

壹、前言

2022年9月發布之《2022年聯合國科學報告》(United in Science 2022)指出,2018年至2022年之全球均溫已較1850年至1990年工業革命前水準上升1.17度,¹逐步逼近2015年《巴黎氣候協定》(Paris Agreement)希望將升幅控制在1.5度以內的限度。而依據2022年2月聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第6次評估之第二工作小組報告《衝擊、調適與脆弱度》(AR6 WGII ‘Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability’)顯示,升溫幅度、極端氣候與天氣事件的增加,會使全球部分區域的跨國衝突情勢惡化或延長;²極端氣候與天氣事件頻繁發生的「新常態」(new normal),對於維繫國家安全及區域穩定的國防單位帶來極大挑戰。一方面,當大型自然災害發生前後,國防單位需要出動人力及軍用設備資源協助支援減災、防救災作業;另一方面,極端天氣亦會影響國防單位的運作,包含軍事基地

* 國防安全研究院國防戰略與資源研究所政策分析員。

¹ “Climate Change Impacts ‘Heading into Uncharted Territory’, Warns UN Chief,” *UN News*, September 13, 2022, <https://news.un.org/en/story/2022/09/1126511>; World Meteorological Organization (WMO), United Nations Environment Programme (UNEP), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), Global Carbon Project (GCP), UK Met Office, “United in Science 2022: A Multi-organization High-level Compilation of the Most Recent Science Related to Climate Change, Impacts and Responses,” September 2022, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11305.

² IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, February 27, 2022, pp. 3-33.

與基礎設施、部隊平日演習活動與戰備力，乃至戰時所需的後勤運補等。

美國國防部首席永續官 Joe Bryan 即表示，對國防單位而言，氣候變遷並非帶來外部性（externality）的不利因素，而是持續且根本性地去形塑美國在軍事防衛的各個面向，並已成為政策制定所依據的脈絡，包含：戰區地形、部隊戰力、美國與盟邦及敵對競爭國之間的關係，因此須正視氣候變遷對國防單位所帶來之衝擊意涵，及去理解為何要投資國防預算來減輕衝擊；³ 其中綠能之應用，則被視為強化國家安全與部隊韌性的重要環節。誠然，在淨零碳排的全球趨勢下，屢出現要求國防單位應進行減碳及揭露碳排放量的呼聲，然而在執行軍事碳排放估算與揭露仍有諸多困難的現況下，較為實際可行之做法，除了研擬如何減少現有基地設施之能源消耗、提高軍事運輸裝備之能源效率外，亦須關注如何以綠能增進國防單位的能源選擇，並維繫其在區域衝突或極端天氣事件影響下的戰備力及韌性。本章即聚焦於軍事綠能應用，首先檢視綠能於非戰場與戰場兩大應用層面之國際現況，續探討我國國防單位順應國家 2050 年淨零碳排路徑而可考慮採行之處。

貳、軍事綠能應用之國際趨勢

一、非戰場層面之綠能科技

（一）軍營綠能微電網

1. 美國

近年極端天氣事件的衝擊，以及中國積極拓展綠能科技並稱霸全球的野心，促使美國拜登政府訂定相對應之扶植綠能及國家安全政策，並規劃於 2050 年前實現淨零碳排的國家目標。2022 年 8 月，美國國防部負責環境與能源韌性事務的副助理部長基德（Richard Kidd）明確表示，面對中國在各種清潔能源技術的投資，美國不會讓其專美於前，亦刻正投入研發

³ “Addressing Climate Change in US Defense Strategy and Budget,” *Brookings Institution*, May 22, 2022, <https://www.youtube.com/watch?v=sf76fcBFRss>.

能支援部隊作戰且協助減碳的綠能科技，以確保能跟進或甚至領先中國。而結合太陽光發電、電池儲能之微電網系統即為重點項目之一，據估計美國國防部對於國內微電網市場需求占比近三成，微電網建置除可大幅減少偏遠軍事基地的能源運補需求，亦可帶動國內綠能產業發展。⁴

早先於 2021 年 9 月美國國防部發布《氣候調適計畫》（Department of Defense Climate Adaptation Plan）臚列五項待優先執行之「行動主軸」（Line of Efforts, LOEs），其中第四項主軸「供應鏈韌性與創新」（Supply Chain Resilience and Innovation）已提及將藉由國防部的購買力，驅動具軍事任務效益，亦可減緩氣候變遷的關鍵技術發展，例如微電網和電池儲能系統（Battery Energy Storage System, BESS）。⁵ 隨後於 2022 年 2 月發布《美國陸軍氣候戰略》（United States Army Climate Strategy）則進一步明定 2035 年前所有分布在全球各地、總計超過 130 處的美國陸軍設施都要安裝微電網，2040 年前所有陸軍設施必須以綠電與電池儲能滿足核心任務之能源需求，而任務保障設施（Mission Assurance Installation）、⁶ 動員戰力設施（Mobilization Force Generation Installation, MFGI）⁷ 及投射平台

⁴ David Vergun, “U.S. Should Not Surrender Clean Energy Technology to China, DOD Official Says,” *DOD news*, August 25, 2022, <https://www.defense.gov/News/News-Stories/Article/Article/3064183/dod-preparing-for-climate-change-impacts-official-says/>.

⁵ Department of Defense, Office of the Undersecretary of Defense (Acquisition and Sustainment), “Department of Defense Draft Climate Adaptation Plan, report submitted to National Climate Task Force and Federal Chief Sustainability Officer,” September 1, 2021, pp. 4, 6.

