

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

原子能民生應用與新南向政策願景規劃

A Study of Atomic Energy Applications for People's Livelihood and
Vision Planning on New Southbound Policy

執行單位：核能研究所

計畫主持人：林洺秀

期程：109.07.01 –109.12.31

A Study of Atomic Energy Applications for People's Livelihood and Vision Planning on New Southbound Policy

By
Ming-Hsiu Lin

Abstract

Atomic energy technology has a wide range of people's livelihood applications, which can be applied to nine of the seventeen Sustainable Development Goals (SDGs). The nine SDGs include: zero hunger, good health and well-being, clean water and sanitation, affordable and clean energy, industry, innovation and infrastructure, climate action, life below water, life on land, partnerships for the goals. This project collects atomic energy technology applications in six countries including India, Indonesia, Malaysia, Singapore, Thailand and Vietnam, covering medical, agricultural, industrial and other fields.

As for the New Southward Policy to promote atomic energy technology cooperation, Taiwan's well-developed medical system and technology rank among the best, it is the priority and feasible direction proposed for cooperation with the six countries, such as cancer radiotherapy, nuclear medicine application and medical imaging technology. In the future, we can make use of the existing cooperation platforms and centers of various ministries, then open national radiation standard laboratory and γ -irradiation facility to conduct technical exchanges in atomic energy technology, cultivate professional talents and connect regional markets.

Keywords: atomic energy technology, livelihood application, new southbound policy.

Institute of Nuclear Energy Research

原子能民生應用與新南向政策願景規劃

林洺秀

摘 要

原子能科技的民生應用範圍廣泛，可充分應用在消除飢餓、確保健康及福祉、水的衛生及其永續管理、可負擔的清潔能源、工業創新與基礎建設、減緩氣候變遷之措施、確保海洋資源、確保陸地生態系統及發展夥伴關係等永續發展目標上。本計畫蒐集印度、印尼、馬來西亞、新加坡、泰國及越南等六個國家的原子能科技發展與應用，涵蓋醫療、農業、工業等領域。而新南向政策推動原子能科技合作方面，因醫療領域是我國強項之一，為現階段與該六國原子能科技合作建議的優先可行方向，如放射診斷藥物、放射治療藥物、及輻射影像技術等。後續可先善用各部會現有之交流平台及合作中心，並開放游離輻射標準實驗室、輻射照射廠，以進行原子能科技的技術交流、培育專業人才及區域市場連結。

關鍵字：原子能科技、民生應用、新南向政策。

核能研究所

目 錄

1. 前 言	1
2. 原子能科技永續發展之實現	3
2.1 消除飢餓	4
2.2 確保健康及福祉	6
2.3 水的衛生及管理	8
2.4 可負擔的乾淨能源	10
2.5 工業創新與基礎建設	13
2.6 因應氣候變遷	16
2.7 確保海洋資源	17
2.8 確保陸地生態系統	18
2.9 發展夥伴關係	21
3. 原子能科技之民生應用	25
3.1 核能發電	27
3.2 農業應用	28
3.3 工業應用	31
3.4 醫療應用	34
4. 新南向政策中六國之原子能科技發展與應用	37

4.1 印度	38
4.1.1 國家基本資料	38
4.1.2 原子能科技應用概況	38
4.2 印尼	51
4.2.1 國家基本資料	51
4.2.2 原子能科技應用概況	52
4.3 馬來西亞	66
4.3.1 國家基本資料	66
4.3.2 原子能科技應用概況	66
4.4 新加坡	78
4.4.1 國家基本資料	78
4.4.2 原子能科技應用概況	78
4.5 泰國	82
4.5.1 國家基本資料	82
4.5.2 原子能科技應用概況	83
4.6 越南	89
4.6.1 國家基本資料	89
4.6.2 原子能科技應用概況	90

5. 新南向政策推動原子能科技合作之可行性.....	97
5.1 新南向政策中六國產業發展情況.....	97
5.2 我國在原子能科技發展之現況.....	118
5.3 政府新南向政策中主要部會的推展策略.....	144
5.4 新南向政策推動原子能科技合作可行性之管道.....	151
6. 結論與建議	155
參考文獻.....	157

附 圖 目 錄

圖 1-1 聯合國 17 項永續發展目標	2
圖 2-1 IAEA 應用原子能科技協助東非坦尚尼亞開發新的水稻品種.....	5
圖 2-2 電腦斷層掃描攝影儀及影像	7
圖 2-3 原子能科技技術處理之前和之後的廢水比較	9
圖 2-4 歐盟電力結構變化趨勢	11
圖 2-5 永續復甦計畫花費於乾淨能源之經費分布	13
圖 2-6 管道腐蝕檢測.....	15
圖 2-7 混凝土中的水分檢測	15
圖 2-8 不孕昆蟲技術應用於加拉巴哥群島的寄生蒼蠅上	20
圖 2-9 國際原子能總署和聯合國工業發展組織簽署合作協議.....	22
圖 2-10 原子能科技協助保存具有文化價值的文物	23
圖 3-1 國際原子能總署 2018(上)/2019(下)年援助亞太地區之經費項目分布	27
圖 3-2 原子能科技提高動物的生產和健康	31
圖 3-3 我國工業上常用的輻射源及其半衰期	32
圖 4-1 印度核電燃料循環的三階段計畫	41
圖 4-2 BARC 利用輻射誘變和雜交技術開發農作物新品種	45

圖 4-3 印度開發空中輻射監測的加馬能譜系統	48
圖 4-4 2019 年馬來西亞各原子能科技項目之經費使用分布	67
圖 4-5 馬來西亞核工業公司和車廠合作進行電纜材料和絕緣項目之輻射誘導	76
圖 5-1 新南向國家疫後經濟成長情況	101
圖 5-2 印度產業發展推動政策總覽	102
圖 5-3 近 5 年我國對印度整體出口及醫衛產品出口成長率比較	104
圖 5-4 印尼產業發展推動政策總覽	106
圖 5-5 近 5 年我國對印尼整體出口及醫衛產品出口成長率比較	108
圖 5-6 馬來西亞產業發展推動政策總覽	109
圖 5-7 近 5 年我國對馬來西亞整體出口及醫衛產品出口成長率比較	111
圖 5-8 泰國產業發展推動政策總覽	114
圖 5-9 近 5 年我國對泰國整體出口及醫衛產品出口成長率比較	116
圖 5-10 越南產業發展推動政策總覽	117
圖 5-11 近 5 年我國對越南整體出口及醫衛產品出口成長率比較	118
圖 5-12 我國放射治療技術演進	120
圖 5-13 我國現今及規劃中的粒子治療中心	122
圖 5-14 我國有關造影技術演進	123

圖 5-15 我國醫用類輻射作業人員數量歷年統計	125
圖 5-16 Tc-99m-TRODAT-1 核子醫學造影流程	129
圖 5-17 我國工業用類輻射作業人員數量歷年統計	140
圖 5-18 我國原子能科技之民生應用發展策略藍圖	143
圖 5-19 政府推動新南向之 4 大工作主軸	145
圖 5-20 新南向五大旗艦計畫及三大潛力領域	146
圖 5-21 醫衛合作與產業鏈發展之工作主軸	147
圖 5-22 區域農業發展之工作主軸	148
圖 5-23 科技創新之工作主軸	149
圖 5-24 政府新南向相關連結	151

附表目錄

表 3-1 輻射照射應用農業上之使用目的及輻射能量	29
表 3-2 各種造影檢查放射藥物及作用機轉	36
表 5-1 台灣核能發電廠之運轉情況	119
表 5-2 台灣及新南向六國之粒子放射治療中心情況	121
表 5-3 各醫療機構醫用可發生游離輻射設備之證照數量統計	123
表 5-4 各醫療機構設置各型醫用放射性物質之證照數量統計	124
表 5-5 108 年特定醫療技術檢查檢驗設備數及使用人次統計	124
表 5-6 應實施醫療曝露品質保證之各設備證照數	127
表 5-7 核研所核醫製藥中心供應中之核醫製劑	131
表 5-8 核研所核醫藥物研發歷程	132
表 5-8 核研所輻射影像儀器技術研發歷程	135
表 5-8 衛福部食品輻射照射處理標準	137
表 5-9 各類用途之非醫用可發生游離輻射設備之證照數	138
表 5-10 各類用途之非醫用放射性物質之證照數	139

1. 前 言

基於全球氣候變遷、地球暖化的議題，聯合國環境及發展委員會於 1992 年 6 月在巴西里約召開地球高峰會議，簽訂「聯合國氣候變遷綱要公約」，並於 1993 年設置「聯合國永續發展委員會」以管制溫室氣體的排放及減量，進而於 1997 年制定京都議定書、2012 年里約宣言，並於 2014 年提出 17 項「永續發展目標」。該指標於 2015 年「聯合國氣候變遷綱要公約」(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)第 21 屆締約方大會(Conference of Parties, COP21)，正式簽署 2030 年永續發展目標議程(巴黎協定)。我國「環境基本法」第 29 條明定行政院應設置國家永續發展委員會(簡稱永續會)，而為追求國家永續發展並與世界接軌，永續會於 105 年 11 月第 29 次委員會議決參考「聯合國永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)」研訂我國永續發展目標，並於 107 年 12 月訂定「臺灣永續發展目標」。

聯合國 17 項永續發展目標包括：1.消除貧窮，2.消除飢餓，3.確保健康及福祉，4.高品質的教育，5.性別平等，6.水的衛生及其永續管理，7.可負擔的清潔能源，8.好工作及經濟成長，9.工業創新與基礎建設，10.減少不平等，11.城市與人類居住永續性，12.負責任的消費及生產，13.減緩氣候變遷之措施，14.確保海洋資源，15.確保陸地生態系統，16.和平、公義且包容的社會，17.發展夥伴關係。(如圖 1-1)[1]。



圖 1-1 聯合國 17 項永續發展目標

而原子能科技應用廣泛，其可以在實現未來永續發展中發揮重要的作用。因此本計畫將收集原子能科技在永續發展目標方面之民生應用，包括農業、工業、醫療等面向。

近年來國內外大環境經貿快速變遷，我國對於亞太之經貿佈局策略有調整，以支援國內產業轉型及經濟成長，故政府於 105 年展開推動「新南向政策」[2]。我國推動新南向政策涵蓋國家有東協十國、南亞六國及紐澳等，其中印尼、越南、泰國、馬來西亞、新加坡、印度六個國家與我國經貿交流更為密切；故本計畫以此六國為目標，蒐集國際原子能科技應用於永續發展目標及該六國原子能研發與應用現況資訊，並研擬後續推廣國際業務之可行性建議，以供政府決策參考。

2. 原子能科技永續發展之實現

美洲核能協會(American Nuclear Society, ANS)指出因應 2030 年永續發展目標，原子能科技在實現未來永續發展中可以發揮重要的作用。其中包括如核子醫學、食品保存和安全、產品安全與工業技術、電力生產等，都可以改善人類健康和促進生活品質、減低廢棄物以保護環境及生態[3]。而加拿大核能協會(Canadian Nuclear Association, CNA)針對永續發展目標，指出原子能科技可充分應用在指標 2.消除飢餓、3.確保健康及福祉、6.水的衛生及其永續管理、7.可負擔的清潔能源、9.工業創新與基礎建設、13.減緩氣候變遷之措施、14.確保海洋資源、15.確保陸地生態系統、17.發展夥伴關係[4]。

