

# 中子科技應用： 借鏡國際最新發展以超前部署台灣未來情境(下)

黃爾文 副教授

國立交通大學材料系

[ewenhuang@nctu.edu.tw](mailto:ewenhuang@nctu.edu.tw)

## 六、面對新時代的超前部署

同樣面對新科技，不同的投資方向將產生截然不同的效果。近年著名的案例之一，為 GE 藉由超前部署與併購 3D 列印技術將這項新興技術，用在最高值化的航太與生醫產業<sup>1</sup>。本文不做未來的預測，畢竟技術的走向，有見仁見智的取捨。但文末將彙整在變動的選題下，那些是中子相關會議與專家爭辯的同時，所達成少有的部分共識。

以下為筆者擔任台灣中子學會期刊執行編輯，從 The Institut Laue-Langevin (ILL) 的 Director Prof. Helmut Schober 與 Associate Director Prof. Mark Johnson 邀稿得到介紹 ILL 中子用戶服務推廣資訊(DOI: 10.13140/RG.2.2.34513.17769)，跟橡樹嶺國家實驗室陳威仁博士<sup>2</sup>邀稿的廣域小角度中子散射團隊分享的美國能源部中子設施規畫經驗(DOI: 10.13140/RG.2.2.32532.24960)。與從 2017 年起，由筆者主辦或是參加過的會議，包含 IUMRS-ICA 國際會議項下的 Advanced Characterization for Materials Genome & ICME: TEM, Synchrotron X-ray, and Neutron 論壇<sup>3</sup>、第 23 屆同步年會項下的 Workshop IV: TPS & Complementary Methods for Emerging Materials、在韓國的 Nanostructured Materials by Neutron and Synchrotron X-ray Scattering 國際會議、2019 年七月在東莞的松山湖材料實驗室的粵港澳交叉科學中心舉辦的 Neutron Scattering Science and Techniques and their Applications in Materials Sciences、AOCNS 2019 的 S5. Engineering and Industrial 論壇，所總結的。

上述會談的共識為(一)中子散射在量子材料、結構材料、能源材料與軟物質的研發有不可或缺的重要性；(二)應加強國際交流，以應用最新的技術與觀念；(三)健全用戶群；(四)藉由訓練營、研討會與國際會議吸引與培訓青年人才；(五)中子源現地能有實驗室以準備樣品、搭配互補量測的 X 光源等貴重儀器；(六)光源組建時即引入用戶，以用戶的需求設計重要的量測規格；(七)更進階的分析工具，例如美國橡樹嶺國家實驗室 EQ-SANS 團隊發展出藉由統計力學，電腦模擬及人工智慧所架構出的新穎高精度定量分析方法，例如用機器學習做相鑑定[34]、用人工智慧做斷層影像的辨識[35]與現地斷層的數位影像相關性分析[35-40]；(八)結合台灣獨特的同步輻射台灣光源與國家高速計算中心優勢，引入人工智慧等相關技術於先進光源數據的分析、模式判別、與數據累積。

<sup>1</sup> <https://www.ge.com/additive/>

<sup>2</sup> <https://neutrons.ornl.gov/contacts/chenw>

<sup>3</sup> <http://iumrs-ica.conf.tw/site/mypage.aspx?pid=168&lang=en&sid=1153>



圖五：2017年11月Advanced Characterization for Materials Genome & ICME: TEM, Synchrotron X-ray, and Neutron 論壇<sup>3</sup>：(a)與會各國邀請講者；(b)美國哥倫比亞大學Cevdet Noyan系主任<sup>4</sup>分享中子繞射研究紐約市交通安全民生議題的：橫跨哈德遜河的眾多鋼索吊橋的纜線(類似南方澳大橋的鋼索)機械性能與壽命評估。

### 跨過中子科學與民生應用技術鴻溝的永續運營想像

運作中子設施與積累、開發有價值技術的成本壓力，可以從各國中子機構積極拓展尖端科技、重要戰略產業與基礎民生應用略知一二。龐大的投資與運營，如何能永續經營、落地在日常民生與經濟發展是各國都想解決的痛點。所幸，科技部已經委託同步輻射中心，運作以科學研究為主，提供國內科學研究者追尋藍天的中子計畫。如果國內另有資源投入中子的應用，或可定位為互補的、朝民生科技、應用經濟相關的議題發展。

在此前提下，檢視眾多爭搶科技頂尖生態位的中子運營機構中，有一個獨樹一幟的機構，那就是美國的 NIST Center for Neutron Research<sup>5</sup>。這個美國商業部轄下的中子中心，當然也追求學術的卓越，與此同時，NIST 同樣廣為人知的是，NIST 具有頂級國際公信力的檢測與認證。本文舉 NIST 為例，著眼於其服務定位，至於 NIST 的反應器中子源並不一定是適合台灣的選項。

