

109 年度工作研究報告

題目：工程科技跨領域整合之前瞻趨勢分析與計畫推動探討

撰寫人：單位 工程司

職稱 助理研究員

姓名 王宇豪

有意願參加本部獎勵科技行政研究發展評獎(有意願者
請打勾)

單位主管評語	報告兼具分析規劃與實務操作見解，體現筆者之研究、洞察、執行、整合與組織能力；並提供具獨到見解與相當建設性之建議。報告內容也豐富呈現當年度筆者於跨單位計畫之努力與推動任務之實際成效。
推薦參加本部獎勵科技行政研究發展評獎	(請打勾)
單位主管簽章	

備註：

- 一、報告內容以 10 頁為原則。
- 二、本篇工作研究報告，如參加本部獎勵科技行政研究發展評獎，請依本部獎勵科技行政研究發展作業要點規定辦理。

壹、報告簡介

本研究報告主要分成兩大部分。首先針對工程司涵蓋民生化材、機電能源與電子資通等三大工程領域科技作**前瞻技術盤點與發展方向研析**。藉由探討國內外具未來潛力之工程技術項目，以及相對應之國家社會需求，觀察出工程科技於未來發展之**跨領域整合趨勢**。研究內容包括全球新興工程科技之掃描、國內工程學者專家之建議彙整，以及相關國家科技發展政策之融匯。除了聚焦工程領域未來發展之跨領域整合科技，進一步地將研究內容結合至工程司未來可能的發展方向，提出具體之規劃建議。

第二部分則延伸前述盤點結果之前瞻跨域整合趨勢，探討實際推動工程科技跨領域整合計畫時，所遭遇的各種挑戰與啟發，內容著重分析**不同規模、性質與目標範疇的跨領域整合型計畫執行面向**，並以筆者當時所負責推動深具跨域整合性質的研究計畫為實例，包括跨學門的智慧仿生材料與數位設計平台計畫、跨司合作的量子電腦專案研究計畫以及部層級的融合式跨領域研究實驗專案計畫，提供經整合歸納之具體實務心得與建議，以利本部後續推動相關計畫所用。

貳、工程科技之前瞻技術盤點與規劃

此技術盤點與規劃之研究方法係藉由蒐集研析大量國內外新興科技之次級資料 (Secondary Data)，輔以工程司各學門召集人直接建議之初級資料 (Primary Data)，並依社會需求與國家政策之方向，歸納整合出未來潛力技術清單，並從中探討前瞻趨勢。同時比對工程司正推動中之計畫與專案，篩選出最適發展之項目，進一步提出建議與司內長官同仁討論規劃。

1. 國際新興工程科技掃描

研究引用包括Gartner、Frost & Sullivan、IEEE、WEF、DARPA、Science、MIT Technology Review、European Commission...[1][2][3][4][5][6][7]等國際相關前瞻觀測報告與智庫摘譯的次級資料內容，同時考量S.T.E.E.P.(社會、科技、經

濟、環境與政治)等發展面向，歸納整彙出具未來趨勢之科學技術清單。利用簡易統計，依照產業、政府、學界與研究單位等不同屬性予以分類(如圖一所示)，因所蒐集歸類的技術數遠多於圖所列之清單，後續將依不同的研究目的，應用統計剖析方法，規納出不同的系統性資訊，提供相關決策者進行政策擬定之最佳參考之用。



圖一、國際新興工程技術掃瞄歸納清單

2. 國內工程學界專家建議

有別於前述廣搜國際前瞻之次級資料，此部分直接蒐集包括民生化材、機電能源與電子資通等三大工程領域共19學門於未來發展建議之初級資料。透過學門召集人歸納各學門領域的發展狀況、重點方向與聚焦技術。並扣合社會、科技、經濟、環境與政治等發展面向，整理出由國內工程領域學界專家所認可的前瞻科技清單(如圖二所示)。

與上小節的國際新興技術掃描不同，這份資料的統計項目雖不一定是國際最熱門的前瞻技術，但都是最貼切目前台灣工程研究能量的未來發展項目，是相對較為質化與接地的參考資料。



