

PART 1

.....

兩用科技發展

第一章 太空兩用科技發展現況

第二章 極音速科技發展

第三章 仿生技術的軍事應用

第四章 電力推進的兩用科技發展

第五章 軟體機器人在社交媒體的應用

第一章 太空兩用科技發展現況

許智翔*

壹、前言

過往，太空科技曾是美蘇兩強的關注重點。自 1950 年代開始的「太空競賽」（space race），成為了冷戰前期自 1957 年到 1975 年間，雙方角力的關鍵領域之一。儘管 1975 年後開啟了太空合作的年代，然而伴隨著太空競賽的科技突破成長的，正是雙方用以確保徹底推毀對手的核子武器投射能力；¹ 事實上，如回顧中國的太空科技發展歷程，也能從早期的「兩彈一星」口號中，了解到過往中國在太空科技的發展上，與其軍事作戰需求密不可分的軍民兩用特性。簡言之，太空科技的發展，長期以來就與軍事能力，特別是與核武器相關的長程打擊能力有著密切關聯。而在新太空（New Space）蓬勃發展的現在，太空科技不只是未來人類科技生活的必須，更是軍事作戰中致勝的絕對關鍵，美國「星鏈」（Starlink）系統近年在烏克蘭戰場上展現的軍事運用潛力，正揭示著太空兩用科技在未來國家安全上所扮演之巨大角色的冰山一角。

貳、太空科技為軍事作戰帶來的變革

一、冷戰時期發展之技術為現代太空與軍事科技重要基礎

冷戰時期的技術發展與太空競賽，可說是現代太空科技的基礎，也形塑了現代作戰科技概念。整體而言，美蘇雙方在冷戰開始後進行的核武競賽及太空競賽，奠定了雙方火箭技術的發展，並且導致了洲際彈道飛彈

* 國防安全研究院中共政軍與作戰概念研究所助理研究員。

¹ Eric Betz, "Apollo-Soyuz Mission: When the Space Race Ended," *Astronomy*, July 21, 2020, <https://www.astronomy.com/space-exploration/apollo-soyuz-mission-when-the-space-race-ended/>.

(Intercontinental Ballistic Missile, ICBM) 的誕生，因此太空能力的進展，其實與核武的發展與相關能力息息相關；此外，人造衛星也帶來了「太空基」(space-based) 情報能力上的發展。² 值得注意的是，儘管蘇聯在 1957 年發射的人類史上第一顆衛星「史普尼克 1 號」(Sputnik-1) 為美國帶來極大心理震撼，然而艾森豪總統卻早在 1955 年時就已計畫制定太空政策，並推動太空物體的「自由飛越」概念、成為發展偵察衛星的重要法律與政策先驅，因此事實上就太空與軍事的發展而言，美蘇兩強可說是齊頭並進。在艾森豪總統推動衛星相關能力與概念發展的同時，美國空軍則更積極，甚至希望發展能在軌道或次軌道上，進行包含偵察、轟炸等多種任務的 X-20「Dyna-Soar」太空飛行器。³

由於對太空軍事化的擔憂，國際社會催生了包含《外太空條約》(Outer Space Treaty) 在內的多個國際規範，嘗試避免太空淪為戰場。雖然這樣的努力，避免冷戰雙方在對抗及軍備競賽中，將核武或大規模毀滅性武器置於軌道上，也禁止各國對太空提出主權聲索，甚或進行占領作為，然並不能阻礙太空科技的高度兩用特性在作戰層面上扮演更重要的角色。冷戰後期，美國不僅開始部署目前廣為全球軍民大量運用的「全球定位系統」(Global Positioning System, GPS)，更在 1980 年代發動了俗稱「星戰計畫」(Star Wars Program) 的「戰略防禦計畫」(Strategic Defense Initiative, SDI)，計畫研發大量先進衛星與飛彈、動能武器、定向能武器等各式武器，並運用包含從陸基到太空基在內，各作戰層面的監視、追蹤、攔截、作戰管理、通訊等，龐大的 ICBM 防禦及反衛星系統。

雖然 SDI 曾被認為是美國最後在冷戰擊敗蘇聯的重要因素，然而證據顯示蘇聯並未確實投入了軍備競賽進行大量消耗，因此是否真有助於結束冷戰仍有疑義，但就太空科技發展而言，這項計畫確實讓美蘇雙方都更

2 Craig Boucher, "On Space War," *Modern War Institute at West Point*, January 6, 2022, <https://mwi.usma.edu/on-space-war/>.