檢測與認證所能提供的商業模式，猶如應用開放程式介面(Open Application Programming Interface, API)，可以降低中子科學與民生應用的運營鴻溝。舉例來說，如果未來國內的中子設施，能至少達到財團法人全國認證基金會並逐步養成更高階國際認證的程度，以回應國內產業發展的需求。用上 API 方便、快速的介面以提供民生應用所需的檢測里程碑，輔導廠商從鐵道橋樑進步到航太的認證、從常規的流感疫苗到緊急的快篩檢測。中子量測獨特的解析能力，將有助國內的廠商與業者，運用可透視的尺，追求更高的精度；用上獨特的明燈，照亮解題的方向與仲裁假說的檢定。或可參考國內新興的材料檢測公司(例如閱康)與台灣龍頭產業台積電的關係：彼此互補，提供互相分工的專業。與此同時，客戶也藉由更快速反饋的資訊得以高值化其產品。再藉由資安的保障讓用戶不用擔心資料外洩，以吸引需要保密的高規產品。再參酌本次疫情下蓬勃發展的樣本郵件服務以開拓國際用戶。

上述服務介面的演化與精進，或可供國內中子投資，提早開啟有競爭力的營運模式，以永續發展、根留台灣的培育人才。與此同時，也正因為潛在應用場域因為 API 化的服務，將可吸引多元化的檢測與認證目標。

如果有機會藉由新中子源設施架構與運營計畫的服務模式創新，籌備過程可以參考「科

<sup>4</sup> <https://www.apam.columbia.edu/faculty/cevdet-noyan>

<sup>5</sup> <https://www.nist.gov/ncnr>

技決策支援與科技計畫管理模式精進計畫」2019年11月20日彙整的管考機制，讓中子“這輛科學超跑”等級的科技，裝上方向盤、變速箱與煞車，來掌握方向與節奏：挑出真正重要的事，訂定明確行動方向、目標與關鍵成果的 OKR，抓大放小，避免冗長瑣碎 KPI，就國家優先議題需求與政策額度科技規劃，邀請跨部會關係人，參與共同討論，以設定有交集的終點(end point)。再參照國際中子發展經驗，挑選適合台灣的路徑，設立扣合終點的里程碑與具體、可量測、可橫向協調、上下溝通的管考 OKR。並建立責任範圍可控、指定週期內可以完成的 SMART (specific, measurable, attainable, relevant, time bound) 度量指標。例如透過新建國內中子的設備與技術，可以完成哪些過去只能委託國外的認證、因此縮短認證流程從幾個月到幾週、過去因為生物相關而難以出國量測的重要檢體，將因國內中子設施而可以得到解答，從哪個部會項下甚麼計畫的試量產的產品開發驗證、符合國際哪項標準的產品試認證、完成哪個疫苗的開發與驗證等，過去「列出過程產出的 KPI」轉型為「列出具有價值的成果」。將「任務導向」轉型為「價值導向」：先從零到一、再從一放大到可以經濟規模的穩定接單、接大單。

在此前提下，因為任務邊界明確，比對政府分工的科技行政組織任務，也可以吸引相關部會，藉中子服務幫不同的政府部門解決問題，並分工人才培訓，進而提升我國產品的競爭力與帶動薪資成長，超前部署台灣的需求。

最後，加入科技會報辦公室-科技政策諮詢專家室薛孝亭整理，附上實現年的日本第十次前瞻調查科技項目清單。以下表二為用「中子」當關鍵字，節錄的相關技術與願景落地、期待時程。

表二：日本第十次前瞻調查科技項目清單以中子為關鍵字整理

id	領域	細目	課題	技術實現年	技術無法實現的比例	社會實現年	社會無法實現的比例
74	2. 健康、醫療、生命科學	04. 一般疾病、外傷、人工協助生殖技術	以癌細胞和正常細胞混合存在的高惡性度癌細胞(腦瘤等)為治療目標的硼中子捕獲療法(BNCT)	2023	0.0	2027	0.0
56	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	05. 加速器、基本粒子、原子核	緊湊、便攜式的加速器，用於使用中子和 X 射線對地下結構、地面結構和機器組件的 3D 應力/應變分佈進行無損、非接觸式原位測量	2025	4.3	2025	3.4
60	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	05. 加速器、基本粒子、原子核	有助於非周期物質、生命的研究和於其產業擴大應用的超冷中子源和大強度中子發生(中子	2025	1.7	2030	5.2