而國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)2012 年提出原子能科技未來可以永續應用於水、能源、食物、海洋及人類健康五面向，從發電到增加糧食生產、癌症治療到管理淡水資源和保護世界海洋，以應對全球面臨的能源、食品、水和環境等挑戰[5]。亦於 2018 年國際原子能通報中指出，其如何運用原子能科技邁向永續的未來，其中包括以同位素技術幫助農民優化肥料的使用，以提高世界人口增長所需的糧食產量；解決海洋酸化問題以降低對海洋和沿海社區人民生計的衝擊；以及如何保存珍貴的藝術品和歷史文物等[6]。另外經濟合作暨發展組織(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)指出東協於 2016-2025 年科學、技術與創新行動計畫之策略目標中，包括：使用低碳和更清潔的綠色技術以緩解和適應氣候變遷、確保東協人口的糧食安全、因應經濟發展所需能源的需求、促進水資源管理以穩定獲得清潔水、有效保護生物多樣性等。本研究針對原子能科技應用在各相關的 9 個永續發展目標分述如下。

2.1 消除飢餓

原子能科技可以幫助實現聯合國永續發展目標 2 消除飢餓，到 2030 年促進農業永續發展和改善糧食安全，以消除飢餓和營養不良。藉助原子能科技的開發，可幫助農民保護土壤、水和農作物；如改良植物新品種、增加土壤鹽分，使農作物可對抗病害、保護植物免受蟲害，並使其在乾旱的氣候變遷條件下仍能增加糧食產量。並在保護自然資源的同時也利用原子能科技改善動物繁衍和繁殖方式，以保護農民的牲畜健康。而在整個食品生產鏈中，原子能科技(例如輻射照射廠)可以幫助保護食物的品質，延長其保存期限以確保食品安全。這些技術還可用於檢查食品中的污染物並確保食品標示之真實性，防止食品欺詐案件。另外為了消除飢餓和營養不良，衛生專業人員和科學家使用原子能科技和同位素技術研究營養不良到肥胖各種形式的營養不良，包括強化富含關鍵維生素和礦物質的食品強化計畫。

以下為實際的應用案例：

- 國際原子能總署和糧農組織協助尚吉巴種植更多稻米，東非坦尚尼亞是非洲人口增長最快的國家區域之一，主要糧食稻米不足，70%的稻米需仰賴進口。因此 IAEA 與糧農組織(Food and Agriculture Organization, FAO)合作進行綠野稻米生產計畫，應用原子能科技開發新的水稻品種，其年產量和收入是傳統品種的四倍。而新品種水稻仍存有問題，即易罹患水稻黃斑點病毒和稻熱病；因此 IAEA 與 FAO 持續合作以鑑定並培養新水稻的樣品，並以不同的劑量進行輻射照射，以達成對稻黃斑點病毒具有抗性[7]。



圖 2-1 IAEA 應用原子能科技協助東非坦尚尼亞開發新的水稻品種

- 波斯尼亞與赫塞哥維納獸醫實驗室配置核子衍生技術診斷動物疾病之設備，若能儘早發現跨國界動物傳染性疾病是防止其傳播和避免對經濟產生衝擊的關鍵。因此國際原子能總署和糧農組織協助波斯尼亞與赫塞哥維納提升諸如藍舌病(blue tongue disease)、牛結節疹(lumpy skin disease)和布魯氏桿菌病(Brucellosis)等高傳染性疾病的診斷與控制，進而增進動物的健康和生產以及促進該國國家經濟生產和國際貿易[8]。
- 在小島發展中國家建立開發耐氣候的作物品種，氣候變遷給全球社會帶來越來越多的風險，對於發展中的國家影響尤為顯著。亞太地區五個發展中的小島國家，斐濟、馬紹爾群島、帛琉、巴布亞紐幾內亞和萬那杜共和國，IAEA 與 FAO 利用原子能科技來開發新的、更具復原力的植物品種。其辣椒和水稻等新植物品種開發主要係以原子能科技

加速作物突變的育種，以產生新且更有價值農作物的自然突變過程[9]。

- 輻射照射動物疫苗以維持衣索比亞的動物健康，協助其出口與糧食安全。為了預防動物流行傳染病，所有用於出口和國內消費的牲畜都需要接種預防口蹄疫等多種動物疫苗。而衣索比亞每年有超過一百萬頭牛出口，如果沒有原子能科技協助，這將不可能達成。IAEA 與 FAO 技術合作，透過輻射照射使病毒等微生物失去活性使其無法感染接種的動物。同時，輻射並不會影響微生物的結構，因此免疫系統仍然可以辨識病原體，從而導致動物啟動其免疫保護機制；而且疫苗的輻射照射還可以確保疫苗內不會有其他污染存在[10]。
- 在原子能科技的幫助下，阿根廷種植的櫻桃和石榴果等出口已被中國確認沒有含果蠅。在 IAEA 與 FAO 支持下，阿根廷國家植物保護組織利用昆蟲不育技術，通過中國、美國和智利的進口認可。使得在櫻桃等農產品出口方面，降低了成本和時間。該合作計畫係對大量具繁殖力的雄性昆蟲進行輻射照射，以使其無法繁殖後代；再釋放無繁殖力地中海果蠅的補充控制措施，即保護無繁殖力昆蟲的地位，從而隨著時間的推移減少了害蟲的數量[11]。

2.2 確保健康及福祉

原子能科技在診斷和治療各種疾病方面（尤其是癌症和心血管疾病等非傳染性疾病）相當重要，制定全面的癌症控制計畫以及建立核醫學、放射療法以及腫瘤和放射相關技術與設備以應對癌症。

醫學中之癌症治療和疾病診斷技術，已成為原子能科技最廣泛的用途之一。許多國家利用原子能科技實現聯合國關於健康與福祉的永續發展目

標 3，以確保所有年齡層的人們的健康生活及福祉。主要可約略區分為 1. 放射診斷，2. 放射治療，3. 核子醫學：(1) 體內造影檢查、(2) 放射免疫分析、(3) 核醫治療等[12]。

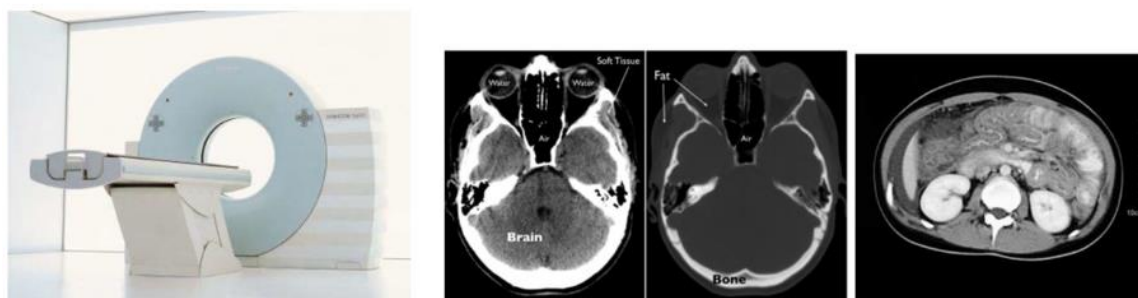


圖 2-2 電腦斷層掃描攝影儀及影像

另外原子能科技也使用在診斷和防治營養不良，並且原子能科技和核衍生技術還可應用於傳染性疾病的早期預警及健康危害管理和降低風險，包括伊波拉病毒、登革熱等傳染病。

除了上述醫療用途外，以下為確保健康及福祉之其他實際的應用案例：

- 儘管過去二十年來非洲南部內陸的波札那共和國經濟成長強勁，但有關處理該國兒童營養不良的做法卻沒有像其他相似發展程度的國家那樣好，而同位素技術能協助改善。該國國家食品技術研究中心與 IAEA 合作使用穩定同位素技術來處理營養問題，主要係發展同位素技術來評估兒童鐵質狀態。氘是氫的穩定同位素，其可用於評估人體成分之脂肪與非脂肪組織比例；並評估飲食和身體活動改變對肥胖影響的工具。而同時該計畫也評估鐵質的水準與其他生理指標，將應用鐵穩定同位素，以測定食物消化後人體攝入的高粱大豆粉糊中的鐵質量，以作為選擇添加到高粱大豆粉糊中的鐵化合物多寡之依據[13]。

- 原子能總署和世界衛生組織制定應用核子技術防治蚊媒疾病的新架構，蚊媒疾病在人與人之間傳播，而核子不孕昆蟲技術便是如此的蚊蟲控制科技。國際原子能總署與聯合國糧食及農業組織(FAO)合作下，執行跨地區以及幾個國家之計畫，用以協助來自非、亞、歐、拉丁美洲和加勒比地區的 50 個會員國實施昆蟲不孕技術。在應用昆蟲不孕技術上，已經 40 多國成功防治各種植物和牲畜害蟲，其中包含果蠅、蛾類、采采蠅(tsetse flies)和螺旋蠅害蟲(screwworm pests)。現今進一步利用昆蟲不孕技術來防治斑蚊，以遏止人類傳染病[14]。

2.3 水的衛生及管理

氣候變遷和過度的環境污染，在世界許多地方，能獲得清潔的水變得相當困難。故可使用原子能科技和同位素技術來尋找、研究和保護水資源，這有助於實現聯合國關於水的衛生及管理之永續發展目標 6，以確保所有人都能獲得清潔的水。

使用同位素技術，科學家可以研究水資源的品質和水量。他們使用水中的天然同位素來確定水的來源、年齡、易受污染的程度，以及水資源如何在地上和地下相互移動和彼此間相互作用。也可以使用同位素技術去繪製出包括隱藏在地下的地下水庫的水資源、規模，並了解其受氣候變遷的影響。

水的品質常常受到人類活動和基礎設施而致污染，利用原子能科技和同位素技術來對抗水污染，如檢測和分析重金屬、有機化合物(例如石油副產品或藥物)、放射性物質和微量元素等污染物並追蹤其移動軌跡，也可以使用輻照技術來破壞工業廢水中的某些污染物，以使水更清潔，對環境更安全。

以下為實際的應用案例：

- 中國於 2020 年 6 月啟用了全世界上利用原子能科技處理工業廢水的最大處理設施，日處理能力達 3000 萬公升。中國的紡織工業是世界上最大的生產國，產生之廢水中染料的分子太長，無法被細菌或化學物質分解。先前使用化學物質處理工業廢水，但是隨著環境保護政策的加強，改使用原子能科技分解廢水中長而複雜的分子，處理後的水可以重複使用。原子能科技處理工業廢水是一種環保且具有成本效益的處理方法，因為它節省了化學處理時間和成本，並且不會產生二次污染物[15]。



圖 2-3 原子能科技技術處理之前和之後的廢水比較

- 原子能科技幫助馬達加斯加村民獲得乾淨飲水，儘管獲得清潔飲水是基本人權，但全世界仍有超過 20 億的人口需要努力尋找乾淨的水源。馬達加斯加是應用原子能科技作為確保人們飲用水清潔工具的國家之一。井中的水是否乾淨或是受到污染可以使用常規化學分析來確定，

但這種分析需要不斷重複檢驗以提供數據確保飲水安全。唯有在同位素技術的協助下，才能知道地下水的流動與動態情形，並了解其中是否包含有可能被污染的地表水。構成地下水的氫和氧，其同位素濃度極小，但存在地表中水的同位素 ^2H (也稱為氘)和 ^{18}O 往往相對豐富。IAEA 通過技術合作檢測出同位素濃度之差異，從而判斷地表水是否滲入地下水源[16]。

2.4 可負擔的清潔能源

為了因應氣候變遷和對能源不斷增長的需求，世界如何迅速使能源政策脫碳？根據聯合國排放差距報告，全球約三分之二的電力仍通過燃燒化石燃料產生，儘管在低碳能源方面的投資不斷增加，但進展仍然太慢且分佈不均，無法防止氣候變遷的最嚴重影響。為了扭轉這種趨勢，並將全球氣候平均溫度上升限制在攝氏 1.5 度的實現目標，電力生產則需要快速脫碳。這將需要部署多種能源組合，不僅風能、水能和太陽能，還包括核電和能源存儲解決方案。核能約佔世界電力生產的 10%，約佔全球低碳電力的三分之一[17]。