3 Major Jeremy J. Grunert, "The Other Space Race: Eisenhower and the Quest for Aerospace Security," *Air University Press*, March 1, 2021, <https://www.airuniversity.af.edu/AUPress/Book-Reviews/Display/Article/2518927/the-other-space-race-eisenhower-and-the-quest-for-aerospace-security/>.

進一步發展了先進的飛彈、火箭技術，以及反衛星系統。⁴ 當 SDI 計畫於 1993 年終止時，其目標已由綿密複雜的多層次防禦系統抵禦蘇聯對美國本土的大規模 ICBM 攻擊，轉變為針對全球、防禦有限打擊的系統。⁵

然而拋開巨大且前瞻的 SDI 計畫，以及在核武作戰中的地位以外，太空實際上在冷戰中後期，已逐漸發展為各領域軍事作戰中的核心角色。在美國用以擊敗蘇聯的「第二次抵銷戰略」（second offset strategy）中，先進科技的發展使得美軍再次取得軍事作戰上的優勢，而太空能力正是其中的核心，尤其前述之 GPS，正是其中關鍵；儘管美蘇雙方並未真正爆發毀滅性的世界大戰，但美軍及北約國家在「第二次抵銷戰略」所建立的先進科技及現代作戰概念，在 1991 年的波斯灣戰爭中以極低的損失徹底擊敗了伊拉克軍隊。⁶

目前除了美國之外，已有多種主要的 GPS 衛星導航系統提供服務，如前蘇聯 / 俄羅斯的 GLONASS、歐洲的伽利略（Galileo）以及中國的北斗衛星等主要系統出現。而在各種情報、監視、偵察（Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance, ISR），以及通訊用途的各種衛星支援之下，太空領域所能提供的衛星通訊、定位導航與授時（Positioning, Navigation, and Timing, PNT）、地球觀測等能力輔助，已成為現代武裝部隊的基本作戰能力。隨著太空技術的發展，以及武裝部隊對太空能力的依賴日漸提高，太空領域更與網路空間（cyber）一同被北約定義為傳統「陸、海、空」以外的新作戰領域。⁷

4 Pavel Podvig, “Did Star Wars Help End the Cold War? Soviet Response to the SDI Program,” *The Technical Basis for Arms Control, Disarmament, and Nonproliferation Initiatives*, Vol. 25, 2017, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08929882.2017.1273665>; Ken Adelman, “The Phantom Menace: How An Unproven, Widely Mocked Technology Scared the Soviets into Ending the Cold War.,” *Politico*, May 11, 2014, <https://www.politico.com/magazine/story/2014/05/the-phantom-menace-106551/>.

5 Jon Harper, “SPECIAL REPORT: The Legacy of the Strategic Defense Initiative,” *National Defense*, April 23, 2019, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2019/4/23/special-report-the-legacy-of-the-strategic-defense-initiative>.

6 Andrew Davies, “The Ephemeral Offset Strategy,” *The Strategist – ASPI*, August 3, 2016, <https://www.aspi.org.au/ephemeral-offset-strategy/>.

7 Major General Gianluca Carai, “The ‘Land Approach’ to the Space Domain: Developing Space Expertise in Land Forces,” *The Journal of the JAPCC*, Edition 32, August 2021, <https://www.japcc.org/articles/the-land-approach-to-the-space-domain/>.