圖二、國內工程領域學界專家建議技術清單

3. 工程科技之跨領域整合趨勢

在整合前述包括量化與質化的國內外前瞻科技資料後，檢視所研析歸納的工程領域技術，有超過一半以上之項目是整合2種或多種以上之領域學科，而當中許多與近來顯著提升的運算能力與連網速度有關，諸如社交/軟性機器人、協作遠程、情感識別、智慧紋身、人工突觸/大腦、腦機介面、植物感測器、生物三維列印、多元能源系統、量子密碼/電腦、人造光合、混合式奈米材料、人工(機器人)生化組織、生物晶片、低軌道通信衛星、自主飛行載具、晶片資安...等。可以預見，在ICT連網與運算能力持續大幅提升的未來，工程科技之跨領域整合趨勢將愈來愈明顯。

以目前席捲全球的量子運算科技熱潮為例子，其硬體面(量子電腦)就須跨領域整合至少包含低溫量測、微波控制、量子位元技術、元件製作、資訊系統架構等領域知識；而其軟體應用則可像人工智慧之機器學習演算法般，且更加破壞性創新的加值在金融、醫學、材料、運輸與航空等領域上。進一步推論，若在未來需要跨域整合的領域間，各領域間的技术屏障愈高，因為各自know-how與文化之轉移較具挑戰，其技術創新的價值與含金量就愈高，這也是為何如量子電腦般的跨領域技術現在在全局的關注性如此之高。

人工智慧或許是工程領域近五年最熱門且深具領域間典範協作轉移的例子，當時各國關於此技術的戰略白皮書如雨後春筍般在全球發起，現在各國相同規模程度的戰略熱潮在不到五年間已經由人工智慧轉變為量子運算科技，檢視人工智慧與量子運算這跨時代的兩大當紅炸子雞，其實都是深具可極度提深跨領域整合綜效之性質，或許再過五年，另一個會帶起大範圍風潮的科技也是深具跨領域整合性之技術。

4. 工程領域未來發展方向與規劃

除探討工程技術之跨領域整合趨勢，本研究之主要目的為協助工程司未來發展方向之規劃。同樣先整合國際新興工程科技掃描與國內工程學界專家建議之內容，進一步搭配現行國家重點政策方向(如6大核心戰略產業、5+2產業創新政策2.0...等)，整列出在全球新興科技、國內學者之前瞻建議、國家科技政策方向等三大議題所高度重複的技術清單如圖三所示。並扣除工程司現有專案計畫，整匯出領域性質相近之工程領域技術群組。



圖三、工程領域聚焦技術清單之篩選示意圖

後續經單位內之討論會議，以及彙整以往所舉行的大小型專家會議紀錄，最終研擬出包括人工智慧、萬物聯網、製造與顯示、循環與能源、下世代運算、先進材料等六大工程科技之未來發展方向(如圖四)。同時陳列相關重點細項技術，供本司未來施政參考之用。



圖四、工程科技未來聚焦發展方向

參、工程科技跨領域整合型計畫之推動省思

銜接前述工程科技未來之跨領域整合趨勢，此部分聚焦探討在推動不同性質、目標的跨領域整合型計畫時，於執行面所遇的各種問題與啟發，並以實際執行過的跨領域專案包括智慧仿生材料與數位設計平台計畫、量子電腦專案研究計畫以及融合式跨領域研究實驗專案計畫為研析例證。初步依計畫之不同範疇整理如表一所示。儘管所列計畫之推動方向不同，此三種屬性之跨域整合型計畫仍有一主要相同之處：皆設計為需有end-point式成果(非只發表論文)的目標導向型計畫，讓計畫之主題明確；而各計畫最大的不同處為其各不相同的創新屬性，分別是仿生專案聚焦其實務的**應用創新**、量子電腦具有顛覆既有科技可能的**破壞性創新**、以及融合式專案具有開創新研究框架/典範/議題可能的**融合創新**。

表一 跨領域整合型計畫比較一覽表

	智慧仿生材料與數位設計平台計畫	量子電腦專案研究計畫	融合式跨領域研究實驗專案計畫
創新屬性	應用創新	破壞性創新	融合創新
涵蓋領域	材料、資工、光電、土木、醫工、生物...	物理、數學、電機、通訊、資工、光電...	不限領域
跨域規模	跨學門	跨司 (工程、自然)	跨司 (人文、生科、工程、自然)
計畫經費 (單件/每年)	~700萬	1650~2600萬	~1000萬
主題徵求方式	Top down	Top down	Bottom up