	子光束、資料科學、測量)		束 $5 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$ 研究用原子爐，及中子集束測量技術(中子微光束(microbeam)、極化中子(polarized neutron)顯微鏡等)				
81	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中子、介子、帶電粒子等	形成、控制極化中子(polarized neutron)，精密測量磁性體的局部磁氣構造和激發磁氣的技術	2020	0.0	2025	2.2
82	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中子、介子、帶電粒子等	以中子和 X 光使功能材料、構造材料於實際工作過程中的三維應力、應變分佈等可視化，和當場觀測的技術	2020	0.8	2022	2.4
83	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中性子、介子、帶電粒子等	形成、控制超低速渺子(muon)，以奈米(nm)層級闡明磁性狀態的技術	2020	1.4	2021	2.8
84	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中子、介子、帶電粒子等	產生和控制極化正電子並以無模型方式觀察第一表面層的結構和磁性結構的技術	2020	0.0	2023	0.0
85	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中子、介子、帶電粒子等	通過以良好的可重複性或同時照射多個量子束(中子、同步輻射、正電子、雷射、離子等)到同一樣品的同一位置，從而具有高度複雜性和區域依賴性的物質的原子結構和電子組態，使用複雜方法以多方面和精確的方式分析和觀察暫態現象的技術	2025	3.1	2025	3.1
86	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中子、介子、帶電粒子等	複合、互補的利用複數量子光束(中子、同步輻射、正電子、雷射、離子等)，廣泛的從 nm~mm 對材料構造、功能加以解析的同時進行加工、控制的技術	2020	0.8	2025	4.9
87	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中子、介子、帶電粒子等	開發於進行精密診斷、高效率治療時需要的新放射性藥品，以中子、離子光束大量並穩定的製造 At211 等放射性同位素的技術	2020	0.0	2025	1.5
88	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中子、介子、帶電粒子等	利用全面的分子信息，解析由離子束、伽馬射線( $\gamma$ )引起的突變特徵。進而可靠地獲取所需的可控變異	2025	8.1	2030	9.5

89	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中子、介子、帶電粒子等	以同步輻射和雷射等在結晶成長中、裝置運作下等實際製造、使用的條件下，對奈米等級的材料構造測量至原子層級的測量、分析技術	2021	2.0	2025	2.0
90	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中子、介子、帶電粒子等	精準定位活體組織內的細胞行局部照射微光束(microbeam)技術，及進行三維局部劑量投藥時分佈可控的技術	2020	0.0	2025	0.0
91	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中子、介子、帶電粒子等	使用單離子軌道進行功能化，以帶電粒子光束的複合照射進行微細加工、表面功能化技術(假設對高性能反應/分離膜、單一發光量子裝置、疾病診斷系統晶片、再生醫療裝置等的應用)	2025	3.2	2030	3.2
92	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中性子、介子、帶電粒子等	以高度化的大強度中子成像技術，分析金屬的局部組成和使金屬配件內的微細構造三維可視化的測量技術	2020	0.0	2024	1.1
93	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中性子、介子、帶電粒子等	使以核變化的技術使放射性廢棄物中的長壽核種 135Cs 變無害時需要的 Cs 同位素(isotope)分離，以使用高強度 THz 脈衝的量子控制技術分離新物質的方法(同位素選擇性加熱)	2025	5.3	2030	12.3
94	4. 宇宙、海洋、地球、科學基礎(量子光束、資料科學、測量)	07. 光束應用：中性子、介子、帶電粒子等	以離子加速器和高強度雷射形成短壽命的超重元素等，同時藉由離子狀態使取得前所未有的核資料變成可能的技術	2025	1.9	2030	1.9
14	5. 環境、資源、能源	01. 能源生產	包括核燃料循環及集成式快中子反應爐(IFR)的快速增殖反應爐(FBR)的系統技術	2030	25.5	2035	31.9
54	6. 物質、裝置、過程	04. 測量、解析 先端材料、裝置的方法	闡明高溫超傳導、自旋電子材料等功能時，形成、控制、檢測能源(波長)範圍廣泛之極化中子(polarized neutron)的技術	2025	6.7	2030	10

## 致謝

科技部吳大猷計畫 108-2221-E-009-131-MY4、同步輻射中心中子用戶差旅補助計畫 MOST-108-2739-M-213-001、行政院科技會報辦公室「科技決策支援與科技計畫管理模式精進」計畫培訓。

