim, E., 2020, Oil in the Cloud: How Tech Companies are Helping Big Oil Profit from Climate Destruction, Greenpeace Reports

能源用途上的AI

- IEA (2019), Data centres and energy – from global headlines to local headaches?, IEA, Paris
- Strubell, E., Ganesh, A. and McCallum, A., 2019. Energy and policy considerations for deep learning in NLP. arXiv preprint arXiv:1906.02243
- Schwartz, R., Dodge, J., Smith, N.A. and Etzioni, O., 2019. Green AI. arXiv preprint arXiv:1907.10597

政策考慮

- High-Level Expert Group on Artificial Intelligence (AI HLEG), EU Guidelines for Trustworthy AI (2019)

參考資料

- Beuse, M., Steffen, B. and Schmidt, T.S., 2020. Projecting the Competition between Energy–Storage Technologies in the Electricity Sector. *Joule*, 4(10), pp.2162–2184.
- Drgoňa, J., Arroyo, J., Figueroa, I.C., Blum, D., Arendt, K., Kim, D., Ollé, E.P., Oravec, J., Wetter, M., Vrabie, D.L. and Helsen, L., 2020. All you need to know about model predictive control for buildings. *Annual Reviews in Control*.
- Drgoňa, J., Picard, D., Kvasnica, M. and Helsen, L., 2018. Approximate model predictive building control via machine learning. *Applied Energy*, 218, pp.199–216.
- Gamble, C. and Gao, J., 2018. Safety–first AI for autonomous data centre cooling and industrial control. Available at: <https://deepmind.com/blog/article/safety–first–ai–autonomous–data–centre–cooling–and–industrial–control>
- Greenpeace, 2020. Oil in the Cloud: How Tech Companies are Helping Big Oil Profit from Climate Destruction. Available at: <https://www.greenpeace.org/usa/reports/oil–in–the–cloud>
- Haupt, S.E., Kosovic, B., Jensen, T., Lee, J., Jimenez, P., Lazo, J., Cowie, J., McCandless, T., Pearson, J., Weiner, G. and Alessandrini, S., 2016. The SunCast solar–power forecasting system: the results of the public–private–academic partnership to advance solar power forecasting. National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder (CO): Research Applications Laboratory, Weather Systems and Assessment Program (US).
- High–Level Expert Group on Artificial Intelligence (AI HLEG), EU Guidelines for Trustworthy AI (2019). Available at: <https://ec.europa.eu/futurium/en/ai–alliance–consultation/guidelines>
- IEA (2019), Data centres and energy – from global headlines to local headaches?, IEA, Paris. Available at: <https://www.iea.org/commentaries/data–centres–and–energy–from–global–headlines–to–local–headaches>
- Jamshidi, A., Hajizadeh, S., Su, Z., Naeimi, M., Núñez, A., Dollevoet, R., De Schutter, B. and Li, Z., 2018. A decision support approach for condition–based maintenance of rails based on big data analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, pp.185–206.

A. Jain, S.P. Ong, G. Hautier, W. Chen, W.D. Richards, S. Dacek, S. Cholia, D. Gunter, D. Skinner, G. Ceder, K.A. Persson. The Materials Project: A materials genome approach to accelerating materials innovation. *APL Materials*, 2013, 1(1), 011002.

Reichstein, M., Camps-Valls, G., Stevens, B., Jung, M., Denzler, J. and Carvalhais, N., 2019. Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. *Nature*, 566(7743), pp.195–204.

Severson, K.A., Attia, P.M., Jin, N. et al. Data-driven prediction of battery cycle life before capacity degradation. *Nat Energy* 4, 383–391 (2019).

Spelman, M., Ashraf, M. and Weinelt, B., 2017. Digital Transformation Initiative—Oil and Gas Industry. In *World Economic Forum: Geneva*.

Strubell, E., Ganesh, A. and McCallum, A., 2019. Energy and policy considerations for deep learning in NLP. *arXiv preprint arXiv:1906.02243*.

Victor, D.G., 2019. How artificial intelligence will affect the future of energy and climate. Available at: <https://www.brookings.edu/research/how-artificial-intelligence-will-affect-the-future-of-energy-and-climate>

Wadud, Z., MacKenzie, D. and Leiby, P., 2016. Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 86, pp.1–18.

Wang, Z. and Hong, T., 2020. Reinforcement learning for building controls: The opportunities and challenges. *Applied Energy*, 269, p.115036.

人工智能與氣候變化

人工智能與氣候變化目標結合的機遇、考慮及政策

繁體中文版

出版：Heinrich–Boell–Stiftung Asia Ltd.

中國香港黃竹坑道 49 號得力工業大廈 22 字樓 E 室

info@hk.boell.org

編輯：蕭亮思

中文翻譯：Crimson Interactive Inc (Ulatus) – www.ulatus.com

排版：蔡喬匡

發行：<https://hk.boell.org/>

發行日期：2021年12月

授權：知識共享許可協議 Creative Commons (CC BY–NC–SA 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

本報告觀點來自幾位作者，不一定反映 Heinrich–Böll–Stiftung 或 Climate Change AI 的立場。