世界上尚有許多人口無法使用電力，即使是電力供應充足的國家也面臨著能源需求快速增長和關注保護環境的雙重挑戰。因此核電亦作為聯合國永續發展目標 7 中實現低碳能源的一部分，以確保更多人可以獲得可負擔得起的能源，減輕氣候變遷。而在台灣，2025 年非核家園之目標原先訂於電業法第 95 條第一項中，基於民國 107 年底的公投結果，而刪除該第 95 條第一項。但基於落實環境基本法，故台灣永續會除了清潔能源第 7 項永續發展目標外，亦將非核家園納入我國的第 18 項永續發展目標。

以下為可負擔的清潔能源實際的應用案例：

- 由於 2050 年的永續目標為溫室氣體淨零排放，去碳的能源體系對於實現歐盟氣候目標至關重要。歐盟在 2019 年發布的「清潔能源套案」(Clean Energy for All Europeans Package)報告中，更提出了再生能源發電佔比 80%的目標，並伴隨核能發電的使用；而其綠色新政(European Green Deal)官網有關清潔能源部分，亦提到其 2050 年前無法移除的排放將以碳匯(carbon sink)方式移除，如森林及碳捕存技術。歐盟所談論之清潔能源，核心在於自化石燃料轉型至清潔能源，藉由提高能源使用效率，透過近零碳能源及各類型去碳化的過程，創造一個潔淨、綠色的歐洲。歐盟電力結構變化趨勢如圖 2-4[18]。

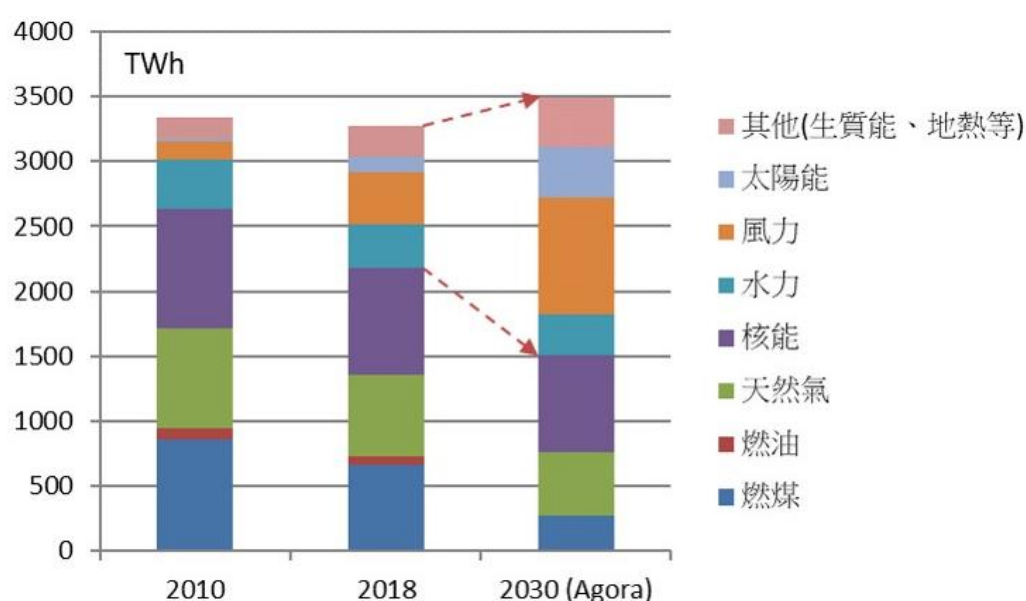


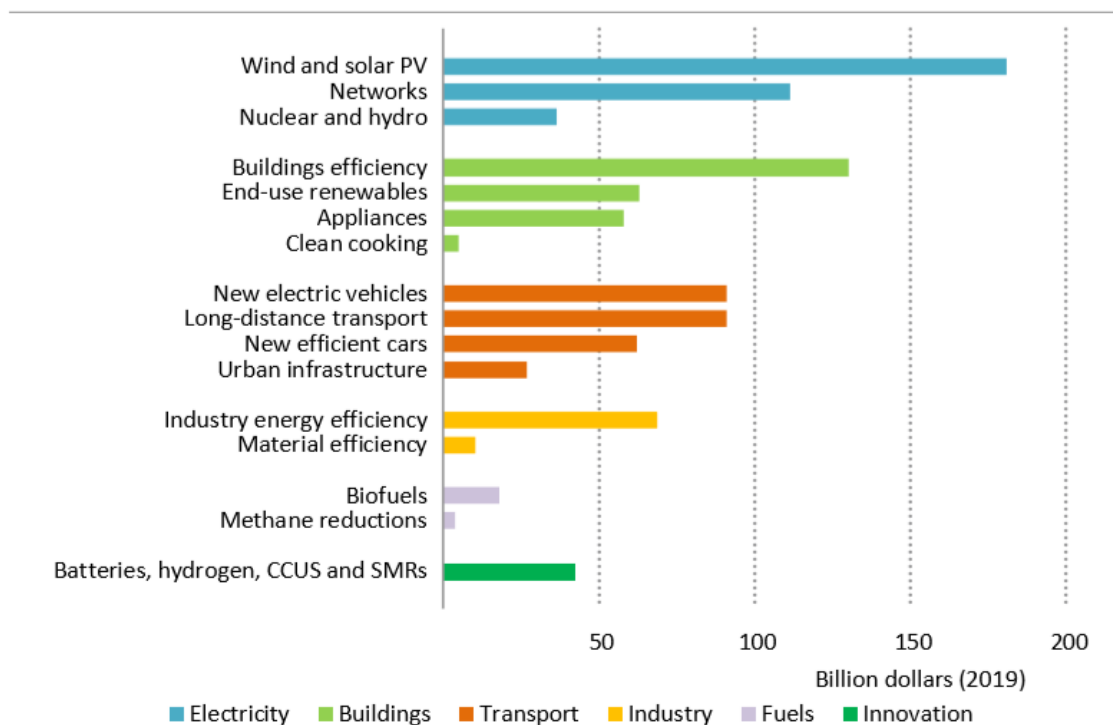
圖 2-4 歐盟電力結構變化趨勢

- 而美國眾議院第 6 號決議於 2019 年 1 月成立了由兩黨共同組成的氣候危機特別委員會，以制定有關政策、策略和創新的建議，以實現聯合國氣候變遷綱要公約之永續發展目標。該氣候危機特別委員會特設

委員會於 6 月 30 日發布《氣候危機行動計畫》，其中提出了一項全面的國會行動框架，即盡快、積極地減少碳排放，以滿足科學上的要求，並建立對氣候變遷的影響更具彈性且持久、公平的清潔能源經濟。該報告指出，2019 年核電佔美國發電量的 20%，佔所有零碳電力的一半以上。它提出建議以確保現有核能電廠的安全和持續運轉以及對下一代核能技術的投資，以確定在美國到 2050 年可以實現全體經濟淨零溫室氣體排放的目標[19]。

- 美國土耳其角核能電廠(Turkey Point)2019 年有 5 個機組完成了 50 年的運營，而今成為美國第一家獲得延長至 80 年運營許可的電廠。在美國，該電廠 50 年期間安全、可靠和高效地運轉，亦制定了可靠的計畫因應老化對電廠系統、結構和組件的影響。根據國際能源署執行董事法提赫·比羅爾(Fatih Birol)表示，延長核能電廠的使用壽命不僅是一種具有成本效益的解決方案，而且還使我們氣候變遷永續目標得以實現[20]。
- COVID-19 疫情危機凸顯了發展更具彈性和可永續性的能源系統的重要性，因此國際能源總署提出永續復甦計畫，該計畫提供了一綜合策略以提高能源的永續性和彈性，同時也提供工作機會並促進經濟發展。而該能源系統須能夠承受未來的衝擊並改善人類的健康和福祉；對能源行業的投資可以提供就業機會並促進經濟成長，同時增強能源系統的彈性，使能源價格可以負擔得起。為了實現《巴黎協定》和《聯合國永續發展議程》的目標，建議還需要對能源進行投資，以開發更多的可永續系統，減少碳排放並加快能源轉型。在永續復甦計畫中，估計未來三年每年將花費近 1 萬億美元在乾淨、現代能源技術上[21]。

Figure 3.3 ▶ Average annual spending by sector and measure (billion dollars)



Nearly \$1 trillion would be spent annually on clean, modern energy technologies for the next three years as part of the sustainable recovery plan.

Note: CCUS = carbon capture, utilisation and storage; SMRs = small modular nuclear reactors.

圖 2-5 永續復甦計畫花費於清潔能源之經費分布

2.5 工業創新與基礎建設

工業是經濟發展的動力，它需要堅固的基礎設施才能保持可持續發展。原子能科技可以使工業產品更安全，提高品質，還可以提高工業生產率，使工業流程更有效率、更環保且更具成本效益，以幫助各國實現聯合國永續發展目標 9，可持續工業化以及促進創新，及建設基礎設施。

各電子束或加馬射線等輻射照射可用於對產品進行消毒，確保食品安全和品質，延長保存期限和修復歷史古文物，以及清除工業廢水和空氣中的污染物。它還可以用於修飾材料以提高其品質和使用壽命，例如創建新

的材料使電纜具有耐火性、生物可分解的食品包裝物和用於治療傷口的水凝膠藥物。而透過使用放射性示蹤劑，專家們可以診斷和改善工業製程，例如由追蹤和監視建築物、沿岸地區傾倒的挖泥或是尋找寶貴的自然資源、地表沉積物的位移和分佈等。

另外核子計測儀技術可偵測物質之厚度、密度、均勻度、液位等。因而非破壞檢測可以幫助專家檢查裂紋和缺陷，以確保飛機和天然氣、石油管道等材料和結構的品質和完整性。特別是在自然災害之後，原子能科技還用於驗證建築物和橋樑的安全性。

以下為實際的應用案例：

- 通常使用輻射對手套和注射器之類的醫療用品進行消毒，而在全球面對 COVID-19 疫情，除了醫療用品外急需對個人防護設備(personal protective equipment)進行消毒情況下，輻射是成熟有效的工具。輻射可以有效消毒除了口罩之外的個人防護設備。IAEA 正以培訓、專家諮詢和研究等方式來幫助其成員國，以促進輻射在醫療設備和食品消毒等之應用。
- 馬來西亞使用原子能科技大大地促進製造業和工業部門的競爭力，例如非破壞檢測可應用於煉油廠，天然氣廠、製造工廠等油管、鍋爐、壓力容器，飛機零部件和船舶等接頭和焊縫等都使用非破壞檢測，以確保產品的品質及完整性。而輻射技術亦可應用在量測密度、濕度、厚度、腐蝕以及材料界面等，如圖 2-6、2-7[22]。



圖 2-6 管道腐蝕檢測



圖 2-7 混凝土中的水分檢測

2.6 因應氣候變遷

氣候變遷已成為全球最大的環境挑戰之一。利用原子能科技監測、減輕和適應氣候變遷的影響，並對《巴黎氣候變遷協定》和聯合國永續發展目標 13，採取具體行動以因應氣候變遷及其影響。

氣候變遷使水資源短缺、糧食短缺、生物多樣性喪失和自然災害更加普遍。而原子能科技和同位素技術可以收集有關環境測定的數據並持續監測氣候變遷如何影響全球環境之海洋、淡水到山脈和土壤，以確定各污染物和溫室氣體排放的來源。

因著二氧化碳、一氧化二氮和甲烷等溫室氣體的排放而加快了氣候變遷的速度，各國正在努力制定可永續的能源政策來緩解這些排放。農業應用上也利用原子能科技來研究和開發新方法以減少排放溫室氣體的策略，例如利用固碳技術來種植、改善農作物溫室氣體的排放，以及協助土壤吸收大氣中更多的二氧化碳。

另外隨著肥沃的土壤變得越來越貧瘠並沙漠化、乾淨水變得稀缺、糧食作物遭受病蟲害而短缺。許多科學家使用同位素和原子能科技收集的數據來研究當地條件下土壤、水和肥料間之物質傳輸行為。可以了解土壤侵蝕速率和採取之保護措施，農作物吸收肥料和水、水分蒸發和蒸發速率的精確信息。原子能科技正在幫助農民在不使土地沙漠化的情況下可以永續生活在其土地上。