## 參考資料

1. S. Paul, R. Singh, W. Yan, I. Samajdar, A. Paradowska, K. Thool and M. Reid, *Scientific Reports* **8** (1), 14726 (2018).
2. P. Scardi, M. Ermrich, A. Fitch, E.-W. Huang, R. Jardin, R. Kuzel, A. Leineweber, A. Mendoza Cuevas, S. Misture and L. Rebuffi, *Journal of applied crystallography* **51** (3), 831-843 (2018).
3. E.-W. Huang, B. Clausen, Y. Wang, H. Choo, P. K. Liaw, M. L. Benson, L. M. Pike and D. L. Klarstrom, *International Journal of Fatigue* **29** (9), 1812-1819 (2007).
4. E.-W. Huang, R. I. Barabash, Y. Wang, B. Clausen, L. Li, P. K. Liaw, G. E. Ice, Y. Ren, H. Choo and L. M. Pike, *International Journal of Plasticity* **24** (8), 1440-1456 (2008).
5. E.-W. Huang, R. I. Barabash, B. Clausen, Y.-L. Liu, J.-J. Kai, G. E. Ice, K. P. Woods and P. K. Liaw, *International Journal of Plasticity* **26** (8), 1124-1137 (2010).
6. E. W. Huang, K. W. Li, S. Y. Lee, W. C. Woo, Y. S. Ding, L. W. Tsay and C. H. Chen, *Materials Science Forum* 706, 1685-1689 (2012) .
7. E. W. Huang, C. K. Chang, P. Liaw and T. R. Swei, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures* (2016).
8. W. Woo, H. Choo, D. W. Brown, P. K. Liaw and Z. Feng, *Scripta Materialia* **54** (11), 1859-1864 (2006).
9. W. Woo, H. Choo, M. B. Prime, Z. Feng and B. Clausen, *Acta Materialia* **56** (8), 1701-1711 (2008).
10. R. Cunningham, C. Zhao, N. Parab, C. Kantzos, J. Pauza, K. Fezzaa, T. Sun and A. D. Rollett, *Science* **363** (6429), 849-852 (2019).
11. S. M. H. Hojjatzadeh, N. D. Parab, W. Yan, Q. Guo, L. Xiong, C. Zhao, M. Qu, L. I. Escano, X. Xiao, K. Fezzaa, W. Everhart, T. Sun and L. Chen, *Nature Communications* **10** (1), 3088 (2019).
12. J.-C. Tseng, W.-C. Huang, W. Chang, A. Jeromin, T. F. Keller, J. Shen, A. C. Chuang, C.-C. Wang, B.-H. Lin, L. Amalia, N.-T. Tsou, S.-J. Shih and E. W. Huang, *Additive Manufacturing* **35**, 101322 (2020).
13. P.-I. Tsai, T.-N. Lam, M.-H. Wu, K.-Y. Tseng, Y.-W. Chang, J.-S. Sun, Y.-Y. Li, M.-H. Lee, S.-Y. Chen, C.-K. Chang, C.-J. Su, C.-H. Lin, C.-Y. Chiang, C.-S. Ku, N.-T. Tsou, S.-J. Shih, C.-C. Wang and E. W. Huang, *Materials Chemistry and Physics* **230**, 83-92 (2019).
14. E. W. Huang, S. Y. Lee, J. Jain, Y. Tong, K. An, N.-T. Tsou, T.-N. Lam, D. Yu, H. Chae, S.-W. Chen, S.-M. Chen and H.-S. Chou, *Intermetallics* **109**, 60-67 (2019).
15. E. W. Huang, R. I. Barabash, Y. Wang, B. Clausen, L. Li, P. K. Liaw, G. E. Ice, Y. Ren, H. Choo, L. M. Pike and D. L. Klarstrom, *International Journal of Plasticity* **24** (8), 1440-1456 (2008).
16. E.-W. Huang, B. Clausen, Y. Wang, H. Choo, P. K. Liaw, M. L. Benson, L. M. Pike and D. L. Klarstrom, *International journal of fatigue* **29** (9-11), 1812-1819 (2007).
17. E.-W. Huang, R. I. Barabash, G. E. Ice, W. Liu, Y.-L. Liu, J.-J. Kai and P. K. Liaw, *Jom* **61** (12), 53 (2009).
18. E.-W. Huang, R. I. Barabash, B. Clausen and P. K. Liaw, *Metallurgical and Materials Transactions A* **43** (5), 1454-1461 (2012).