⁶ 任務保障（Mission Assurance）指為達成軍事任務韌性、確保任務必要功能及資產（包括人員、設備、網絡、資訊、基礎設施和供應鏈等）所採取的行動；U.S. Department of Defense, Instruction Number 3020.39: Mission assurance policy for the Defense Intelligence Enterprise (DIE), September 21, 2020, https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodi/302039p.pdf?ver=JPHOUDssXNNUJ_zp15tWcw%3D%3D.

⁷ 動員戰力設施（Mobilization Force Generation Installation, MFGI）指任何軍隊動員的關鍵設施；Joseph Whitlock, “The Army’s Mobilization Problem,” *War Room – U.S. Army War College*, October 13, 2017, <https://warroom.armywarcollege.edu/articles/armys-mobilization-problem/>.

(Power Projection Platform)⁸ 等將會獲得電力優先分配。⁹ 目前美國陸軍已執行 950 多項綠能方案，包括肯塔基州陸軍諾克斯堡 (Fort Knox) 太陽光電場 2.1 千瓩 (Megawatt, MW)，發電裝置容量總共達 480 千瓩，並規劃於 2024 年前再行安裝 25 座微電網。¹⁰

繼美國陸軍發布《氣候戰略》之後，美國海軍於 2022 年 5 月公布《2030 年氣候行動計畫》(Department of the Navy Climate Action 2030)，表示自 2008 年以降海軍部門的能源消耗已下降，且自 2012 年已開始提供多餘綠電至商業電網，未來規劃以公私合作與第三方融資的方式投入分散式發電 (Distributed Generation)、智慧電網 (Smart Grid) 與控制系統，並最大化地建置具網路安全的綠能微電網和長時間電池儲能設備，以強化電網穩定性並維繫海軍及海軍陸戰隊核心任務作業之連續性。¹¹ 位於加州的米拉馬海軍陸戰隊航空站 (Miramar Marine Corps Air Station Miramar) 即為前述 2012 年起提供多餘綠電至商業電網的範例，該基地起初使用鄰近垃圾掩埋場所提供的沼氣進行發電，發覺此模式具潛在經濟效益，遂與美國能源部之國家再生能源實驗室 (National Renewable Energy Laboratory,

⁸ 投射平台 (Power Projection Platform) 指可進行戰略動員、部署一或多個優先現役常備部隊或後備部隊之陸軍設施，配合戰略海港和機場支援國家戰略之執行；Natalie R. Myers, Michelle E. Swearingen and James P. Miller, “Integrated Climate Assessment for Army Enterprise Planning: Deployment Infrastructure,” *U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC) and Construction Engineering Research Laboratory (CERL)*, February 2017, <https://erdc-library.erdcdren.mil/jspui/bitstream/11681/26421/1/ERDC-CERL%20TR-17-6.pdf>.

⁹ Department of the Army, Office of the Assistant Secretary of the Army for Installations, Energy and Environment, “United States Army Climate Strategy,” February 2022, https://www.army.mil/e2/downloads/rv7/about/2022_army_climate_strategy.pdf.

¹⁰ “Microgrids: the Way forward,” *International Microgrid Association*, September 2021, <https://internationalmicrogrids.org/wp-content/uploads/2022/01/2022.01.12-Microgrids-The-Way-Forward.pdf>; Department of Defense, “Fiscal Year (FY) 2023 Budget Estimates: Military Construction, Family Housing, Defense-Wide, Justification Data Submitted to Congress,” March 2022, https://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/fy2023/budget_justification/pdfs/07_Military_Construction/Military_Construction_Defense-Wide_Consolidated.pdf; “Microgrid at Marine Corps Air Station Miramar,” *Official U.S. Marine Corps Website*, June 30, 2021, <https://www.marines.mil/News/News-Display/Article/2677033/microgrid-at-marine-corps-air-station-miramar/>.

¹¹ Department of the Navy, Office of the Assistant Secretary of the Navy for Energy, Installations, and Environment, “Department of the Navy Climate Action 2030,” May 2022, <https://www.navy.mil/Portals/1/Documents/Department%20of%20the%20Navy%20Climate%20Action%202030%20220531.pdf>.

NREL) 合作，打造結合沼氣、太陽光電、太陽熱能 (Solar Thermal Energy)，傳統天然氣與柴油發電，以及電池儲能的先進微電網，可在緊急事件或停電的情況下，提供整座基地近 21 天的電力需求，亦可提供緊急電力予當地社區，而 2021 年 3 月該基地在微電網建置完成後，已減少對聖地牙哥市近 45% 的電力依賴，至今並降低超過 9,000 萬美金的能源支出。¹²

除了美國本土的基地，配合美軍在印太與歐陸地區軍力部署分配，以及境外屬地或境外州的減碳政策，美國國防部亦刻正強化海外基地之綠能微電網。例如關島已設定 2045 年全島 100%、2030 年全島 50% 使用綠電的目標，而島上自 2015 年即啟動太陽光電場運作，雖有助減輕對化石燃料的依賴，卻也受限於天氣與颱風影響而有電網不穩的問題，裝置容量達 25 千瓩的太陽光電場，其發電量最低也可能跌落至 5 千瓩。¹³ 目前美軍即占島上近兩成的用電量，2024 年前更要容納更多自日本沖繩轉調而來的兵力，因此關島電力局 (Guam Power Authority) 已研擬以電池儲能系統穩定電力頻率及太陽能發電波動，此外關島海軍基地 (Naval Base Guam) 亦將於 2023 年建置配電系統，以改善電網不穩對基地執行核心任務的衝擊。¹⁴ 另一個案例則位於夏威夷檀香山「珍珠港—希卡姆聯合基地」(Joint Base Pearl Harbor-Hickam) 的 West Loch Annex 海軍營區，2019 年已建置裝置容量 20 千瓩的太陽光電場，2024 年起將進一步於面積達 53 公頃的閒置土地上，建置裝置容量達 42 千瓩的太陽光電場及 16.8 萬度 (kWh) 的