以下為實際的應用案例：

- 在國際原子能總署與聯合國糧食及農業組織的合作下，在阿爾及利亞、貝寧、科特迪瓦、埃及、馬達加斯加、摩洛哥、突尼斯和烏干達，科學家使用這些同位素技術藉以追蹤當地的碳和氮原子，以瞭解土壤品質，幫助農民實行氣候智能型農業所需的數據。他們還使用這些技術

來確定易受侵蝕的地區，並引入適合當地條件的保護方法。而在蘇丹和肯尼亞，原子能科技與小規模灌溉系統相結合，使農民能夠在貧瘠的土地上種植農作物。優化灌溉系統向農作物進行水和肥料的輸送，還輔以原子能科技培育的特定植物品種，以更耐受惡劣的土壤條件[23]。

- 協助各國進行量測和監控全球氣候變遷的環測，準確的相關數據有助於科學家和決策者了解問題，以及所需採取的解決行動。
- 舉行各項科學論壇及研討會廣泛傳播原子能科技可減緩、監測和適應於全球氣候變遷。
- 強化所有國家對氣候變遷導致之天災之相關風險、調適及災後復原能力，並使因應氣候變遷之監控措施納入國家政策中。
- 落實 UNFCCC 已開發國家簽約國的承諾，並讓綠色氣候基金透過資本化而運作，以協助解決開發中國家的需求。

2.7 確保海洋資源

海洋覆蓋了地球的 70% 以上，是全世界 10% 以上人口的食物和收入來源。保護海洋環境免受環境污染和氣候變遷繼續對海洋產生重大影響，以實現聯合國永續發展目標 14，確保海洋和海洋資源可永續的發展。

海洋環境的主要變化之一是海洋酸化，因為海洋從大氣中吸收了過量的二氧化碳，導致海水的酸度增加，而這些二氧化碳主要來自人類活動。使用同位素技術可以監測和研究海洋酸化，以了解其如何影響海洋生物和生態系統。使用同位素技術來了解污染物來源和追蹤移動軌跡，例如微塑料、放射性物質和重金屬等如何影響海洋生物和其生態系統，以及了解食物鏈中海鮮產品的品質和整個污染物的轉移。

以下為實際的應用案例：

- 隨著海洋吸收人類活動所釋出到大氣中的二氧化碳，海水裡的碳酸鹽化學特性與酸度改變的此一過程被稱為之海洋酸化，有許多的研究顯示這將對海洋生物有潛在的負面影響，會鈣化的生物例如珊瑚和軟體動物特別容易受到海水化學改變的影響。而具有經濟意義的重要海產食品，都可能受到氣候變遷和海洋酸化的潛在影響。IAEA 進行海洋酸化條件對 26 種不同種類的蝦子，海膽，魚類和軟體動物，例如生長、存活、風味和質地的影響。包括使用核同位素技術研究海產品種的代謝變化、鈣化與重金屬的生物累積效應。同時應用核同位素技術研究海洋酸化及其他環境壓力因素的相互作用[24]。
- 利用原子能科技和同位素技術有助於理解碳循環，包括大氣中高濃度的人為二氧化碳以及海洋酸化對環境永續性的可能影響。合作進一步了解諸如海洋暖化等之類的氣候變遷影響。在波斯灣上的科威特，研究人員在此試驗海灣珊瑚和其他溫水水域生態系統獨特的復原力。海洋酸化對於某些物種的發展會藉由阻礙外殼和骨骼的生長而產生負面影響。其中有害藻華能產生讓魚類和鳥類的大量死亡的生物毒素，人們則因食用受污染的海鮮而產生疾病。因此國際原子能總署和科威特科學研究所持續合作，以放射性配體-受體結合試驗(radioligand receptor binding assay, RBA)進行能夠快速準確地鑑定藻華毒素的原子能科技研究[25]。

2.8 確保陸地生態系統

由於農業集約化生產和森林砍伐導致水土流失、沙漠化等土地退化，這影響了全球 60%以上的土壤資源以及超過 10 億依靠這片土地進行糧食

生產的人類生活。為了保護和可永續利用陸地生態系統之自然資源，國際原子能總署和聯合國糧食及農業組織(糧農組織)合作，朝著聯合國永續發展目標 15 努力；促進陸地生態系統的可永續利用、可永續管理森林、防治沙漠化、制止土地退化以及制止生物多樣性喪失。

例如利用同位素技術，以 ^{15}N 和 ^{13}C 評估土壤品質並研究農作物如何吸收養分以及元素在土壤中如何遷移。這些技術有助於發展有效的土壤管理和作物生產方法，還可以逆轉侵蝕並防止土壤污染水資源。借助原子能科技，專家還可以追蹤和阻止污染物對環境的損害。他們可以識別不同污染物(例如化肥或工業污染物)中的某些同位素，以測量其濃度並追蹤其來源。此類數據可以幫助決策者了解污染物的影響並制定保護環境的政策。

以下為實際的應用案例：

- 厄瓜多爾加拉巴哥群島因著地方生物多樣性的生動象徵，於 1978 年被聯合國教科文組織宣佈為世界遺產。而國際原子能總署的技術合作部在與聯合國糧農組織/糧食和農業原子能科技聯合司合作，應用原子能科技之不孕昆蟲技術應用於該群島的寄生蒼蠅上，以保護厄瓜多爾國家公園陸生鳥類(瀕臨滅絕的紅樹林樹雀)避免受到有害寄生蠅的侵襲，維持該世界遺產的生物多樣性。圖 2-8[26]。



圖 2-8 不孕昆蟲技術應用於加拉巴哥群島的寄生蒼蠅上

- 土壤鹽化是影響植物生長和產量並阻礙農業可永續性的主要挑戰。利用原子能科技監測和評估區域範圍內的土壤水分和鹽分含量，進而提高作物生產力。此方法分別在中國新疆、美國得克薩斯州和奧地利進行，主要是利用宇宙射線中子傳感器估計土壤含水量，透過灌溉和農藝管理從根部析出鹽分以改善土壤品質。而越南在改善土壤鹽化方面，則採用 ^{18}O 同位素技術來追蹤由於灌溉管理不善而導致海水入侵造成的鹽度問題[27]。
- 國際原子能總署通過灌溉和土壤管理幫助南非東部的塞舌爾群島，該群島島嶼的土壤有機物含量極低、保水能力低、鹽度高，不利農作物生產。原子能機構利用放射性核種和穩定同位素評估土壤退化，監測土壤鹽度和鹼度，以量化土壤侵蝕並制定有效的土壤保護措施[28]。

- 土壤侵蝕是最常見的土地退化類型，它原是一種會取代上層土壤的自然過程，而在該層植物會吸收大部分營養和生長所需的水分。土壤侵蝕在非洲最為普遍，影響了 65% 的耕地，其次是拉丁美洲 51% 和亞洲 38%。健康的土壤在實現聯合國關於飢餓，水潔淨和保護陸地環境的永續發展目標方面可以發揮重要作用。原子能總署 IAEA 與聯合國糧食及農業組織 FAO 通力合作，應用原子能科技來測量與監控土地利用並降低土壤侵蝕策略。他們幫助辛巴威、阿根廷和斯里蘭卡成功地減緩侵蝕。並利用原子能科技和落塵之放射性核種(fallout radionuclides)作為示蹤劑，以評估侵蝕率並確定沉積物的來源[29]。

2.9 發展夥伴關係

發展夥伴關係是實現聯合國永續發展目標 17，例如國際原子能總署及其與聯合國糧食及農業組織的夥伴關係，共同幫助各國利用原子能科技努力實現諸多永續發展目標，如 2.消除飢餓、6.水的衛生及其永續管理、13.減緩氣候變遷之措施、15.確保陸地生態系統等。而通過彼此合作以加強執行手段並振興可永續發展夥伴關係，此構成了全球可永續發展議程的重要部分。

以下為實際的應用案例：

- 國際原子能總署與聯合國糧食及農業組織和世界衛生組織之間的長期夥伴關係，也使聯合國教育、科學及文化組織為實現這一永續發展目標而共享技能和資源，如擴大網絡分享知識及數據、培訓人才、研究發展、科學訪問等，以支持全球永續發展。

- 國際原子能總署和聯合國工業發展組織於 2020 年 6 月 12 日簽署一項合作協議，將和平利用原子能科技促進可永續的工業發展。圖 2-9。工發組織和國際原子能總署將共同支持將原子能科技應用於成員國及其區域之糧食和農業、水和環境、工業應用、經貿建設以及減輕氣候變遷的影響。工發組織表示，結合專業知識、資源和網絡，加強了兩個實體之間的夥伴關係，以支持、協助共同的會員國們可進一步尋求兌現對 2030 年永續發展目標議程的承諾。國際原子能總署表示，發展原子能機構和工發組織的夥伴關係，透過合作並利用彼此在食品安全、塑料和工業技術應用等領域的互補性，將為所有共同成員國增加價值[30]。



The signing of the Practical Arrangements by Li and Grossi

圖 2-9 國際原子能總署和聯合國工業發展組織簽署合作協議

除了上述的永續發展目標外，尚有其他原子能科技的應用，例如：

- 放射性定年，利用測定被測定物中某些放射性元素與其衰變產物的比率，之後應用這種放射性元素半衰期方法可以計算生物體、地球地層年代等。例如碳十四定年，原理是生物體在活著的時候會因呼吸、進食等不斷的從外界攝入碳十四，最終體內碳十四與碳十二的比值會達到與環境一致(該比值基本不變)；當生物體死亡時，碳十四的攝入停止，之後因遺體中碳十四的衰變而使遺體中的碳十四與碳十二的比值發生變化，通過測定碳十四與碳十二的比值就可以測定該生物的死亡年代[31]。
- 國際原子能總署技術合作項目之一，使用原子能科技協助亞洲及太平洋國家在文化遺產的特性描述、保存和修復，因此 IAEA 培訓印尼、泰國、馬來西亞等核子科學家協助考古學家保存文化遺產。而印尼國家原子能署(Indonesia's National Nuclear Energy Agency, BATAN)於 2020 年 2 月 10 日與該國國家考古研究中心簽署了合作備忘錄，以使用原子能科技協助保存具有文化價值的文物[32]。



圖 2-10 原子能科技協助保存具有文化價值的文物

- 聯合國秘書長 Antonio Guterres 於 2020 年 1 月 22 日在聯合國大會上表示，敦促通過 2020 年後之全球生物多樣性架構(global biodiversity framework)。為保護遷徙動物生命，同位素技術可助於確認這些動物的起源、繁殖地、越冬和中途停留地點。基於這些科學數據，決策者可以為魚類，鳥類，哺乳動物或昆蟲等各種動物發展更好的保護方式。基於雨水中氕的測量，當氕(氫同位素)被植物或動物、乃至人類所吸收後，由於雨水氕的成分是降雨來源所獨有的，因此氕含量可以作為標記，科學家可以通過測量頭髮，翅膀，爪子，羽毛或骨骼的氕含量來確定動物的地理來源。這一發現(利用同位素與 IAEA 資料)可協助解讀動物遷徙秘密[33]。
- 利用原子能科技幫助制止象牙和木材的非法貿易，因為受威脅或瀕臨絕種危機物種的貿易日益引起全球關注，對其進行監測可打擊野生動植物產品的非法貿易。透過測量野生動物產品(如來自瀕臨絕種危機大象的象牙)中的氫和氧穩定同位素，科學家可以確定該動物的居住地，以確認象牙來源之聲明是否正確無誤，以打擊瀕臨絕種危機物種的貿易[34]。