二、美中對抗的脈絡下太空兩用能力的關鍵性

美中對抗與大國競爭的重新白熱化，是太空兩用科技發展的關鍵。自歐巴馬時期的「重返亞洲」及「亞太再平衡」戰略開始，習近平於 2012 年上台後日趨侵略性的對外政策下，美國在川普（Donald Trump）時期開始大幅增加與中國的對抗，而 2022 年 2 月 24 日俄羅斯對烏克蘭發動的入侵，更使民主與獨裁的陣營對立明顯化。在這樣的脈絡下，太空兩用科技不僅關鍵，也是雙方在競合中的重要對抗場域。

對中國而言，長期以來大力發展太空兩用科技的目的，同樣是基於太空科技的高度軍民兩用特性上，從冷戰時期的「兩彈一星」計畫開始，中國的太空科技就與其核武，以及彈道飛彈的發展密不可分；1990 年代時，受到美軍展現的先進能力震撼，中國開始全力發展先進科技能力，其中太空正是其重點之一。共軍自 2000 年開始大力發展太空科技，如開始發展北斗衛星導航系統等科技；自 2015 年以來，中國發射了包含高速率通訊衛星（High Throughput Satellite）、數十顆低軌道（low earth orbit）通訊與情報收集衛星等，北斗系統也在 2020 年完成全球覆蓋，而中國也曾把名義上屬於國營企業的民用衛星轉為軍事用途。⁸

整體而言，中國當前在太空科技的軍事發展上，一方面藉由建設自身的太空能力，構築其所謂之「信息化作戰」能力；透過現代化與高科技的研發，試圖趕上西方武裝部隊的作戰能力。由於美國為首的西方，在軍事作戰，甚至經濟與社會上都高度倚賴太空能力，因此對中國而言，如能在太空方面擊敗西方，就可以為整體的作戰態勢，以及系統性競爭上取得極大優勢。⁹ 也因此，太空作戰能力，在中國的「體系破擊戰」概念中的多個作戰領域裡，都扮演重要地位，¹⁰ 中國的太空資產將可以為解放軍在

⁸ Michael Dahm, "China's Desert Storm Education," *U.S. Naval Institute*, March 2021, <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2021/march/chinas-desert-storm-education>.

⁹ Ken Moriyasu, "China Can 'Grapple' US Satellites with Robotic Arm, Commander Says," *Nikkei Asia*, April 21, 2021, <https://asia.nikkei.com/Politics/International-relations/US-China-tensions/China-can-grapple-US-satellites-with-robotic-arm-commander-says>.

¹⁰ Jeffrey Engstrom, "Systems Confrontation and System Destruction Warfare," *RAND*, 2018, https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1708.html.

包含侵台在內、周邊區域，甚至長距離的各種武力投射任務中，得到所需支援，並且在對抗美軍介入的相關任務上，扮演關鍵角色。¹¹ 習近平上台後，更自 2015 年的軍改開始，將太空與網路等新興作戰領域的資產與能力，整合進入新軍種「戰略支援部隊」進行統籌運用。

目前，中國及俄羅斯等西方民主盟國的體制性對手，已將「反太空（counter-space，也作 anti-space）能力」作為其太空科技發展的核心關鍵方向。有鑑於相關能力的快速發展，這些國家的反太空能力受到美國情報機構的高度重視，並且認為中國在 2019 年時，就已經開始部署運用「直升式反衛星武器」（direct-ascent ASAT, DA-ASAT），如反衛星飛彈，以及可能用來致盲或損害衛星的雷射系統等，也因為相關能力的高度發展，中國被美國認為是其中的最大威脅。¹²

針對大國競爭下的太空作戰需求，美國在川普時期大力發展太空能力。川普上任後連續簽署了 7 個「太空政策指令」（Space Policy Directive, SPD），不僅重啟載人太空探索計畫、進行法規最佳化、發展太空交通管理（Space Traffic Management, STM）與太空狀況覺知（Space Situational Awareness, SSA）等確保安全，更在 2019 年的「太空政策 4 號指令」（SPD-4）建立了「太空軍」（Space Force）與「太空司令部」（Space Command），強化太空作戰能力。

川普政府也在 2019 年時成立美軍的太空發展署（Space Development Agency, SDA），與民間產業合作建構「國防太空框架」（National Defense Space Architecture, NDSA），後改名為「增強作戰人員太空架構」（Proliferated Warfighter Space Architecture, PWSA）。PWSA 為一具有 7 層次的「單一、連貫」作戰架構，包含用以預警、追蹤與標定先進飛彈威脅的「追蹤層」（tracking layer），連結「追蹤層」與地面攔截器及其他

¹¹ Mark Stokes et. al., "China's Space and Counterspace Capabilities and Activities," *U.S.-China Economic and Security Review Commission*, March 30, 2020, https://www.uscc.gov/sites/default/files/2020-05/China_Space_and_Counterspace_Activities.pdf.