¹² 同註 10。

¹³ Tim Allen, "Grid Control Steadies Renewables in Storms," *T&D World*, May 18, 2022, <https://www.tdworld.com/distributed-energy-resources/article/21237893/grid-control-steadies-renewables-in-storms>; Steve Limtiaco, "CCU Approves GPA Plan for Renewable Energy," *Pacific Daily News*, https://www.guampdn.com/money/ccu-approves-gpa-plan-for-renewable-energy/article_0671d6ac-7e4d-11ec-9330-43b7c9093e7b.html.

¹⁴ "Microgrids: the Way forward," *International Microgrid Association*, September 2021, <https://internationalmicrogrids.org/wp-content/uploads/2022/01/2022.01.12-Microgrids-The-Way-Forward.pdf>; Department of Defense, "Fiscal Year (FY) 2023 Budget Estimates: Military Construction, Family Housing, Defense-Wide, Justification Data Submitted to Congress," March 2022, https://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/fy2023/budget_justification/pdfs/07_Military_Construction/Military_Construction_Defense-Wide_Consolidated.pdf.

儲能系統，並將多餘電力售予夏威夷電力公司（Hawaiian Electric）。¹⁵

2. 英國

英國陸軍於 2022 年 5 月發布的《戰場電氣化方針》（Battlefield Electrification Approach）表示 2030 年前將部署微電網，並最大化減少基地對柴油發電機的依賴。¹⁶ 配合英國政府 2050 年淨零碳排政策，英國陸軍於 2021 年則投入 2,000 萬英鎊啟動「普羅米修斯計畫」（Project PROMETHEUS）以增進綠能使用，同年 4 月在英格蘭北部約克郡萊康菲爾（Leconfield）之國防運輸學院（Defence School of Transport）建置英國陸軍首座太陽光電場，總面積達 4 公頃，共有超過 4,000 座太陽能板，尖峰容量達 2.3 千瓩可提供該基地近 1/3 的電力。¹⁷ 作為英國陸軍的綠能先期示範項目，「普羅米修斯計畫」除萊康菲爾營區之外，尚有另外 3 個營區預計於 2022 年前建置完成：包含位於包含英格蘭西南部 South Cerny 的格洛斯特公爵營區（Duke of Gloucester Barracks）以及該營區搭配儲能之熱電池（Thermal Energy Storage）設施、英格蘭東部 Suffolk 的洛克營區（Rock Barracks）、英格蘭南部 Thorney 島上的貝克營區（Baker Barracks），2028 年前並規劃進一步在英國其他營區設置 80 座太陽光電場。¹⁸

¹⁵ Andy Colthorpe, “Ameresco to Build Solar Plant with 168MWh Battery Storage at Pearl Harbor Base,” *Energy Storage News*, June 6, 2022, <https://www.energy-storage.news/ameresco-to-build-solar-plant-with-168mwh-battery-storage-at-pearl-harbor-base/>; Joint Base Pearl Harbor Hickam Solar PV Park – Battery Energy Storage Systems, US.

¹⁶ UK Ministry of Defence (MOD), “British Army Approach to Battlefield Electrification,” May 2022, p. 13, <https://www.army.mod.uk/media/17010/british-army-approach-to-battlefield-electrification.pdf>.

¹⁷ “The Army’s First Solar Farm Will be the Size of 6 Football Pitches,” *The British Army*, April 7, 2021, <https://www.army.mod.uk/news-and-events/news/2021/05/prometheus-work-begins/>; “New Era of Solar Power at Yorkshire Base,” *The British Army*, September 30, 2021, <https://www.army.mod.uk/news-and-events/news/2021/05/prometheus-work-begins/>.

¹⁸ 同註 14；Ministry of Defence and Jeremy Quin MP, “Army’s Solar Farms Support Commitment to Sustainability,” *GOV.UK*, April 7, 2021, <https://www.gov.uk/government/news/armys-solar-farms-support-commitment-to-sustainability>.

3. 日本

2021年4月日本政府更新其國家減碳目標，2030年前溫室氣體排放量須較2013年水準減少46%、2050年前達淨零排放。2021年10月更進一步規定所有中央部會於2030年前必須將溫室氣體排放量較2013年水準減少50%。¹⁹ 日本防衛省約25萬人，2020年用電量約12.6億度(kWh)，占當年日本中央政府43%總用電量且居所有部會之首。²⁰ 為展現氣候變遷衝擊下維護國內外社會局勢及減碳決心，防衛省於2020年6月宣布加入「RE100」國際再生能源倡議，以及由日本國內民間自行推動、促進中小企業和中央地方政府等機構減碳之「再生能源100宣言RE Action」，成為繼日本環境省、外務省後，第三個加入該兩項倡議作為「綠電使者」(RE100/RE Action Ambassador)之中央部會，目標為2050年前全國防衛設施用電100%使用綠電，電力來源包含生質能、地熱、太陽光電、水力及風力發電。²¹