1. 智慧仿生材料與數位設計平台計畫

此計畫啟蒙於美國MGI材料基因組計畫，並藉由瞭解仿生自然界中包含結構、性質與功能的核心機制，以材料科學與工程的方法，研究仿生材料與系統，同時利用材料數位技術平台，從材料設計與選擇、關鍵結構設計與驗證等角度切入，以期建立智慧仿生材料設計與材料數位技術之重要資料庫，加速材料創新。其中研究團隊取法包括大嘴鳥、植物葉綠體、楓果、蜘蛛絲、爬蟲類爪、鯊魚皮、蛇皮、撒哈拉銀蟻等生物，發展出各具創新應用的智慧仿生材料。每單一計畫至少包含本身材料領域之專業(domain knowledge)、數位技術平台/資料庫之技術、以及欲延伸應用的鏈結技術(如圖五所示)，多元的跨域整合讓此專案可以稱得上是材料學門領域的跨領域技術研究平台。



圖五、智慧仿生材料與數位設計平台計畫之跨域整合

材料工程學門在整個工程司裡是相對比較fundamental的研究，兼且材料工程在產業化面向也是相對較有難度之學科，這讓具有跨域整合以及應用性的仿生專案，猶如在材料學門既有的研究範疇中注入一劑新的多元活水，讓本身材料學門與不同學門領域的PI可以更深度的合作與創新。在審查面向，雖然需同時審視包括材料、智慧計算與其他應用領域之專業，但因此案主題明確，領域之主從關係清楚(材料為主、數位平台/工具為輔)，讓前期徵選與後續考核，都能極具專業的評核出適宜的結果。

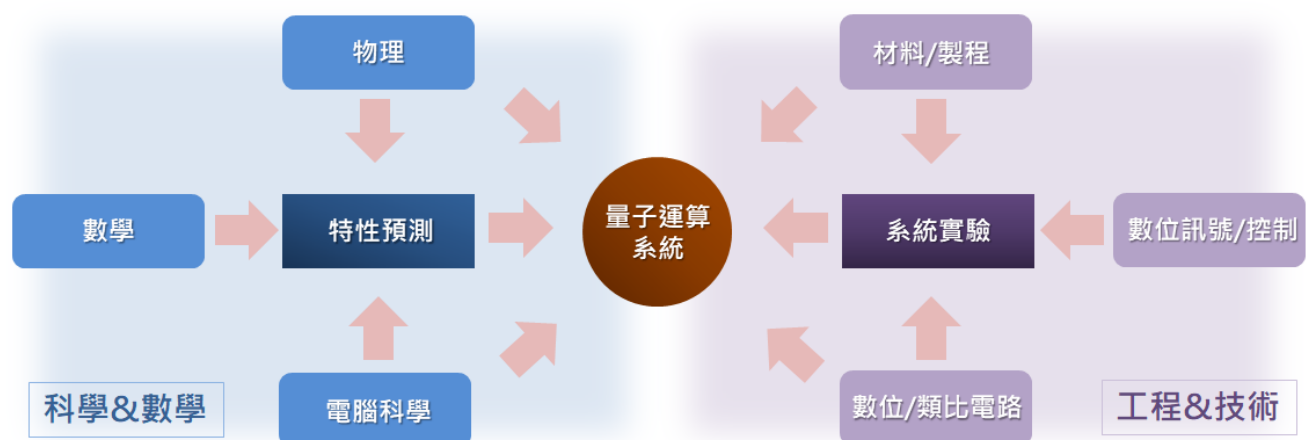
建議未來可持續以材料(或其他較fundamental之學科)為主題並輔以其他領域專業之形式，推動可結合重要議題之跨領域整合型計畫，讓一直埋於基礎科學但卻極具應用價值的創新技術能更浮上檯面。惟其主題的設計須非常審慎，若推動的主題多元性會讓主從之別模糊，那計畫目標與技術融合可能就會大打折扣(領域各做各的)。