¹² Joe Gould, "China Aims to Weaponize Space, Says Intel Community Report," *Defense News*, April 15, 2021, <https://www.defensenews.com/congress/2021/04/14/china-aims-to-weaponize-space-says-intel-community-report/>.

武器系統的「傳輸層」(transport layer)，用以支援標定機動地面資產的「監視層」(custody layer)、提供太空基指揮管制的「戰鬥管理層」(battle management layer)，為 GPS 能力可能將遭到拒止的作戰環境提供 PNT 服務的「導航層」(navigation layer)，用於檢測深太空潛在敵對行動的「嚇阻層」(deterrence layer)，以及協助前述各層衛星操作的「支援層」(support layer) 等，預計將包含約 550 顆衛星，並進行全球覆蓋。¹³

參、太空兩用科技作為未來作戰勝負核心之發展

在大國競爭再起及美中對抗的國際局勢發展脈絡下，美中之間在太空領域已然形成一個新的「太空競賽」。¹⁴ 值得注意的是，隨著新太空時代的到來，太空領域已然是目前新興科技的核心要項之一，不僅各種源自太空探索而生的科技運用廣見於人類生活的各層面，未來各領域高度倚賴的網路通聯，也將與太空密不可分，甚至預期到 2050 年時，太空將與全面、廣泛的各種經濟部門，在科技、市場與運用等層面有更深入的融合。¹⁵ 換言之，太空領域將會是國家在承平時與戰時都需高度倚賴，並維繫其運作的關鍵科技。單就戰場運用而言，也由於現代的先進軍事作戰對相關能力的高依賴性，以及中國在太空及反太空能力上的大力發展，致使美軍也評估認為一旦中國武力犯台，太空將極可能成為最初的交戰場域。¹⁶

一、太空兩用科技在軍民間的模糊性

2022 年 2 月 24 日，俄羅斯對烏克蘭發動入侵後，烏克蘭副總理兼數

¹³ “Hypersonic Missile Defense: Issues for Congress,” *Congressional Research Service*, Updated August 21, 2023, <https://sgp.fas.org/crs/weapons/IF11623.pdf>.

¹⁴ Bryan Bender, “‘We Better Watch Out’: NASA Boss Sounds Alarm on Chinese Moon Ambitions,” *Politico*, January 1, 2023, <https://www.politico.com/news/2023/01/01/we-better-watch-out-nasa-boss-sounds-alarm-on-chinese-moon-ambitions-00075803>.

¹⁵ James Black et. al., “Future Uses of Space Out to 2050: Emerging Threats and Opportunities for the UK National Space Strategy,” *RAND*, 2022, https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA609-1.html.

¹⁶ 曹晏郡、邱福財，〈中印相繼投資太空科技 美憂中反太空能力威脅全球〉，《公視新聞網》，2023 年 7 月 27 日，<https://news.pts.org.tw/article/648458>。

位轉型部長費德羅夫（Mykhailo Fedorov）隨即在推特上籲請馬斯克（Elon Musk）提供其 SpaceX 公司的低軌通訊衛星座「星鏈」系統支援，並得到應允。「星鏈」高效率協助烏克蘭在俄軍的強大火力投射下，維持醫院、學校、消防，乃至於通訊、能源在內的各種關鍵基礎設施的運作，更成為烏克蘭武裝部隊高效運用的通聯網路。¹⁷「星鏈」的運用，事實上也使得戰場及後方的各種資訊、影像，能快速地散播至世界各地，協助烏克蘭強化在國際上的宣傳工作與爭取各國支持。