¹⁹ 內閣官房地球温暖化対策推進本部，〈政府がその事務及び事業に関し温室効果ガスの排出の削減等のため実行すべき措置について定める計画の実施要領〉，《內閣官房副長官補室(內政)》，2021年10月22日，<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai48/pdf/mousiawase.pdf>。

²⁰ 防衛省・自衛隊，〈政府全体の電力量のうち防衛省の割合について〉，《環境対策に関する取組》，2022年，https://www.mod.go.jp/j/approach/chouwa/kankyo_taisaku/pdf/r04_chotatsu_wariai.pdf。

²¹ 「RE100」，是由非營利機構「氣候組織」(The Climate Group)及「碳揭露計畫」(CDP)於2014年發起之國際再生能源倡議，旨在促使年度用電量高於100百萬度(GWh)大型跨國企業(不含石化、軍火、武器、博奕、菸草產業)訂定目標，其綠電使用占比至少應於2030年前達60%、2040年前達90%、2050年前達到100%，目前全球已有超過370家大型企業簽署。“Japan’s Ministry of Defence endorses RE100, as more companies commit to 100% renewable power on World Environment Day,” *RE100*, September 13, 2020, <https://www.there100.org/our-work/news/japans-ministry-defence-endorses-re100-more-companies-commit-100-renewable-power>; “About us,” *RE100*, 2022, <https://www.there100.org/about-us/>; “RE100 Joining Criteria,” *RE100*, May 2022, <https://www.there100.org/sites/re100/files/2022-06/RE100%20Joining%20Criteria%20May%202022.pdf>。「再生能源100宣言RE Action」則為日本國內民間團體與智庫，包括綠色採購網路組織(Green Purchasing Network, GPN)、地方政府永續發展理事會日本辦公室(ICLEI Japan)、全球環境策略研究院(Institute for Global Environmental Strategies, IGES)、日本氣候領袖夥伴關係(Japan Climate Leaders Partnership, JCLP)、全國全球暖化預防推廣中心(Japan Network for Climate Change Actions, JNCCA)等於2019年10月成立之倡議，鼓勵年度用電量低於50百萬度(GWh)的中小企業、地方政府、教育及醫療單位訂定2050年前達成100%綠電之目標。〈再エネ100宣言について〉，《再エネ100宣言RE Action》，2019年，<https://saiene.jp/about>；〈アンバサダーからのメッセージ〉，《再エネ100宣言RE Action》，2019年，<https://saiene.jp/ambassador#support>；防衛省・自衛隊，〈令和4年度における再生可能エネルギー電力の調達の促進のための指針について〉，《環境対策に関する取組》，2021年11月16日，https://www.mod.go.jp/j/approach/chouwa/kankyo_taisaku/pdf/r04_chotatsu_shisin.pdf。

2022 年防衛省預計採購 3.2 億度綠電，不僅是整個防衛省預期總電力消耗 12.8 億度的 1/4，亦占日本中央政府總用電量的 11%。²² 2022 年 8 月 29 日更進而公布《防衛省氣候變化戰略》，表示將針對基地及相關基礎建設之制定綠色路徑圖，使用現行可行減碳技術如太陽光電與微電網，2030 年以前達到提供防衛省建物電力一半以上的目標。²³ 自 2020 年以來日本國內自衛隊 964 個單位當中，已有 199 處其電力 100% 來自綠能，而 2022 年將達成使用 100% 綠電的單位有陸上自衛隊的霞浦、伊丹駐地，航空自衛隊的入間、浜松、岐阜、松島基地，以及海上自衛隊的下總、大湊基地，防衛裝備廳的艦艇裝備研究所等處。²⁴

（二）非戰術車輛電動化

1. 美國

非戰術車輛（non-tactical vehicles, NTVs）之電動化目的，除了減碳外，更重要的是降低後勤對化石燃料的過度仰賴，減少運補過程中遭攻擊爆炸傷亡事故，此外其運轉較安靜的特性亦可應用於偵察等作戰行動，²⁵ 為軍事綠能近期推動的重點之一。2021 年 9 月美國陸軍裝備司令部（U.S. Army Materiel Command）發布指令，規定該司令部往後車輛採購與租賃須優先選擇電動車（electric vehicles, EVs），油電混合車次之，只有在特別例外的情形下才能選擇傳統燃油車輛；2022 年 2 月《美國陸軍氣候戰略》更設定目標，2027 年前將以電動車取代所有輕型非戰術車隊，2035

²² 防衛省・自衛隊，〈防衛省氣候變動対処戰略〉，《防衛省氣候變動タスクフォース》，2022 年 8 月 29 日，https://www.mod.go.jp/j/approach/agenda/meeting/kikouhendou/pdf/taishosenryaku_202208.pdf。

²³ 同註 19。

²⁴ 防衛省・自衛隊，〈再生可能エネルギー電気の調達の取組〉，《環境対策に関する取組》，2022 年 7 月 22 日，https://www.mod.go.jp/j/approach/chouwa/kankyo_taisaku/；防衛省・自衛隊，〈令和 4 年度再生可能エネルギー電力の調達を行った施設のうち再生可能エネルギー電力量（kWh）上位 10 施設〉，《環境対策に関する取組》，2022 年 7 月 22 日，https://www.mod.go.jp/j/approach/chouwa/kankyo_taisaku/pdf/r04_chotatsu_shisetsu.pdf。

²⁵ Andrew Eversden, “Army Electric Vehicle Goals ‘Pretty Darn Achievable,’ but Challenges Remain,” *Breaking Defense*, March 2, 2022, <https://breakingdefense.com/2022/03/army-electric-vehicle-goals-pretty-darn-achievable-but-challenges-remain/>.