2. 量子電腦專案研究計畫

相較於前述智慧仿生材料與數位設計平台計畫之專案，量子電腦專案畫為一跨司合作的跨領域整合計畫，結合了計算機科學、半導體技術、物理科學、通訊技術、密碼學、數學...等學科，每一個別技術均極為關鍵且具屏障，讓實際推動量子電腦專案的過程中遭遇許多挑戰：

● 主從之別與技術壁壘

量子電腦及運算發展至今，已成為一個跨越數學、物理、資工、微電子、材料、通訊...等學科之整合科技，且已逐漸成為一發展生態系(如圖六所示)。推動時到底要以物理科學或系統工程為主導的主從角度變得微妙，兼且各領域間技術壁壘極高，除了讓徵件與組隊過程充滿挑戰，也讓各PI組隊後的主從關係變得關鍵，最後呈現成果的方式常常也因主導的領域而有所不同。因本身技術的壁壘(讓學物理的弄系統、讓學工程的懂物理)，整合的難度比一般跨學門的整合型計畫高。



圖六、量子電腦工程之跨領域生態圖[7]

● 有限人力與資源聚焦

在人才面向，量子電腦於國內為相對新興之領域技術，人才嚴重不足，執行時除了「找誰做」本身已是一大挑戰，「找誰審」也為另一難題，同時還要考慮跨域之平衡。在資源面向更為關鍵，量子電腦為一龐大之研究領域，光是其中的量子位元研發技術，全球科技巨擘實際有投入巨大資源研究的就有超導體、離子阱、半導體量子點...等範疇，且每一項所需之投資皆甚巨大，無法都兼顧，也就是面對此未來極具破壞性创新的前瞻科技須先選擇聚焦發展方向，而任一選擇的方向是不保證promising的。綜觀國際局勢，量子電腦與運算已成各國之**國家級戰略科技**，其龐大之資源整合面向需要國家相關政策支持與規劃。

建議於後續推動此計畫時，可讓其跨域的研究主題(不論是徵件還是考核)更加聚焦與明確，以因應整個量子電腦工程的龐大跨域範圍。例如PI所申請執行的計畫是主題聚焦研究量子電腦的單一整合型計畫，其子計畫建議盡量不要加入其他如量子通訊、量子密碼或量子應用等技術範疇，進而分散研究能量。另由於量子電腦所需的研究設備也所費不貲，建議可以共購共用或成立centralized facility的方式，讓研究進度與資源分配最佳化。

3. 融合式跨領域研究實驗專案計畫

此案為橫跨本部四學術司(自然、工程、生科、人文)的跨領域整合型計畫，目的是以更新穎深度的融合架構來促成跨學科領域間的相互協作，以整合不同學門知識、技術和專業，期能形成新穎的框架，並聚焦「未來社會可能面臨的重大議題」或「重大科學議題的突破」之方向。此借鏡美國NSF GCR [8]之構想，有別於以往科技部Top-down的專案徵求方式，鼓勵學界自組團隊並發想需跨域專長共同研究的重大課題。申請及審查包含「構想書」及「計畫書」兩階段，構想書書審階段規劃採雙盲審查，以廣徵好的研究構想。

融合式跨領域研究與一般跨領域/學門研究最大的不同在於：一般跨領域學門研究通常是用單一領域之知識、技術或工具來解決另一領域的問題，除了

解決問題外，也可能產生新的研究領域或問題。例如用微電子技術處理醫療問題，進而產生智慧醫療相關研究議題；而融合式跨領域研究則是運用多領域之知識、技術或工具來解決另跨領域的問題，除了解決問題以及產生新的研究領域或問題外，也可能催生出新的研究框架與典範。例如：用物理結合化學與材料科學來處理材料微小化的問題，而催生出奈米科學相關研究議題(如圖六所示)。

➤ 一般跨領域/學門之研究



➤ 融合式跨領域研究



圖六、融合式跨領域研究與一般跨領域研究之異同

本案為了能確實徵求好的創新構想(Crazy idea)，除了在構想書書審的審查階段採用**雙盲審查**，並以未限定主題的方式由申請者自由提出研究項目。以此方式執行，在審查的過程中的確徵求到非常多元之主題構想，雙盲機制也確實在第一階段篩掉了許多未符融合式創新初衷的「學門常勝軍」；但這也讓主題過於發散，加深了審查作業的難度，難以讓每一案件都能在極度專業的審視下進行。雖然仍有第二階段的「計畫審」把關，但這畢竟是涵跨四學術司全部學門領域的徵求，委員會實難完全涵蓋美一專業。建議於未來推動相似專案時，能將徵求主題更加聚焦，讓創意構想與領域專業的審查執行能達到平衡。