「星鏈」在烏克蘭戰爭中的表現，展現了「新太空」時代的新興科技，在作戰上的高度潛力。然而，SpaceX 公司在烏克蘭戰爭中，也多次停止或減少提供服務，為基輔當局在作戰上造成相當的困難。¹⁸是故，未來在軍事作戰上將當前蓬勃的商業太空能力轉為支援國家安全用途上，仍存在進一步形塑規範與評估其可能風險的空間。

除此之外，前述軍民兩用的模糊性，也呈現在「反太空」能力上，如中國的「實踐—17 號」衛星即為一例；「實踐—17 號」是一枚實驗衛星，可以用來進行通訊與廣播，並追蹤太空垃圾，然其也配備了機械臂，被美軍認為可以用來攻擊或抓捕其他衛星。¹⁹

二、確保太空資產的作戰能力與生存性

承前所述，太空能力在未來的人類科技生活、社會機能的穩定運作，乃至於軍事安全層面上都具備高度的重要性。因此，太空資產如衛星等裝

¹⁷ Vivek Wadhwa and Alex Salkever, “How Elon Musk’s Starlink got Battle-Tested in Ukraine,” *Foreign Policy*, May 4, 2022, <https://foreignpolicy.com/2022/05/04/starlink-ukraine-elon-musk-satellite-internet-broadband-drones/>; Baranjot Kaur and Abinaya Vijayaraghavan, “Starlink Helped Restore Energy, Communications Infrastructure in Parts of Ukraine – Official,” *Reuters*, October 13, 2022, <https://www.reuters.com/world/starlink-helped-restore-energy-communications-infrastructure-parts-ukraine-2022-10-12/>.

¹⁸ Alisha Rahaman Sarkar, “Elon Musk ‘Stopped Ukraine Military Using Starlink for Military Operation’,” *Independent*, August 1, 2023, <https://www.independent.co.uk/news/world/europe/elon-musk-starlink-ukraine-war-b2384702.html>.

¹⁹ Brian G. Chow and Brandon W. Kelley, “Op-ed/Peace in the Era of Weaponized Space,” *Space News*, July 28, 2021, <https://spacenews.com/op-ed-peace-in-the-era-of-weaponized-space/>.

備的作戰能力與生存性的維護，實際上已可視為是一種關鍵基礎設施保護，而在當前的美中陣營對抗的國際安全環境，以及中國與俄羅斯等國在反太空能力上進行了長期大量投資與發展的脈絡下，從地面到地球軌道上的太空能力的安全與韌性，更被認為應進一步重視與強化從感測器、訊號、資料與酬載在內的「太空系統」保護。²⁰

由於維持太空能力在和戰時期都具備關鍵重要性，因此「韌性」（Resilience）一詞，在近年也同樣廣泛見於太空作戰與安全的相關議題上。包含會合太空飛行器（rendezvous spacecraft）、陸基雷射，以及網路攻擊等反衛星武器，都可能在 2020 年代發展成熟，²¹ 因此必須進一步探討應對的手段。

各國對太空系統韌性的關注，並不僅是因為中俄等國大幅強化反衛星能力所導致。事實上，因為太空垃圾（space debris）的遍布，以及低軌道上將會出現「新太空」時代的大量低軌衛星等因素，使得 SSA 與 STM 是當前各主要太空行為者最關注的重要議題；然而，中俄等國在 DA-ASAT 的研發與試驗，確實進一步製造了大量的太空垃圾，如中國在 2007 年發射的反衛星武器，就製造了有史以來最大的太空垃圾群，單就可追蹤的碎片就超過 3,000 枚，並致使 2022 年時國際太空站被迫進行機動以躲避其中一些太空垃圾。²²

針對中國與俄羅斯的可能太空動態，美國除與友盟國家繼續合作強化前述 SSA 及 STM 能力外，也持續遵循 PWSA 的規劃，透過分散式的來源與架構，強化太空資產的韌性，並建立監視網路。必須注意的是，儘管美國並未確實研發生產 DA-ASAT 的作戰能力，但美國擁有的飛彈防禦攔截器也同樣具備攻擊低軌道衛星的能力，同時美國在干擾衛星導航以及快速

²⁰ Frank Cilluffo and RADM (Ret.) Mark Montgomery, “Time to Designate Space Systems as Critical Infrastructure,” *Foundation for Defense of Democracies*, April 14, 2023, <https://www.fdd.org/analysis/2023/04/14/time-to-designate-space-systems-as-critical-infrastructure/>.