年以前非戰術車隊須達到全面電動化，中間並以油電混合車作為過渡工具。²⁶

2022年6月美國民主黨籍聯邦參議員華倫（Elizabeth Warren）、廣野慶子（Mazie Hirono）、馬基（Edward Markey）、無黨籍聯邦參議員金恩（Angus King）等人提出《軍用車隊電氣化法案》（S. 4380: Military Vehicle Fleet Electrification Act）。此案屬於2023會計年度《國防授權法案》（National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2023, FY 2023 NDAA）之一環，目的在於要求由美國國防部或總務署（General Services Administration）所租賃及採購之非作戰車隊，包含轎車、貨車、輕型卡車，車輛總計17萬4,000部，其中3/4以上須由電動車或零排放車輛（zero-emission vehicle, ZEVs）取代，同時該法案亦授權美國國防部使用將近600萬美元的金額來強化軍營之電動車充電基礎建設。²⁷

電動車及充電基礎建設的擴增，須搭配軍營的微電網及離網供電設施共同運作，才能最大程度發揮綠能可貢獻的戰備能力。如美國海軍之《2030年氣候行動計畫》列舉美國喬治亞州海軍陸戰隊奧本尼後勤基地（Marine Corps Logistics Base Albany）為美國境內達首座淨零碳排、能源自產高於需求的營區，結合鄰近垃圾掩埋場之生質能、太陽光電和地熱發電，亦採購BEAM Global EV ARC移動式太陽能電動車充電站。²⁸此為2021年1月27日拜登上任發布之「應對美國境內外氣候危機」（Tackling the Climate Crisis at Home and Abroad）行政命令中，要求2035年聯邦政府機構用車全面需電動化的一環，美國海軍陸戰隊共採購21座Beam EV ARC 2020移動式太陽能電動車充電站，部署於美國本土及夏威夷等14個營區，此移動式充電站能克服固定式電動車充電設施需花時間進行挖溝、

²⁶ 同註12。

²⁷ “Senate Bill Would Electrify Nontactical Military Fleet,” *Government Fleet*, June 15, 2022, <https://www.government-fleet.com/10174833/senate-bill-would-electrify-nontactical-military-fleet>; “S. 4380: 117th Congress: Military Vehicle Fleet Electrification Act.,” *GovTrack*, September 27, 2022, <https://www.govtrack.us/congress/bills/117/s4380>.

²⁸ 同註14。

部署配線及併網等限制，也能節省施工費用。²⁹

此外來自民間私部門企業的投入，對於非戰術車輛電動化乃至其他軍事線能應用極為關鍵，可協助實現軍民兩用之效益及帶動相關產業供應鏈發展。例如美國國防部宣布將以電動車及混合動力汽車打造非戰術車隊之後，美國汽車大廠通用公司（General Motors）即表示會投入 350 億美元研發先進車用技術，包含電動車之動力推進系統，公司並規劃於 2035 年前將提供超過 30 種電動車產品選項。³⁰

2. 英國

為配合英國政府 2050 年淨零排放目標，英國國防部 2021 年 3 月發布《氣候變遷與永續戰略方針》（Climate Change and Sustainability Strategic Approach），其中亦納入車隊電動化之規劃，並表示電動車不僅可協助軍隊減碳，亦可減輕噪音及熱氣排放而提升運作之隱蔽性。³¹ 英國陸軍於 2022 年 5 月發布的《戰場電氣化方針》（Battlefield Electrification Approach）則指出，電動車可於併、離網時提供電力生產與儲存，例如與新型武器系統整合、提供其所需電力以增加武器之致命力。³² 由英國國防創新基金（Defence Innovation Initiative）支持之「金牛計畫」（Project TAURUS）一環，英國陸軍於 2020 年起在英格蘭南部安多弗（Andover）的陸軍總司令部設置首座太陽能停車棚，搭配 10 座充電樁可提供 20 輛電動車電力，2021 年 11 月底正式運轉，並預計進一步推展至其他陸軍營區。³³

²⁹ Jennifer Parks, “MCLB Albany among First to Receive Mobile Solar Electric Vehicle Charger,” *Official U.S. Marine Corps Website*, March 15, 2022, <https://www.albany.marines.mil/News/News-Article-Display/Article/2967126/mclb-albany-among-first-to-receive-mobile-solar-electric-vehicle-charger/>.

³⁰ Jon Harper, “U.S. Military Wants Its Vehicles to Go Electric - With Detroit’s Help,” *National Defense*, February 4, 2022, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2022/2/4/military-wants-its--vehicles-to-go-electricwith-detroits-help>.

³¹ U.K. Ministry of Defence, “Ministry of Defence Climate Change and Sustainability Strategic Approach,” *GOV. UK*, March 30, 2021, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/973707/20210326_Climate_Change_Sust_Strategy_v1.pdf; U.K. Ministry of Defence, “Defence Outlines Greener Future,” *GOV. UK*, March 30, 2021, <https://www.gov.uk/government/news/defence-outlines-greener-future>.

³² 同註 19。

³³ “Work Begins on the First Solar Carport at Army Headquarters,” *The British Army*, August 3, 2021, <https://www.army.mod.uk/news-and-events/news/2021/08/the-first-solar-carport-at-army-headquarters/>.