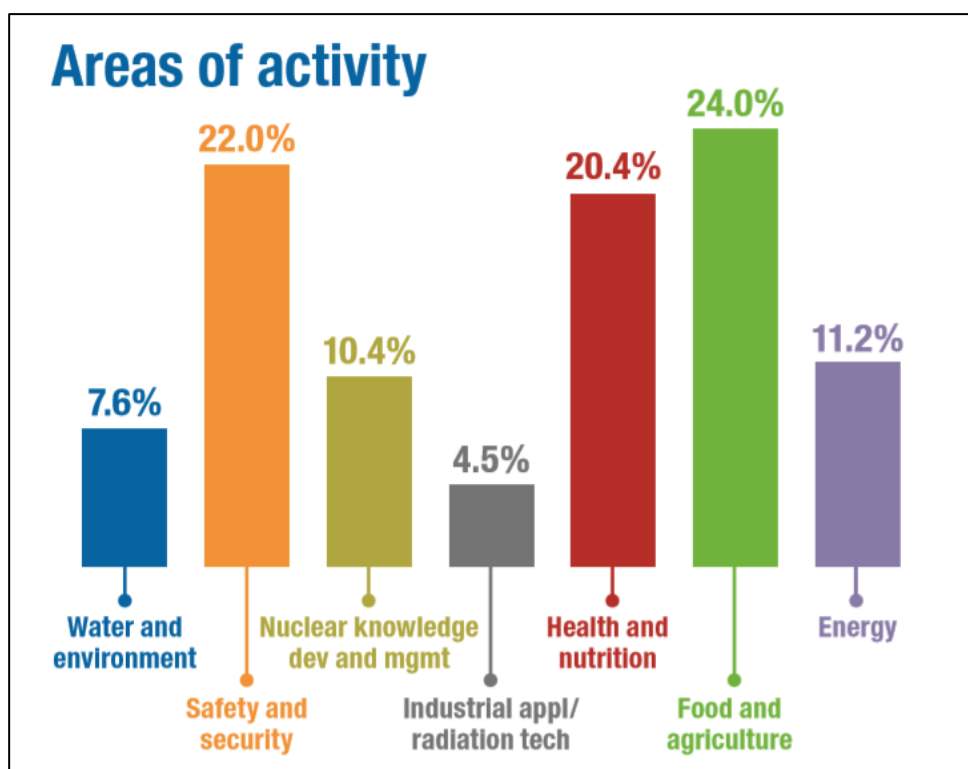
3. 原子能科技之民生應用

原子能的民生應用範圍很廣，包括農業、工業、醫療與研究等，有微量元素分析、年代測定、示蹤劑、非破壞檢測、厚度測定、夜光錶塗料、食品照射、品種改良、癌症治療、醫療用具滅菌與 X 光檢查等。在農業的應用上，如防治病蟲害，抑制發芽，殺蟲、滅菌，品種改良及延長食品保存期限等。在工業的應用上，如以核子儀器偵測物質之厚度、密度、均勻度、液位、界面、觸媒床高度與溼度等，而核能發電也可算為民生應用之一。在醫學的應用上，如醫療器材消毒滅菌、放射診斷、放射治療、核子醫學、核醫藥物等。

聯合國《南南合作》，即區域研究合作協定，為該區域各國之間的對話與合作提供了永久性框架。而 IAEA 在亞洲及太平洋地區的技術合作，透過《亞太區域核科學技術相關研發培訓合作協議》(Regional Co-operative Agreement for Research, Development and Training Related to Nuclear Science and Technology for Asia and the Pacific, RCA)，亞洲核合作論壇(Forum for Nuclear Cooperation in Asia: FNCA)等，在放射線應用開發，研究用反應器利用開發，增進核電安全等共同研發、討論與人員培訓交流。在 2018 年的 RCA 年度協調會議上，RCA 締約國將南南合作納入計畫重點。而《亞洲阿拉伯國家核科學技術相關研發培訓合作協議》(Agreement for Arab States in Asia for Research, Development and Training Related to Nuclear Science and Technology, ARASIA)締約國也在許多項目上密切合作，這些項目涉及調查城市中的環境污染，改善受鹽水和鹽水污染的土壤來增加農作物生產和品質，提高小麥和大麥的生產率。2018 年南南合作建立了兩個核醫學資源中心，

以進一步增強人力資源和提高機構醫療能力，提供臨床培訓和核醫設備等技術支持[35]。

根據國際原子能總署在亞太地區的技術合作，其促進亞太地區 41 個國家之間的技術合作，旨在根據其國家發展計畫滿足該地區成員國的健康與營養、糧食與農業、能源、核知識推廣、水與環境，以及工業輻射技術應用等領域，並向其會員國和地區提供援助，支出分布如圖 3-1。而在 2018 年援助經費支出 25.3 百萬歐元，其中水與環境佔 7.6%，保安佔 22.0%，核知識推廣佔 10.4%，工業輻射技術應用佔 4.5%，健康與營養佔 20.4%，糧食與農業佔 24.0%，能源佔 11.2%[36]。在 2019 年援助經費支出 29.3 百萬歐元。其中水與環境佔 7.0%，保安佔 22.7%，核知識推廣佔 10.1%，工業輻射技術應用佔 7.4%，健康與營養佔 18.1%，糧食與農業佔 24.4%，能源佔 10.3%[37]。可以看出 2019 年比起 2018 年支出明顯增加的部分為工業輻射技術應用，而能源、健康與營養則下降。



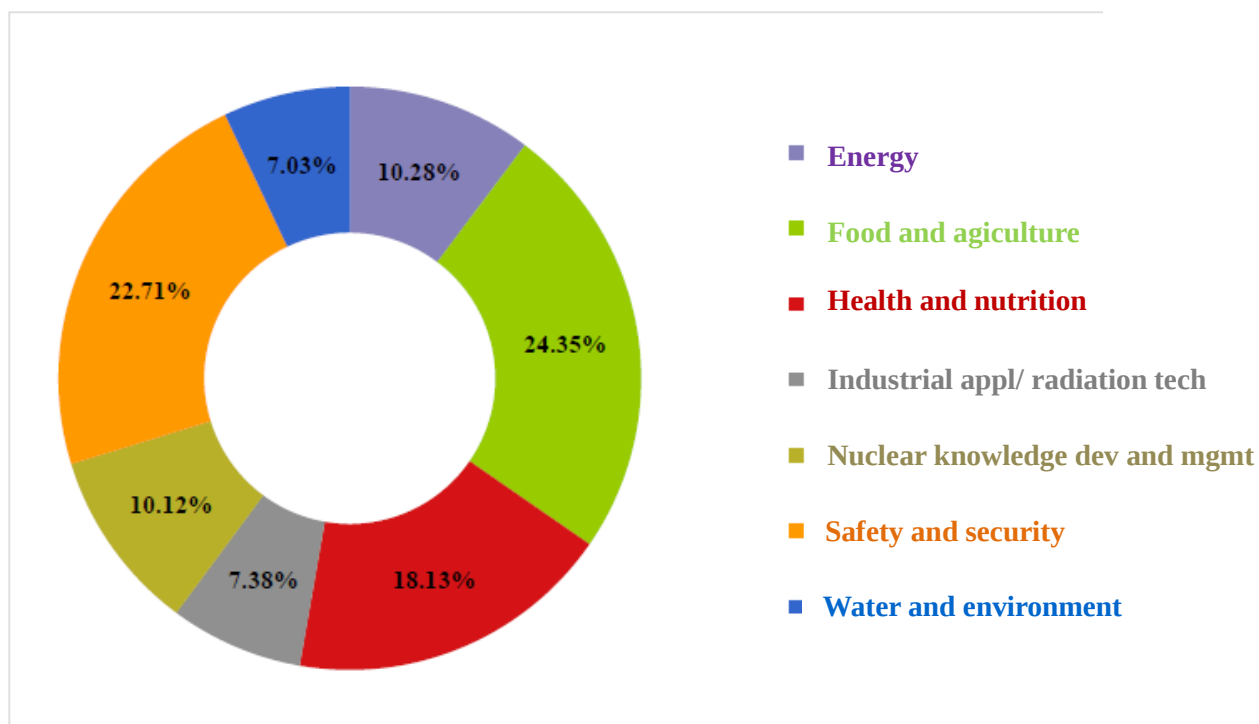


圖 3-1 國際原子能總署 2018(上)/2019(下)年援助亞太地區之經費項目分布

本研究參考國際原子能總署援助亞太地區之經費項目及國內原子能的民生應用情況，將依約略區分為核能發電、農業、工業與醫療應用來敘述。

3.1 核能發電

核能發電的原理是：用鈾製成的核燃料在反應爐內進行核分裂釋出大量熱能；高壓下的循環冷卻水把熱能帶出，在蒸汽發生器內生成蒸汽；高溫高壓的蒸汽推動汽輪機，進而推動發電機旋轉。目前世界上數量最多的是壓水式核能電廠，其次是沸水式。

依據 APAEC 東協 ASEAN 地區 2016-2025 的目標，到 2025 年可再生能源佔比將達到 23%。主要目標：加強東協的能源連通性和市場整合，以實現該區能源的安全、可及性、可負擔性和永續性。採取之策

略：建立 1.東協電網，2.東協天然氣管道，3.煤炭和清潔煤技術，4.能源效率和節約，5.可再生能源，6.區域能源政策與規劃，7.商用核電。因此使用新的可再生的替代能源，例如生質能/生物燃料、太陽能 and 能源存儲系統；使用清潔能源和環境技術，例如清潔煤技術、核能技術和天然氣；節能技術，例如熱電聯產和能源管理系統；對於偏遠地區的能源技術應用/解決方案[38]。

而歐盟 2019 年發布「清潔能源套案」中，指出核能發電也是其中建議使用的選項。對於使用核電的國家，國際原子能總署要求，根據國際公認的安全標準和保安準則，為建立和維持核電計畫提供指導和支持，以幫助它們建立可永續發展的清潔能源；包括核燃料循環和核設施的生命週期等各個方面之技術支持[18]。

3.2 農業應用

「輻射照射」乃是一種電磁波或粒子束的照射，被照射過的物體，不會有放射線的殘留，輻射照射所需要的劑量則視其應用之目的而定。核能研究所之照射是利用 Co-60 釋放出加馬射線，對生物體產生特定之生物化學效應，以達到殺蟲、滅菌、突變、矮化等醫學、農業應用。加馬射線照射在農業應用領域上是利用照射後的生物化學效應，達到花卉矮化、植物突變、品種改良、抑制發芽、食品滅菌保鮮、微生物之消除。

主要應用於農業上輻射照射之使用目的、農作物以及輻射能量如表 3-1[39]。

表 3-1 輻射照射應用農業上之使用目的及輻射能量

使用目的	使用範圍	使用劑量
1.抑制發芽	馬鈴薯、甘藷、洋蔥、大蒜	150Gy 以下
2.延長儲存期限	木瓜、芒果	1,500Gy 以下
3.防治害蟲	米、煙草、紅豆、綠豆、大豆、小麥、麵粉	1,000Gy 以下
4.雄不育性	東方果實蠅、甜菜夜蛾	250Gy
5.殺蟲滅菌	淡水魚(殺滅中華肝吸蟲等)、豬肉	500Gy 以下
6.檢疫照射	果蔬檢疫照射等	500Gy 以下
7.動物飼料滅菌	動物飼料等	20,000Gy
8.品種改良	冬瓜、稻米	10Gy
9.抑制生長	水仙花	10Gy 以下

實際的應用案例：

水仙花之鱗莖經 5~10Gy 加馬射線照射後栽植時，花莖與葉片之生長受到抑制，可使植株矮化，不會倒伏，其花之形狀大小及芳香均不受影響，提升觀賞品質。利用輻射照射雄性東方果蠅致使不育性，造成防治之效果。

另外儲物經 1.5 kGy 輻射照射，則可徹底防治儲物害蟲之再發生，照射之儲物項目包括禾穀類、豆類、乾果、鮮果及加工食品等。以 0.2~0.6 kGy 照射外銷菊花可有效的防治蟲害，且不傷害切花品質。又馬鈴薯與大蒜輻射照射後，可達到抑制發芽，延長貯存期限等效果[40]。