²¹ Brian G. Chow and Brandon W. Kelley, *ibid.*

²² Greg Hadley, “Saltzman: China’s ASAT Test War ‘Pivot Point’ in Space Operations,” *Air and Space Forces Magazine*, January 13, 2023, <https://www.airandspaceforces.com/saltzman-chinas-asat-test-was-pivot-point-in-space-operations/>.

研發完成具反太空能力的定向能武器等層面上，也具備有足夠的科技，惟目前仍將重心置於 SSA 上。美國本身自冷戰開始，就部署了大量且廣布在世界各地的陸基雷達、望遠鏡，以及太空基的望遠鏡等監視網路；美國目前正進一步更新這些感測系統，並在南半球部署新的雷達及望遠鏡，強化尋求商業能力的投入。²³

美國也正進一步部署先進太空基系統，以確保能夠有效監視來自中俄等國的潛在威脅，如規劃在 2023 年後半發射的「沉默吠叫者」（SILENTBARKER）衛星，儘管美軍並未公開其詳細的技術細節，然應可接近相關的潛在太空威脅，並拍攝其詳細影像，此系統預期在 2026 年建立完全作戰能力（full operational capability）；值得注意的是，類似的太空接近偵察行動早已在美中等國之間展開。²⁴

在美國之外，由於烏克蘭戰爭的教訓，建立具韌性的太空能力已然成為各國的當務之急，如歐盟在 2023 年 2 月 14 日通過的「衛星構成之韌性、互聯及安全基礎設施」（Infrastructure for Resilience, Interconnection and Security by Satellites, IRIS²）多軌衛星星座系統計畫即為一例；歐盟將透過官方與民間的合作，建立一個由低軌道、中軌道（Medium Earth Orbit）、同步軌道（Geosynchronous orbit）混合的韌性系統，並與原有的「伽利略」（Galileo）及「哥白尼」（Copernicus）衛星系統整合，為歐洲國家提供包含導航與遙測在內，且具有完全歐洲主權的完整能力。²⁵

²³ Brian Weeden and Victoria Samson, eds., “Global Counterspace Capabilities: An Open Source Assessment,” *Secure World Foundation*, April 2023, https://swfound.org/media/207567/swf_global_counterspace_capabilities_2023_v2.pdf.

²⁴ Theresa Hitchens, “SILENTBARKER ‘Watchdog’ to be ‘Exponential’ Leap in DoD Monitoring of Chinese, Russian Sats,” *Breaking Defense*, August 31, 2023, <https://breakingdefense.com/2023/08/silentbarker-watchdog-to-be-exponential-leap-in-dod-monitoring-of-chinese-russian-sats/>.

²⁵ “Adoption by the European Parliament of IRIS², Europe’s New Infrastructure for Resilience, Interconnection & Security by Satellites,” *European Commission: Defence Industry and Space*, February 14, 2023, https://defence-industry-space.ec.europa.eu/adoption-european-parliament-iris2-europes-new-infrastructure-resilience-interconnection-security-2023-02-14_en.

三、對抗極音速武器的重要環節

極音速武器（hypersonic）是近年在軍事領域上，另一個關鍵新型科技之一，意指能達到音速 5 倍以上高速的武器。²⁶ 當前受各國高度關注的極音速武器，主要分為使用「乘波體」（waverider）構型，能在滑翔至目標的途中持續進行不規則機動的「極音速滑翔載具」（Hypersonic Glide Vehicle, HGV），以及使用超燃衝壓引擎（scramjet）、能以極高速度低空襲擊目標的「極音速巡弋飛彈」（Hypersonic Cruise Missile, HCM）等兩個類型。除此之外，近年還有不需要前二者的先進技術，而是透過空射方式投射彈道飛彈，使其以超過 5 馬赫的高速攻擊目標的類型，如源自於 9K720「伊斯坎達爾」（Iskander）短程彈道飛彈的 Kh-47M2「匕首」（Kinzhal）等，相較於前二者而言較容易攔截。