3. 日本

2022年8月公布之《防衛省氣候變化戰略》規定，2022年度以後凡是新採購或汰換的非作戰車輛一律須為電動車，其包含純電動車、油電混合動力車（hybrid vehicles）、插電式混合動力車（plug-in hybrid vehicles）、燃料電池電動車（fuel cell vehicles）等，除非在無電動車選項的情況下才能選購傳統燃油車輛，另外防衛省的非作戰公務用車中電動車占比僅7.3%，2030年度以前將提升至100%。³⁴

（三）軍營建物低碳化

1. 美國

美國國防部表示，軍事設施為戰備力要項，而推動設施低碳化可提升基地面對人為或天災威脅的韌性。³⁵美國國防部在500餘處軍事基地上擁有總計超過28萬棟以上的建物，建物能源消耗量占整個部門的三成，整年需花費超過30億美元的經費支出，也因此其已針對建物進行節能措施，2019年及2020年度能源消耗量均有下降的趨勢。³⁶美國國防部並推行「公用事業電表政策」（Utilities Meter Policy），要求所有單位於2024年9月30日前，將智慧電表及水表安裝率由60%提升至85%，以掌握相關能資源消耗資訊，藉此強化軍事設施的韌性及任務保證。³⁷

³⁴ 防衛省・自衛隊，〈防衛省がその事務及び事業に関し温室効果ガスの排出の削減等のため実行すべき措置について定める計画〉，《環境対策に関する取組》，2022年5月27日，https://www.mod.go.jp/j/approach/chouwa/kankyo_taisaku/pdf/gasu.pdf。

³⁵ David Vergun, “Official Details DOD Efforts to Improve Housing, Climate Resilience, Energy Efficiency,” *U.S. Department of Defense*, June 22, 2021, <https://www.defense.gov/News/News-Stories/Article/Article/2666862/official-details-dod-efforts-to-improve-housing-climate-resilience-energy-effic/>.

³⁶ “Department of Defense Annual Energy Management and Resilience Report (AEMRR) Fiscal Year 2020,” *Office of the Assistant Secretary of Defense for Sustainment*, September 2021, <https://www.acq.osd.mil/eie/Downloads/IE/FY%202020%20AEMRR.pdf>.

³⁷ Assistant Secretary of Defense, “Department of Defense Utilities Meter Policy,” *Office of the Assistant Secretary of Defense for Sustainment*, January 14 2021, <https://www.acq.osd.mil/eie/Downloads/IE/DoD%20Utilities%20Meter%20Policy%2014%20Jan%202021.pdf>.

此外，美國國防部亦必須配合美國能源部對聯邦政府建物能源規範的要求，美國能源部最新規範為 2023 年 4 月之後，所有聯邦政府建物須遵照「2021 版國際能源管理規範」（2021 International Energy Conservation Code, IECC）及「2019 版美國冷凍空調工程師協會建築能源效率標準 90.1」（ASHRAE Standard 90.1-2019, Energy Efficiency Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings）。³⁸ 各聯邦政府並可向能源部申請「聯邦政府建物節能設施」補助費（Assisting Federal Facilities with Energy Conservation Technologies, AFFECT），而 2021 年度獲選之 17 個聯邦政府補助案中，即包含美國國防部總部五角大廈的節能改造案。事實上自 2010 年以來，五角大廈因安裝 100 餘智慧電表及分表追蹤電力、天然氣及熱水消耗量，已降低近 11% 的建築能源密度。³⁹

2. 英國

2022 年 6 月英國皇家海軍在英格蘭南部的朴茨茅斯海軍基地（Portsmouth Naval Base）啟用其首座碳中和建築「伊莉莎白女王級航空母艦正向物流中心」（The Queen Elizabeth Carrier Forward Logistics Centre），該中心負責伊麗莎白女王號（HMS Queen Elizabeth）與威爾斯親王號（HMS Prince of Wales）2 艘航空母艦之物流倉儲作業，中心屋頂所安裝 678 太陽光電板，及停車場設置的太陽能電池陣列，可分別生產 250 瓩與 1 千瓩電力，提供中心照明、暖氣、電腦機房及推高機所需電力。⁴⁰

³⁸ “DOE Releases Energy-Saving Rules for Federal Buildings and Proposes New Standards for Consumer Appliances,” *U.S. Department of Energy*, March 30, 2022, <https://www.energy.gov/articles/doe-releases-energy-saving-rules-federal-buildings-and-proposes-new-standards-consumer>.

³⁹ Scott Minos, “Majorly Awesome Military Energy Savers - We Salute You,” *U.S. Department of Energy*, May 20, 2022, <https://www.energy.gov/energysaver/articles/majorly-awesome-military-energy-savers-we-salute-you>.

⁴⁰ UK Ministry of Defence, “Aircraft Carriers to be Supported by New Logistics Facility,” *GOV.UK*, June 21, 2022, <https://www.gov.uk/government/news/aircraft-carriers-to-be-supported-by-new-logistics-facility>; “Royal Navy Aims to Create One of the World’s Greenest Fleets,” *Royal Navy*, July 6, 2022, <https://www.royalnavy.mod.uk/news-and-latest-activity/news/2022/july/06/220706-net-zero-week>.