另外營養繁殖作物的誘變育種具有遺傳改良的高潛能，尤其是具有高品質觀賞植物的育種中已被廣泛使用。人工誘變的主要優點是能改變優良商業品種中之單一或少數性狀，而不會改變其它的基因型。誘變個體經由營養繁殖，可以大量繁殖商品化。台灣農業委員會台中區農業改良場除進行傳統之雜交法育種外，利用加馬射線以誘變育種開發菊花花色變異之新品種[39]。

而輻射照射廣泛應用在食品上，主要作用在於：消滅致病菌，保有食品原有色、香、味及營養成份；在不破壞食品成份的條件下滅菌致使食品保存更久，可減低或免除人工防腐劑的添加，相對更健康及可降低生產成本；輻射是所有滅菌法中對成份影響最微的方式。

除了經濟作物誘變育種、延長貯存期限、滅菌、昆蟲不育技術減少蟲害等提高農作物生產。原子能科技也應用以提高動物的生產和健康，如圖 3-2 所示，包括獸醫診斷動物疾病之早期快速診斷技術，利用輻射雜交圖譜和基因重組工具提高生產力，改善飼料以提高產量和保護環境，改善繁殖方法以生產更多的奶和肉，追蹤野生水禽遷徙以監測禽流感病毒傳播，研發防治疾病之疫苗[41]。

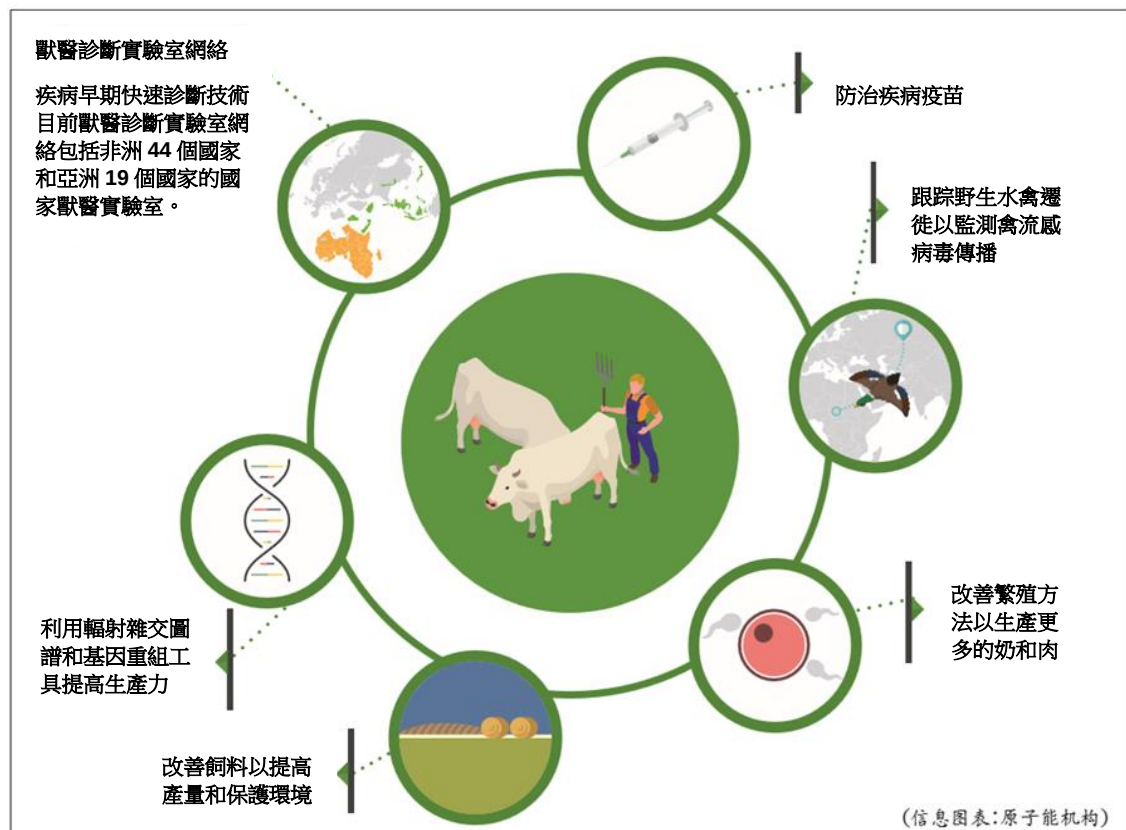


圖 3-2 原子能科技提高動物的生產和健康

3.3 工業應用

工業材料創新方面，工業界常利用 Co-60 釋放出的加馬射線，工業材料經輻射照射後產生物理化學效應，達到如木塑材聚合強化、橡膠改質、塑膠聚合物接枝、有機化合物單體聚合化、玉石增色等效應[40]。

為提昇生產品質，安全與效率，工業界常利用 Co-60，Sr-90，Cs-137，Ir-192 等輻射源從事照射處理(醫療器材滅菌)、輻射計測儀(液位計、測厚計等)及非破壞檢驗。我國工業上常用的輻射源及其半衰期如圖 3-3[42]。

工業上常用的輻射源及其半衰期		
用 途	放 射 核 種	半 衰 期
輻射照射處理 (消毒、滅菌)	^{60}Co ^{137}Cs	5.3y 30.0y
輻射計測儀(厚度計、液位計、密度計等)	^{60}Co ^{90}Sr ^{137}Cs ^{192}Ir	5.3y 28.1y 30.0y 73.8d
非破壞檢驗	^{60}Co ^{192}Ir	5.3y 73.8d

為提昇生產品質，安全與效率，利用 ^{60}Co ， ^{90}Sr ， ^{137}Cs ， ^{192}Ir 等輻射源從事照射處理(醫療器材消毒菌)，輻射計測儀(液位計、測厚計等)，及非破壞檢驗。

圖 3-3 我國工業上常用的輻射源及其半衰期

放射線照相術(非破壞檢驗)，可用於檢視金屬鑄件或焊接部位的縫隙及缺陷。也可度量極微小的厚度，如金屬薄片，亦可用於檢視建築物的結構缺陷。核子計測儀技術，主要是基於不同物質對放射性同位素(如 Co-60、Cs-137、Sr-90、Am-241/Be 與 Cf-252 等)所放出加馬、貝他與中子放射線的吸收、穿透與散射程度的不同，從而偵測物質之厚度、密度、均勻度、液位、界面、觸媒床高度與溼度等。例如紙張、塑膠布、鋼板生產工廠在製造過程中，利用物質與輻射作用的特性作為厚度之自動控制，以確保產品品質。汽水廠在生產線上裝設液位儀，應用加馬射線穿透鐵皮(鋁皮)，鑑別內容物是否足量。中子及加馬射線可以測量土壤、瀝青的溼度、密度，

提高工程施工品質。使用氬-85 放射性氣體射源，可作 IC 晶體及半導體電子成品密合性的測漏檢查。而加馬射線照射高爾夫球可以提高球體的硬度，增加球的彈性[12]。

工業常用的原子能科技如放射性示蹤劑技術、瞬發加馬中子活化分析(Prompt-gamma neutron activation analysis, PGAA)、中子反向散射技術(Neutron Backscattering Technique)、電腦斷層掃描等。

放射性示蹤劑工作的原理是在系統入口注入放射性示蹤劑，再進行對應脈衝，並且在出口處記錄濃度-時間曲線。進而對數據輸出進行處理和分析，以了解系統的化學反應機制。該技術可了解，均質混合效率過程中分批或連續測量、停留時間分佈的測量、流量測量、洩漏檢測等。放射性示蹤劑被廣泛用於許多主要工業應用的研究，常用在工業上包括流化床，熱交換器，再沸器容器，混合反應器，滴流床反應器，水泥迴轉窯，廢水處理廠以及油井等[22]。

瞬發加馬中子活化分析可用於測定樣品中的元素分析，也是一種非破壞的核分析技術，特別用於對氫、硼、氮、鎘等元素進行測定，與儀器中子活化分析具有互補性。該技術基於所檢測樣品中存在所識別的元素其對所發射的加馬射線中子捕獲反應後的測量，其強度與元素的濃度成正比。常用在工業上包括水泥，煤炭，人工考古和礦冶工業。

中子反向散射技術利用富含氫元素的物質來減慢快中子的速度，中子與物質之間的相互作用取決於中子的能量以及樣品的性質。它主要應用是確定物料的液位或界面，並檢測各種類型的容器、儲罐和管道中的污泥沉積物。此外，它還用於測量橋樑混凝土，船舶絕緣體等水分含量。常用在工業上包括工廠故障排除和煉油廠的優化，化工廠的氣體處理裝置。

電腦斷層掃描(Computed Tomography, CT)，它利用輻射(例如加馬，X射線等)來產生內部結構的成像過程，這些射線的窄束對準樣品照射產生信號，並由電腦訊號處理以生成三維圖像。電腦斷層掃描除廣泛地用於醫學成像以診斷患者外，也應用在許多工業領域中的內部檢查，如缺陷檢測，故障分析，計量等。另外是考古用途，可以對石棺內的內容物進行成像；它還用於博物館文物的成像以及維護運輸安全，尤其是在機場有害物質和特定威脅物品的檢測。

關於民生消費性產品，可以參閱我國游離輻射防護法第二十二條第三項規定訂定之商品輻射限量標準，其中包括飲用水(指供人飲用之水，含包裝水)、電視接收機、鐘錶、氣體或微粒之煙霧警報器、微波接收器保護管、航海用羅盤及其他航海用儀器、逃生用指示燈、指北針、燈泡及其他經主管機關核定公告含放射性物質之商品[44]。如住家、辦公場所或廠房裝置的消防煙霧偵檢器，含低放射的 Am-241 射源，其放出阿伐粒子而游離偵檢器內的空氣，使空氣具導電性，進入偵檢器內的煙霧微粒會把電流抑低而啟動警報。而手錶、時鐘及指北針 利用 H-3 或 Pm-147 當光源，1970 年以前的舊式手錶和時鐘則利用 Ra-226 當光源。這些民生商品所含之放射性物質乃基於輻射防護三原則(正當化、最適化、限制化)而添加放射性物質並依法令符合其含量限值，此皆為原子能科技之民生應用項目之一。它的活度低於豁免管制量。

3.4 醫療應用

原子能科技在醫療方面之應用，主要有放射診斷、放射治療及核子醫學之檢查與藥物治療[43]。

- 放射診斷：包括 X 光攝影、電腦斷層攝影等。X 光攝影乃利用 X 光球管所發生之放射線穿過人體，將人體的組織影像記錄在底片上再由醫師判讀診斷。
- 放射治療，治療惡性腫瘤的方法常為放射治療、手術與化療。放射治療係利用聚焦的、高能量的放射線，破壞腫瘤細胞的遺傳物質 DNA，使其失去再生能力從而殺傷腫瘤細胞。如 Co-60 治療機、直線加速器、加馬刀、電腦刀、電腦斷層治療機。
- 核子醫學：包括(1)體內造影檢查：加馬造影機、單光子放射電腦斷層 (Single Photon Emission Computed Tomography, SPECT)、正子放射電腦斷層 (Positron Emission Tomography, PET)、(2)放射免疫分析、(3)核醫治療。

核子醫學的體內造影檢查係受檢者需經由靜脈注射，口服或吸入微量放射性藥物，等藥物分佈到特定器官後其所放出的放射線，可經由核醫攝影器予以顯像(造影過程)，再由核子醫學醫師判讀診斷。

而治療用核醫藥物則主要依賴發射的射線在病變組織中產生游離輻射生物效應，適合之核種有釋出貝它射線(β ray)、 α 粒子或鄂惹電子 (Auger electron) 者，如 I-131、Sr-89、P-32 及 Y-90 等，又如新治療用藥，同位素 Sm-153、Re-186、Re-188、Ho-166、Dy-165、Ac-225 及 Bi-213 等。I-131 可用於治療甲狀腺功能亢進、甲狀腺癌及骨痛症等[12]。