肆、具體建議與小結

最後整合研究內容，提供單位未來執行相關作業之具體建議。所提供之建言皆為執行實際任務下，經專責規劃、跨域討論、程序行政、嚴謹審查與確實檢討後，所歸

納整合之論述，包括趨勢盤點分析、工程科技跨領域整合趨勢、跨領域整合計畫之推動與各性質不同之跨領域專案等內容，希望能對本部未來之發展有所幫助。

具體建議:

1. 科技日新月異，新興技術快速更迭，工程科技之前瞻趨勢需定期檢視。在執行工程科技前瞻技術盤點的過程中，回顧2016年至2017年間，人工智慧讓世界各國及科技巨擘紛紛投入大量資源來應對此一技術突破浪潮。但才不到五年，這股浪潮就已經從人工智慧轉變為量子運算科技，各國如當時推動人工智慧般，又開始輪流推出針對量子科技的白皮書與大型計畫。可見，新興技術崛起之速度已不同以往。因此，建議單位至少每三年執行較為完整的前瞻趨勢點與未來發展規劃，每一年則作細項修正，並滾動修正因應全球瞬息萬變之科技情勢。
2. 由於工程科技之跨域整合趨勢，新興前瞻技術愈來愈多元，各別領域/學門的跨域整合技術也愈來愈多，這讓前瞻研析的複雜度因多領域技術之匯集而提升，讓原本只懂工程的也要懂生醫，讓原本只懂科學的也要懂人文。研析團隊需與時俱進，不斷升級。況且，只以某少數領域上所堆疊的看法必然有很深的盲點，這是理性盤點分析所要避免的。建議未來除持續提升單位內研究人員的跨域知識，並設立單位之跨領域研析團隊，讓所規劃的議題可更多元且具深度的討論中產出。
3. 主題的設定對於跨領域整合型計畫推動十分重要，有時候往往題目本身就佔了計畫成敗的一半，因為計畫的主題大大影響了跨領域計畫的主從別與審查方式。以量子電腦專案為例，是要以科學(物理)還是工程為發展主軸，將影響往後的主從發展生態，因為這將決定是甚麼領域的學者來執行計畫與相對應的審查，計畫成果的呈現邏輯也將會以科學或工程的思維而有所分野。再以融合式跨領域計畫為例，因設計為沒有主題的自提計畫，過於分散的專業讓審查的過程甚具挑戰，進而影響此計畫審查的效率。建議未來在推動跨領域整合型計畫前，需整體性的審視包括主軸方向、主從別、審查效率、領域分散度等面向，設計最符合推動初衷的計畫主題。

4. 於跨領域整合型計畫中的各領域科技，絕大數是仍未形成為單一學門或研究典範之個別科學或技術範疇，各個理念不同的整合科技，常常讓跨領域整合型計畫的成果呈現上會有相當程度之分歧，建議將**整合型的跨域計畫設計為需有 milestone 目標與 end-point 式成果的目標導向型計畫**，不但可讓計畫主題更明確，也讓考核更有效率。

伍、參考資料

- [1] Gartner 2019, Hype Cycle for Emerging Technologies, 2019
- [2] World Economic Forum 2019, WEF 10 emerging technologies of 2019
- [3] MIT Technology Review 2019, 10 Breakthrough technologies 2019
- [4] Frost & Sullivan 2019, Top 50 emerging technologies
- [5] European Commission 2019, 100 radical innovation breakthroughs.
- [6] Science 2018, 2018 Breakthrough of the Year, Retrieved from <https://www.sciencemag.org/tags/2018-breakthrough-year>
- [7] IEEE 2019, Proceedings of the IEEE, Retrieved from <https://proceedingsoftheieee.ieee.org/>
- [8] MIT EQuS 2019, Engineering quantum systems of superconducting qubits
- [9] National Science Foundation, 2020a, NSF'S 10 BIG IDEAS, Retrieved from February 18, 2020, https://www.nsf.gov/news/special_reports/big_ideas/