3. 日本

防衛省已將 LED 照明、「零耗能建築」(Net Zero Energy Building, ZEB) 等節能措施納入政策考量。2022 年 8 月《防衛省氣候變化戰略》規劃現階段新建案要達成或優於「零耗能導向建築」(ZEB Oriented)，亦即占地 1 公頃以上、節能達 30% 至 40% 以上之設施；2030 年度以前，基地設施將全面使用 LED 照明，建物則須為節能達 50% 以上之「準零耗能建築」(ZEB Ready) 或節能比例更優者。⁴¹

二、戰場綠能裝備

1. 美國

降低戰場上軍隊對配電網絡及化石燃料的能源需求，有助於實現戰術自主及提高戰鬥力，戰術車隊與船艦的配置則極大程度決定了持續戰力的強度，也因此，美國國防部除了近期致力將非戰術車隊電動化，也著手提升野戰車隊及海上艦艇之能源效率，並積極開發混合動力及電動化設備。2022 年公布之《美國陸軍氣候戰略》即訂定 2035 年前打造專用混合動力戰術車隊，2050 年以前戰術車隊達全面電動化的目標，具體做法包括在既有戰術平台上安置戰術車輛電動套件 (Tactical Vehicle Electrification Kits, TVEK)，可防止車輛怠速、減輕約 25% 的平均油耗，並在發動機關閉時仍提供車載電力予通訊等輔助設備，從而降低戰術車輛運轉所產生的噪音及廢氣，提高其戰場發揮功效，例如 2022 年 3 月美國陸軍展示聯合輕型戰術車 (Joint Light Tactical Vehicle, JLTV) 所安裝的電動套件，2 分鐘的快充可執行 6 分鐘無須引擎運轉之寧靜作戰行動，往後在戰場上將以 20 分鐘快充來執行 1 小時任務。⁴²

⁴¹ 同註 26。

⁴² Jerome Aliotta, "Anti-idle Technology Reduces Fuel, Extends Silent Watch," *U.S. Army*, March 29, 2022, https://www.army.mil/article/255156/anti_idle_technology_reduces_fuel_extends_silent_watch.

此外，美國陸軍亦預計於 2023 年秋季前完成首輛電動輕型偵察車（Electric Light Reconnaissance Vehicle, eLRV）之測試，做法為開放民間企業公司競標全電動車，2022 年 7 月美國陸軍已向通用汽車購買悍馬全電動車（GMC Hummer EV），另亦與 Canoo 新創企業簽署電動車採購契約，後續軍方將就採購之商業車款進行軍用功能改造與評估。⁴³

美國海軍在《2030 年氣候行動計畫》亦表示將配合美國國防部之跨軍種協調，進行地面戰術車輛之混合動力與電動化，以減少被偵測的機率與維護成本，例如與美國陸軍合作，將可安置於地面戰術混合動力車輛之 6T 鋰離子電池進行標準化作業，其可提供比傳統鉛酸電池更多的電池容量，以太陽能或其他形式充電時亦相對安靜，不僅能提升軍隊戰鬥彈性及生存力，設備標準化也有益於簡化軍用供應鏈物流作業。⁴⁴

美國空軍作戰能源辦公室（Air Force Operational Energy）於 2020 年起與民間公司 Twelve 合作，研發「E-Jet」飛機替代燃料，即自空氣中捕捉二氧化碳，並與綠電電解水所產之氫氣反應製出合成氣（Syngas），目前正評估將此替代燃料生產規模化。⁴⁵ 此外，美國空軍亦於 2020 年委託 Pvilion Solar 公司研發「HEXT」太陽能野戰帳篷，其摺疊後長寬僅 1 公尺，按下按鈕在 3 分鐘內即可自動豎立為長寬各約 6 公尺、高 3.3 公尺的帳篷，由上方太陽電板雨遮提供電力，可協助空軍達成訴求精簡敏捷的「彈性戰鬥部署」（Agile Combat Employment, ACE），擴大部署範圍並降低敵方預測能力。⁴⁶

⁴³ 同註 9；“U.S. Army Contracts \$67,500 to Canoo for EV,” *Government Fleet*, July 14, 2022, <https://www.government-fleet.com/10176865/canoo-to-provide-electric-vehicle-to-u-s-army>; Jonathon Ramsey, “U.S. Army Purchases GMC Hummer EV for Light Recon Vehicle Testing,” *Autoblog*, <https://www.autoblog.com/2022/07/20/gmc-hummer-ev-military-testing/>.

⁴⁴ 同註 14。

⁴⁵ Corrie Poland, “The Air Force Partners with Twelve, Proves It’s Possible to Make Jet Fuel out of Thin Air,” *Air Force Operational Energy*, October 21, 2021, <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/2819999/the-air-force-partners-with-twelve-proves-its-possible-to-make-jet-fuel-out-of/>.

⁴⁶ Tina Casey, “US Air Force Deploys Solar Power For New Self-Assembling Tent,” *CleanTechnica*, April 11, 2022, <https://cleantechnica.com/2022/04/11/us-air-force-deploys-solar-power-for-new-self-assembling-tent/>; Greg Hadley, “Air Force Releases First Doctrine Note on Agile Combat Employment,” December 14, 2021, <https://www.airforcemag.com/air-force-first-doctrine-note-agile-combat-employment/>.