核醫放射藥物一般包含二部份：化合物及其標記的放射核種。一般來說，這個化合物及放射核種的化學量都非常小。因此，放射藥物不會干擾它所要偵測的正常生化反應，它的功能就像是一個示蹤劑，不同於 X 光檢查用的顯影劑，它並不會產生過敏反應。例如，甲狀腺攝取檢查所使用的碘含量僅祇是吃一餐飯所使用的食鹽內的碘含量的

數千分之一[44]。各種放射藥物可應用於不同器官的檢查，如表 3-2。

表 3-2 各種造影檢查放射藥物及作用機轉

造影檢查	放射藥物	作用機轉
肺造影	鎝-99m 白蛋白大凝聚粒(albumin Macroaggregates)或小球(microspheres)	微血管阻斷，測定肺血流灌注，診斷肺栓塞。
骨骼造影	鎝-99m 磷酸鹽(phosphonates)	吸著於骨骼上，診斷骨 轉移癌，發炎等病。
甲狀腺、唾液腺、Meckel 氏憩室造影	鎝-99m 過鎝酸鹽(pertechnetate)	離子的主動運輸，診斷甲狀腺疾病，唾液腺功能評估，偵測憩室內胃黏膜。
肝、脾、及骨髓造影	鎝-99m 硫膠溶體(sulfur colloid)	經由網狀內皮系統攝取， 診斷肝、脾病灶及骨髓分布。
肝細胞及膽道造影	鎝-99m IDA(labeled IDA)衍生物	肝細胞主動運輸及排除， 測定肝功能及膽流，診斷急性膽囊炎及阻塞性黃疸。
心肌血流灌注及肌肉造影	鉈-201，鎝-99m MIBI(isonitriles)或標幟之脂肪酸	經由 Na ⁺ -K ⁺ -ATPase 酵 素作用之主動運輸，診斷冠心疾及肌肉缺血。
腫瘤造影	鎢-67 枸橼酸(Ga- 67 citrate)	腫瘤攝取的作用機轉仍不清楚。可能的機轉是：鎢-67 與腫瘤細胞膜上的運鐵蛋白元(transferrin-specific)受體作用後進入細胞，再與細胞內的溶解體(lysosomes)結合。鎢-67 可反應細胞的代謝活性。
	銥-111，碘-131，鎝-99m 單株抗體	經由免疫的作用機轉進入腫瘤細胞，可作各類癌病之診斷、療效評估及追蹤。
感染或發炎過程的造影	鎢-67 枸橼酸(citrate)	作用機轉仍不清楚。可能 的機轉是：鎢-67 可與白血球，細菌殘骸及乳酸鐵蛋白元(lactoferrin)作用，診斷發炎病灶。
	銥-111 白血球(In- 111 leukocytes)	白血球會在發炎的病灶處聚集。
腦造影	碘-123 IMP(I-123 iodoamphetamine)	鎝-99m HMPAO 為一脂溶性物質，可通過腦血管屏障進入腦部，診斷腦中風，癱瘓症，偵測癲癇病灶。
	鎝-99m GH(glucosheptonate)，鎝-99m DTPA(DTPA)	在正常情況下不會進入腦組織，只有在腦血管屏障被破壞時(如腫瘤，膿瘍，血腫，梗塞)才進入不正常的組織內。

腎臟造影及腎功能評估	鎇-99m DTPA	腎絲球過濾及排泄，評估腎功能。
	鎇-99m DMSA	皮質細胞攝取，診斷腎病灶，評估腎功能。
	碘-131 馬尿酸(hippuran)	腎小管細胞攝取及分泌，診斷腎功能。
甲狀腺攝取功能及造影	碘-123(I-123)，碘-131(I-131)	甲狀腺吸收碘合成甲狀腺荷爾蒙。可行甲狀腺功能評估，甲狀腺病灶偵測及甲狀腺癌術後追蹤。碘-131 亦可用於轉移性甲狀腺癌之治療。

4. 新南向政策中六國之原子能科技發展與應用

近年來國內外大環境快速變遷，我國對於亞太之經貿佈局策略有調整，以支援國內產業轉型及經濟成長，故此蔡總統於 105 年就職演說中特別提出政府要推動「新南向政策」。

我國推動新南向政策涵蓋國家有東協十國、南亞六國及紐澳等，而其中印度、印尼、馬來西亞、新加坡、泰國、及越南六個國家(本報告以下簡稱為新南向六國)與我國經貿交流更為密切；故本計畫以此六國為研究標的。

本計畫利用網際網路資訊蒐集的便利性，以有系統性的方式彙整新南向六國的相關資訊，原則上以最新且可靠的資訊進行彙編，主要由各研究對象國家的相關主管機關與研發單位的官網、IAEA、經貿協會、工研院 IEK 產業情報網等來蒐集各國之資料。各國(依國家名稱英文字母序)之國家基本資訊與原子能科技發展應用概況說明如後述各節。

4.1 印度

4.1.1 國家基本資料

- 面積：328.74萬平方公里。
- 人口：2019年13億6,641萬人(僅次於中國，為世界第二大人口國)。
- 國內生產總值(Gross Domestic Product, GDP)：2019年2兆8,751億美元；成長率5.0%[45]。
- 電力供應[46,47]：
 - 電源類別裝置容量(Mw)：火力267,129；水力44,586；核能6,780；其他58,627。
 - 供電體系：核能發電完全由中央政府經營。電源系統因各州而異，在中央和省政府的管轄範圍內由上市公司經營。
 - 年發電總量：1,477,564 GWh。
 - 年發電量來源百分比：煤75%；水力9%；再生能源7%；天然氣5%；石油2%；核能2%。

4.1.2 原子能科技應用概況

(1)核能發電[48,49]

印度的本土核能產業鏈，計有22部反應器運轉中(PHWR 18部、BWR 2部、PWR(VVER) 2部)，7部興建中(PHWR 4部、FBR 1部、PWR(VVER) 2部)，且將持續擴展(規劃增建14部)。根據印度2018年的「國家電力計畫」(目標期限到2027年)，指出2017年發電裝機容量約為3億千瓦，到2027年預計為6.2億千瓦。其規劃可再生能源比例將增加，可再生能源比例將從17%增加到44%。而核電的裝機容量預計將從2017年的600萬千瓦增加到2027年1700萬千瓦。

印度原子能法規定核能發電僅能國家經營，同時依法成立印度原子能委員會Atomic Energy Commission (AEC)為政策主管機關。AEC下轄原子能監管局Atomic Energy Regulatory Board (AERB)為法規與管制機關；及原子能部Department of Atomic Energy (DAE)為核能產業主管機關。

DAE管轄各國營事業，包含電力公司Nuclear Power Corporation of India Ltd (NPCIL)、Bharatiya Nabhikiya Vidyut Nigam Ltd (BHAVINI)；鈾礦提煉公司Uranium Corporation of India Ltd (UCIL)；鈾礦探勘開採公司Atomic Minerals Directorate for Exploration and Research (AMD)；Electronics Corporation of India Ltd (反應器儀控)等。

(2)政府研究發展機構[50]

印度DAE下的原子能研發部門包括有下列6個單位：Bhabha Atomic Research Centre孟買巴巴原子研究中心、Indira Gandhi Centre for Atomic Research印度卡爾帕卡姆原子研究中心、Raja Ramanna Centre for Advanced Technology拉多·拉曼納先進技術中心、Variable Energy Cyclotron Centre加爾各答可變能量迴旋加速器中心、Atomic Minerals Directorate for Exploration and Research海得拉巴原子礦物勘探與研究局、Global Centre for Nuclear Energy Partnership古爾岡全球核能參與中心。而DAE管轄之Industries and Mineral Sector(工礦部門)有：Nuclear Fuel Complex核燃料綜合體、Heavy Water Board重水局、Board of Radiation and Isotope Technology輻射與同位素技術委員會。

位於孟買Trombay的Bhabha Atomic Research Centre (BARC)是首要研究機構，擁有多部研究用反應器(部分已除役)、加速器、再處理設施、鈾濃化設施、廢棄物處理設施等。並負責各種核能電廠設計與技術驗證計畫、核武計畫及用過核子燃料處置計畫等研發工作。

Indira Gandhi Centre for Atomic Research (IGCAR)位於Kalpakkam，為另一處研究基地，有多部研究用反應器與再處理設施，主要從事快中子滋生反應器相關技術研發。Raja Ramanna Centre for Advanced Technology (RRCAT)從事雷射與粒子加速研究；Energy Cyclotron Centre (ECC)進行加速器相關技術研究；Global Centre for Nuclear Energy Partnership (GCNEP)從事核能與輻射技術之研發、教育訓練及國際合作。Board of Radiation & Isotope Technology (BRIT)位於Trombay，負責放射性同位素生產。

(3)印度核能科技研發應用[51]

印度鈷燃料循環、核反應器技術、核能儀器技術、核燃料設計製造、化工物理領域等研發應用，以鈷燃料循環研發為例，就核燃料資源的可獲得性而言，印度在世界上具有獨特的地位。它的鈷資源有限，但擁有很大的鈷資源，因為喀拉拉邦和奧里薩邦的沙灘有豐富的獨居石儲量，獨居石中含約8－10%的鈷。

鈷由於其物理特性而不能直接使用於核燃料，但可先在核反應器中將其轉換為 ^{233}U ，然後就能用作核燃料。 ^{233}U 與其他裂變 ^{235}U 和 ^{239}Pu 相比，其具有更好的物理特性。而印度已經制定了一個三階段的印度核電計畫，進行了燃料循環的各方面研究，包括燃料相關開採和提取、製造，以及在不同反應器系統中的利用，評估其性質和輻照行為、再處理和再循環，以有效和可持續地使用鈷資源。

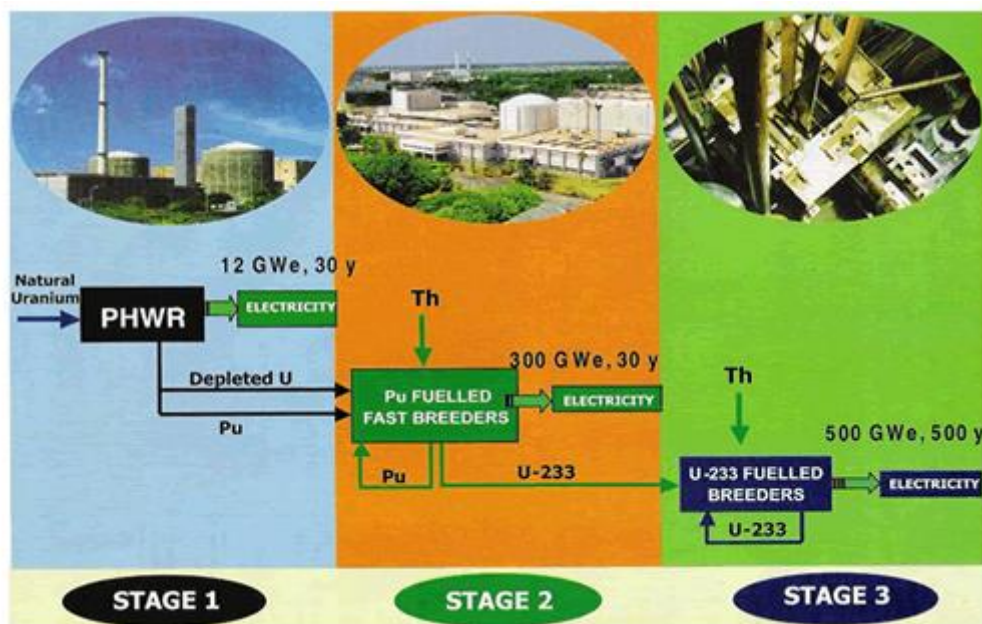


圖 4-1 印度核電燃料循環的三階段計畫

(4)印度原子能科技醫農工應用[51]