必須注意的是，出現已久的洲際彈道飛彈等長程打擊武器，實際上早已具有超越前述極音速武器的高速，然而當前的新型極音速武器不論 HGV、HCM 還是空射彈道飛彈，都是在大氣層內投射，前二者更是傳統反飛彈能力中較為不足的領域，高速且精準的能力也使其可能以傳統彈頭就能有效摧毀目標。其中，能持續機動的 HGV，更大幅提升傳統反飛彈系統的攔截難度。是故，需要透過分層方式對抗這種難以防禦的裝備，而部署在太空的感測器等資產，正是其中的關鍵要項。²⁷

針對 HGV 的威脅，美軍的「飛彈防禦署」（Missile Defense Agency）與 SDA 自 2019 年川普時期開始，就基於《2019 飛彈防禦評估》（2019 *Missile Defense Review*）報告開始研發「極音速與彈道追蹤太空感測器」（Hypersonic and Ballistic Tracking Space Sensor, HBTSS）衛星；在規劃中，

²⁶ Kelly M. Saylor, “Hypersonic Weapons: Background and Issues for Congress,” *Congressional Research Service*, Updated October 14, 2022, <https://sgp.fas.org/crs/weapons/R45811.pdf>.

²⁷ Iain Boyd, “How Hypersonic Missiles Work and the Unique Threats They Pose – An Aerospace Engineer Explains,” *The Conversation*, April 15, 2022, <https://theconversation.com/how-hypersonic-missiles-work-and-the-unique-threats-they-pose-an-aerospace-engineer-explains-180836>; Emmanuelle Maitre and Stéphane Delory, “HCoC Research Paper No.12: Hypersonic Missiles: Evolution or Revolution for Missile Nonproliferation and Arms Control Instruments?” *The Hague Code of Conduct*, February 2023, <https://www.nonproliferation.eu/hcoc/wp-content/uploads/2023/03/Hypersonic-weapons-non-proliferation-and-arms-control.pdf>.

HBTSS 是一種具備「中視場」(medium field of view)感測器的衛星，隨後整合進入前述的「追蹤層」衛星星座架構之中，「追蹤層」部署於低軌道，具備「寬視場」(wide field of view)感測器，與 HBTSS 整合可加強持續追蹤與監控飛行中 HGV 的能力，協助飛彈防禦系統進行攔截。²⁸

近期，美國太空軍的 SDA 在 2023 年 7 月 7 日更進一步宣布將授予合約並發展稱為「軌道支援戰爭戰士射控」(Fire-control On Orbit-support-to-the-war Fighter，縮寫為 FOO Fighter/F2)的計畫，預計將建立由 8 顆配備紅外線與光學感測器的衛星所組成的星座，整合雷達等感測器，以及各種攔截器(interceptor)，建立一個由衛星協助偵測、追蹤，然後引導攔截器對抗極音速武器的系統，並希望在 2026 年時推出原型。²⁹

肆、太空產業的角色與未來發展評估

太空科技原本就屬於高度軍民兩用的範疇，在進入「新太空」時代後，民間產業將可能在太空的國安與軍事等層面上扮演更加重要的角色。必須注意的是，「新太空」時代中民間新創的角色，已因為「星鏈」在烏克蘭戰爭中大放異彩而受到矚目。因此，民間公司將可能在未來，也為國安及軍事作戰提供重要能力。

軍民兩用之間的模糊性，讓太空領域的軍事作戰與安全問題進一步複雜化，然針對此需求，美國太空軍已經開始制定初步框架，以求在戰時或危急時刻可以有效運用商業太空的能力，其中將包含五個要素：合約、規劃、政策、營運以及產業界的回饋。³⁰

²⁸ “Hypersonic and Ballistic Tracking Space Sensor (HBTSS),” *Missile Defense Advocacy Alliance*, July 2, 2020, <https://missiledefenseadvocacy.org/defense-systems/hypersonic-and-ballistic-tracking-space-sensor-hbtss/>.