2. 英國

英國陸軍於 2022 年公布之《戰場電氣化方針》（Battlefield Electrification Approach）指出，目前已投入 1,000 萬英鎊改造德曼（Man SV）運輸卡車、獵狐犬（Foxhound）輕型巡邏裝甲車、豺狼（Jackal）偵察裝甲車為混合動力型，可減少噪音與廢氣排放而隱蔽行蹤，而 1 台德曼運輸卡車則可提供相當於 9 座發電機、超過 500 瓩的電力，可作為野戰醫院或災區救援隊之緊急電力；此外並將同「新型機器人與自動化系統」（Novel Weapons Robotics and Autonomous Systems）之充電技術一併進行量產前置規劃。⁴⁷

英國皇家海軍規劃於 2030 年以前將混合動力應用至軍艦，2021 年開始向企業徵詢技術方案，2022 年 1 月與奇異集團子公司「GE Power Conversion」合作，推出全球首艘「整合式全電力推進」（integrated full electric propulsion, IFEP）之戰艦：「45 型勇敢級驅逐艦」（Type 45 Destroyer - Daring Class），該艦型大於其所取代的 42 型驅逐艦，但燃料卻減少 45%，且其船舶電網以 4.16 千伏（kV）的電壓生成主電源和輸入推進轉換器，高裝置電力則可因應往後在艦上將大幅擴增的雷達及其他導能武器，未來亦容易與外部低碳或零碳電力來源結合，此外其整體傳動系統運轉安靜，有助於提高航行安全與戰鬥能力。⁴⁸

3. 日本

2022 年《防衛省氣候變化戰略》表示，將於 2050 年前引進可配合減碳措施及能改變戰場規則之先進軍事技術，包括電動或混合動力類型之偵察車輛、便攜式太陽能發電和儲能設備，此外亦與美軍合作研發混合動力

⁴⁷ “Army Sparks up ‘Electrifying’ Plan for Future Battlefields,” *The British Army*, May 3, 2022, <https://www.army.mod.uk/news-and-events/news/2022/05/army-sparks-up-electrifying-plan-for-future-battlefields/>.

⁴⁸ “Type 45 Destroyer - Daring Class World’s First Full Electric Propulsion Combatant Ship,” *GE Power Conversion*, January 18, 2022, <https://www.gepowerconversion.com/case-study/type-45-destroyer-daring-class-worlds-first-full-electric-propulsion-combatant-ship>; “Upgrading the Royal Navy’s Type 45 Destroyers,” *Navy Lookout*, April 4, 2022, <https://www.navylookout.com/upgrading-the-royal-navys-type-45-destroyers/>.

之大型戰術車輛，期望在未來戰場上發揮電力供給、安靜偵測的功能。⁴⁹此外，航空自衛隊亦與民間企業合作開發電動牽引車，由基地綠能獲取電力，目前已實施於 T-4 教練機在內等 9 機種之牽引作業。⁵⁰

參、台灣軍事綠能可發展方向

配合台灣 2050 年淨零碳排路徑之政策，並參考國際上的軍事綠能趨勢，我國國防單位可先擬定短期內將非戰術車隊工具汰換為電動或混合動力型態的計畫。由於國內新售電動小客車須於 2030 年、2035 年及 2040 年前分別達到全年新車銷售量之 30%、60% 及 100%，亦將推行電動公務車，並以廣布充電樁、劃設充電格位等方式完備電動車使用環境，因此順勢推行非戰術車隊電動化，將可節省汰換車輛及設置充電站之成本。此外，配合政府將扶植國內電動車產業，補助大客車關鍵零組件研發，亦可媒合國內軍工單位與國內電動車業者，評估將電動或混合動力組件應用於戰術車輛的可行性。

由於分散式電網亦將為我國未來電業發展推動重點，各營區可善用合適地段發展太陽光電，或結合鄰近掩埋場生質能，建造分散式綠能電網及儲能系統，以此提高營區供電自主比例、滿足非戰術電動車輛所需電力，並可支援地方社區緊急用電需求。建議可先以基地或軍種為單位，盤點各單位能耗需求，並調查可安置綠能發電設備之土地或建物等資源，短期內可參考陸軍官校「國防綠能實踐基地」，挑選國內其他基地多點增設先期試驗區，亦可借鏡英國朴茨茅斯海軍基地碳中和建築及後勤物流案例，使綠能應用不單停留在展示層面，而是進入實際作業階段，再視其成效優缺點，規劃中長期的拓展目標。

⁴⁹ 同註 26。

⁵⁰ 航空幕僚監部，〈2022 年度版航空自衛隊の概要〉，《航空自衛隊》，<https://www.mod.go.jp/asdf/special/download/gaiyou/pdf/gaiyou2022.pdf>。

另一方面，建議我國國防單位可與國內業者合作，多樣化開發野戰便攜式個人充電裝置，以及野戰綠能帳篷等輕便裝備，並參考美軍「彈性戰鬥部署」概念，爰請離島前線或偏遠營區部隊於平日演練活動時，先試行相關裝置之穩定性及實用度。此外，待戰術電動車輛或推進設備之雛形款式產出後，可於前線區域試驗其寧靜偵察及相關運作維修作業的效度，所面臨之功能窒礙與挑戰，亦可參照國外案例，進一步開放至商業市場上尋求技術支援及創新方案，以加速實現進程。

肆、小結

綜觀國際趨勢，可發現近期軍事綠能應用發展除了一方面回應減碳潮流，更重要的乃是維繫部隊於極端氣候或是戰爭衝突下的戰備量能，藉由綠能裝置低噪音和廢氣排放的特點，掩蔽行蹤及提升偵察能力、減少戰術工具的燃料需求，降低兵力損耗及傷亡，以達到有效戰鬥資源配置。我國現階段雖尚未有如美國、英國與日本國防單位或軍種所提出之極端氣候應對及軍事綠能應用策略，仍可藉「台灣 2050 淨零排放路徑」之政策走向，順應國內扶助綠能產業之時機，以電動或混合動力逐步汰換非戰術車輛、建置分散型綠能電網，此外亦可積極尋求綠能於戰術車輛及動力推進設備的研發，提升偵察能力及整體兵力的防衛韌性。