19. E.-W. Huang, S. Y. Lee, W. Woo and K.-W. Lee, *Metallurgical and Materials Transactions A* **43** (8), 2785-2791 (2012).
20. E. W. Huang, C. K. Chang, P. Liaw and T. R. Suei, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures* **39** (6), 675-685 (2016).
21. S. Seo, E.-W. Huang, W. Woo and S. Y. Lee, *International journal of fatigue* **104**, 408-415 (2017).
22. A. J. Edwards, R. S. Dhayal, P.-K. Liao, J.-H. Liao, M.-H. Chiang, R. O. Piltz, S. Kahlal, J.-Y. Saillard and C. W. Liu, *Angewandte Chemie* **126** (28), 7342-7346 (2014).
23. W. K. Pang, N. Sharma, V. K. Peterson, J.-J. Shiu and S.-h. Wu, *Journal of Power Sources* **246**, 464-472 (2014).
24. W. K. Pang, V. K. Peterson, N. Sharma, J.-J. Shiu and S.-h. Wu, *Chemistry of Materials* **26** (7), 2318-2326 (2014).
25. I. Bobrikov, A. Balagurov, C.-W. Hu, C.-H. Lee, T.-Y. Chen, S. Deleg and D. Balagurov, *Journal of Power Sources* **258**, 356-364 (2014).
26. C.-W. Hu, T.-Y. Chen, K.-S. Shih, P.-J. Wu, H.-C. Su, C.-Y. Chiang, A.-F. Huang, H.-W. Hsieh, C.-C. Chang and B.-Y. Shew, *Journal of Power Sources* **270**, 449-456 (2014).
27. C.-W. Hu, N. Sharma, C.-Y. Chiang, H.-C. Su, V. K. Peterson, H.-W. Hsieh, Y.-F. Lin, W.-C. Chou, B.-Y. Shew and C.-H. Lee, *Journal of Power Sources* **244**, 158-163 (2013).
28. C.-Y. Liu, X. Li, W.-Y. Chen, L.-C. Chang, Y.-F. Chen, H.-L. Chen, Y.-S. Sun, H.-Y. Lai and E. W. Huang, *Langmuir* **30** (38), 11421-11427 (2014).
29. Y. Liu, C.-Y. Chen, H.-L. Chen, K. Hong, C.-Y. Shew, X. Li, L. Liu, Y. B. Melnichenko, G. S. Smith, K. W. Herwig, L. Porcar and W.-R. Chen, *The Journal of Physical Chemistry Letters* **1** (13), 2020-2024 (2010).
30. E.-W. Huang, D. Yu, J.-W. Yeh, C. Lee, K. An and S.-Y. Tu, *Scripta Materialia* **101**, 32-35 (2015).
31. W. Woo, E.-W. Huang, J.-W. Yeh, H. Choo, C. Lee and S.-Y. Tu, *Intermetallics* **62**, 1-6 (2015).
32. E.-W. Huang, H.-S. Chou, K. Tu, W.-S. Hung, T.-N. Lam, C.-W. Tsai, C.-Y. Chiang, B.-H. Lin, A.-C. Yeh and S.-H. Chang, *Scientific reports* **9** (1), 1-10 (2019).
33. E.-W. Huang and P. K. Liaw, *MRS Bulletin* **44** (11), 847-853 (2019).
34. K. Kaufmann, C. Zhu, A. S. Rosengarten, D. Maryanovsky, T. J. Harrington, E. Marin and K. S. Vecchio, *Science* **367** (6477), 564-568 (2020).
35. A. Maiti, A. Venkat, G. D. Kosiba, W. L. Shaw, J. D. Sain, R. K. Lindsey, C. D. Grant, P. T. Bremer, A. G. Gyulassy, V. Pascucci and R. H. Gee, *Computational Materials Science* **182**, 109782 (2020).
36. V. C. Gudla, M. Storm, B. C. Palmer, J. J. Lewandowski, P. J. Withers, N. J. H. Holroyd and T. L. Burnett, *Corrosion Science* **174**, 108834 (2020).
37. S. J. Borland, J. Behnsen, N. Ashton, S. E. Francis, K. Brennan, M. J. Sherratt, P. J. Withers and A. E. Canfield, *International Journal of Molecular Sciences* **21** (12), 4538 (2020).

38. P. Gajjar, I. D. Styliari, T. T. H. Nguyen, J. Carr, X. Chen, J. A. Elliott, R. B. Hammond, T. L. Burnett, K. Roberts, P. J. Withers and D. Murnane, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* **151**, 32-44 (2020).
39. R. M. Sencu, Z. Yang, Y. C. Wang, P. J. Withers and C. Soutis, *Composites Science and Technology* **198**, 108243 (2020).
40. T. D. Turner, P. Gajjar, I. S. Fragkopoulos, J. Carr, T. T. H. Nguyen, D. Hooper, F. Clarke, N. Dawson, P. J. Withers and K. J. Roberts, *Crystal Growth & Design* **20** (7), 4252-4263 (2020).