²⁹ Brett Tingley, “Space Force Wants ‘Foo Fighter’ Satellites to Track Hypersonic Missiles,” *Space.com*, July 13, 2023, <https://www.space.com/satellites-hypersonic-missile-foo-fighter-pentagon>.

³⁰ Courtney Albon, “Space Force Crafting Framework for Commercial Fleet Access in A Crisis,” *C4ISRNET*, April 21, 2023, <https://www.c4isrnet.com/battlefield-tech/space/2023/04/20/space-force-crafting-framework-for-commercial-fleet-access-in-a-crisis/>.

就通訊而言，儘管「星鏈」等商業系統因烏克蘭戰爭而仍存在有國防運用上的疑慮，然 SpaceX 仍為了提供公部門在國安與軍事作戰上的需求，進一步成立了「星盾」（Starshield）部門，以負責該領域未來的可能業務，並提供地球觀測（earth observation）與強化安全等級的通訊衛星座。³¹

此外，美軍目前也啟動了將與商業太空發射服務合作的「戰術型反應太空」（tactically responsive space）計畫。美軍正尋求民間太空產業為其提供更靈活，並能在不同地點進行太空發射任務的商業服務，協助美軍快速發射衛星，可以協助擴大衛星座的規模，也能在作戰中快速更換替補遭到攻擊的衛星，美軍正藉此種方式，已快速發射、軟體更新以及機動能力等各層面的發展，建構「動態太空作戰」（dynamic space operations）能力。³²

伍、小結

大國競爭的再起，使得太空作戰重新成為國防安全上的關鍵議題，而「新太空」時代的出現，則讓各國發展太空能力的門檻大幅下降，使得太空的安全議題，不再僅限於核心大國之間。同時各國大量出現的太空新創產業，也讓太空兩用科技的發展大幅加速，同時也重新構成世界各國對「太空軍事化」的擔憂；這種擔憂不僅植基於近年中國與俄羅斯等國在反衛星武器上的持續發展，也在於目前太空科技在當前的擴散，以及其對未來整體社會與國安、軍事關鍵地位，這也導致多個國家紛紛建立太空作戰部隊，甚至軍種以因應相關威脅。

正如同人工智慧、無人載具等新興科技（emerging technologies）般，

³¹ Courtnet Albon, “SpaceX Forms ‘Starshield’ Business Unit to Focus on National Security,” *C4ISRNET*, December 5, 2022, <https://www.c4isrnet.com/battlefield-tech/space/2022/12/05/spacex-forms-starshield-business-unit-to-focus-on-national-security/>.

³² Sandra Erwin, “U.S. Space Command Supports Use of ‘Responsive Launch’ to Deter China and Russia,” *Space News*, November 29, 2022, <https://spacenews.com/u-s-space-command-supports-use-of-responsive-launch-to-deter-china-and-russia/>.

太空兩用科技不僅逐漸成為陣營對抗的最前線，「新太空」時代要如何重新形塑國際的太空管理與治理規範，正是當前在技術發展外，各國正在進行角力的場域。

就台灣的角度而言，太空兩用科技的發展，不論在確保我國在未來科技產業上不至於落後於世界各國，還是在國家安全與軍事作戰上維持基本的作戰能力，都有其必要性。目前國家太空中心正在進行第三期太空計畫，而我國也在 2021 年 5 月 31 日三讀通過了《太空發展法》，並且較過往更大幅度地投資了太空相關科技的發展，顯示台灣並不想在國際發展的浪潮中缺席。事實上，由於「新太空」時代科技的快速擴散與行為者的增加（包含了中小型國家與新創產業等），使得未來世界各國重塑太空相關的國際規範時，實際上也包含了台灣可能進一步參與的機會。不過就科技發展、國際太空產業供應鏈中的位置，以及軍事能力的建立而言，我國仍需更有效整合能量，有效運用有限的資源，並協助正在起步的本土太空產業站穩腳跟，然而仍有賴於政府長期戰略擘劃、資金資源的持續投入、強化人才培育，以及尋找進入國際供應鏈，讓產業能有效營利、成長，才能真正在太空兩用科技領域上站穩腳跟。