在醫學領域之應用有醫院之放射治療、放射診斷、核子醫學藥物及設備等商業用途，放射治療如體外照射(遠隔放射治療)、體內放射(近接放射治療)。

體外照射治療用於控制或消除快速分裂的癌細胞，其必須將正確量的放射線(吸收劑量)傳遞給患者。目前由印度輻射與同位素技術委員會(Board of Radiation and Isotope Technology, BRIT)封裝並提供的9000至12000居里的Co-60射源給印度62個城市中建立的225個遠程治療裝置用於治療癌症。而如今電子加速器亦被廣泛用於放射治療，其可以精確地照射和破壞腫瘤。印度印加拉惹(Raja Ramanna)先進技術中心(RRCAT)開發了電子加速器的遠隔放射治療儀，將電子加速為能量，從6MeV到12MeV不等，該能量取決於腫瘤的深度。對於非常深的腫瘤，電子束可

以轉換為X射線，其等效於Co-60射源的加馬射線。體內放射治療是一種先進的癌症治療方法，其利用細導管將放射性射源放置在腫瘤本身內或附近，向腫瘤提供高輻射劑量，同時減少周圍健康組織中的輻射暴露。高劑量率近接放射療法可以提供僅需幾分鐘的非常精確的治療，如治療前列腺癌，乳腺癌，肺癌，子宮癌，子宮頸癌，頭頸癌。BRIT提供Ir-192和Cs-137等近接放射治療射源來治療癌症。

核醫技術之成像診斷，係利用被注入患者體內的放射性同位素發出輻射，檢測這些放射性並將其轉換為圖像。科學家們已經確定了特定器官吸收的許多化學物質，而開發具放射性的核醫藥物；現印度有多達200種放射性同位素用作生物物質的常規示蹤劑，使該技術成為強大的診斷工具。注入患者體內的放射性藥物會產生一個信號，該信號可以使用加馬相機看到。例如SPECT加馬相機拍攝的心臟圖像記錄了流入心臟所有部位的血液量。這些圖像可幫助醫生確定心臟病的嚴重程度。同樣，正子發射斷層掃描(Positron Emission Tomography, PET)也是一種使用放射性同位素成像的精密技術，PET可以顯示器官功能和其中可能的疾病發展。

核醫藥物方面，Tc-99m是核醫診斷的主力，而I-131則用於診斷和治療甲狀腺疾病。在嚴重的骨癌病例中，注射磷酸鈉(P-32)或可減輕疼痛；另一個重要的放射性藥物釷Samarium-153-可有效緩解絕症患者的疼痛，BRIT向該國近120個核醫學中心提供了這些核醫藥物和相關產品。放射性同位素在醫療保健中的其他應用正不斷研發中。例如，醫院用於心血管放射治療臨床試驗的塗有P-32的冠狀動脈支架、製備I-125以治療眼部腫瘤和前列腺癌、開發Ho-166和Sm-153標記的羥基磷灰石顆粒以治療大中型關節的關節炎。孟買Bhabha原子研究中心(BARC)的放射醫學中心

(RMC)已成為印度核醫學發展的核心，而塔塔紀念中心(Tata Memorial Centre, TMC)隸屬於DAE的機構，其可提供癌症和相關疾病之全面治療，並且是該國最好的放射腫瘤醫學中心之一。每年，來自印度和鄰國近40,000名新患者就診，這些癌症患者中將近60%在醫院接受了初級護理，其中70%以上的患者幾乎免費接受治療。每天有超過1,000名門診患者尋求醫療諮詢、全面護理或後續治療，每年進行近6,300例主要手術，每年提供6,000名患者接受放射療法和化學療法的既定治療。

研發部分則包括正子電腦斷層造影與核醫學，如PET體內核子醫學的診斷和治療研究，閃爍顯像和放射碘療法。為了體外診斷甲狀腺疾病，也正在進行放射免疫測定(Radioimmunoassay, RIA)研究。除了甲狀腺外，還定期進行與各種器官的癌症相關的診斷研究以及心臟，骨骼，腎臟，肺，胃腸道等的功能成像探討。另外如慢性高水平自然輻射對居住在喀拉拉邦高背景輻射區的人口的生物學和健康影響，低劑量下哺乳動物系統中輻射效應的機制，輻射信號和旁觀者效應，腫瘤微環境及輻射和化學治療劑作用的調節，從天然輻射來源鑑定新的輻射防護劑並研究其作用機轉原理，結核分枝桿菌不同臨床分離株與免疫系統細胞的相互作用和診斷試劑盒的開發等。

BRIT使用BARC營運的研究用反應器進行產製，提供印度約1,250家醫院使用的Mo-99、I-131、I-125、P-32、S-35、Cr-51、Co-60、Au-198、Br-82、Ir-192及其他等。另外在印度醫療支出方面，2016年約1,148億美元，由2016-24的年均複合成長率估計為12.0%。

在農業領域之應用，放射性同位素和輻射技術被證明是生物學研究中的有用工具。這可以提高農作物生產力並減少收穫後的損失。研究農產品的輻射加工，重點是新產品的開發以及延長即食蔬菜和食品。此外，

非生物脅迫耐受性的分子機制，用於標記輔助選擇的分子標記技術，基因轉植植物的發育和鑑定，酶微生物技術和害蟲管理研究也正在開展。至於Nisargruna沼氣技術已用於處理家庭和工業有機廢棄物。

主要研究之成果包括，香蕉、甘蔗、菠蘿、馬鈴薯、薑黃、生薑和藥用植物的微繁殖，在香蕉、葡萄和甘蔗中建立了直接和間接體細胞胚接生，細菌和植物抗逆性的細胞和分子研究，轉植基因之植物以改善生物抗性並增強對重金屬的修復，了解*Deinococcus radiodurans*放射球菌和固氮藍細菌*Anabaena*魚腥藻的極強抗輻射性機轉，除蟲或經衛生處理之食品保存，以及出口農產品的檢疫處理。

BARC利用輻射誘變和雜交技術已經開發40種轉基因作物品種，如圖4-2，各種農作物中都有大量突變體，並已在新德里國家植物遺傳資源局註冊，且用於商業種植。目前共有15座輻射滅菌設施用於保存食物營運中，並將增建。輻射照射技術亦促進印度食品出口效益，成為世界上最發達的農作物輸出國之一。

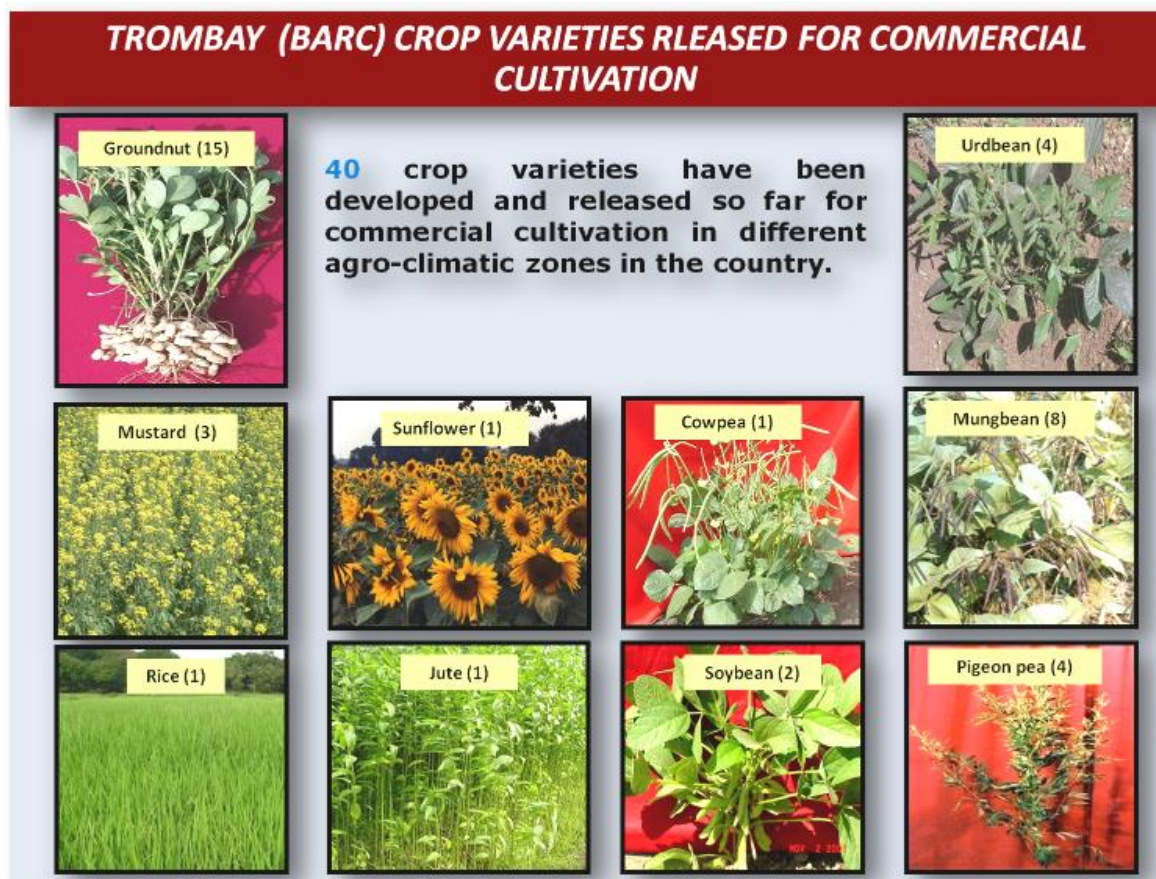


圖 4-2 BARC 利用輻射誘變和雜交技術開發農作物新品種

在工業領域之應用，主要有放射性示蹤劑在工業中的應用、非破壞檢測研發兩部分。放射性示蹤劑在工業中的應用包括：確認地下管線的堵塞位置、地下管道和高壓熱交換器系統中的洩漏檢測、大壩和水體中的滲流位置、流量測量、物質混合/混合時間測量、停留時間分佈測量、磨損率測量、運輸港口的泥沙、在沿海水中廢水的分散情況、油田的有效管理、用於放射性粒子跟蹤技術的流動可視化。印度在該國所有主要港口和港口都進行了放射性示蹤劑調查，以調查其傾倒地點是否適合挖泥和作業優化。在煉油廠的流化催化裂化裝置(Fluid catalytic cracking)中使用La-140和Kr-79作為放射性示蹤劑，以測量固相和氣相的各項參數。

使用Br-82作為二溴代聯苯中有機相的示蹤劑，已成功進行了許多熱交換器中的洩漏檢測研究。並使用放射性粒子示蹤技術在反應器中的流動情形將其可視化。

非破壞檢測之用途普及，可檢驗各種焊接結構、鑄件、組件、鍋爐、壓力容器、管道、核反應器的組件和普通工業產品。BARC工業應用的成功案例如：

- 1.與當地工業合作開發了用於Ni/Cd電池的聚丙烯基輻射接枝電池隔膜，所開發的材料經過用戶在實際電池條件下的測試，產品性能媲美進口產品。
- 2.經原子能科技技術處理的水凝膠可治癒一般外部傷口以及其他難以治癒的傷口(如糖尿病足潰瘍，麻風性潰瘍，動物咬傷等)均非常有效。BARC開發的技術已轉讓給四家製藥公司。
- 3.BARC與瓦都達拉市政公司Vadodara Municipal Corporation合作，將Vadodara的污泥衛生研究輻射照射設置成為技術示範工廠。其利用Co-60射源以3 kGy劑量的加馬射線照射污水，以消滅活病原體。目前，每天處理40立方米的含濕污泥(含4%固體)。
- 4.利用電子加速束和加馬射線技術處理已經開發出許多性能改進的材料。其中包括聚合物奈米複合材料、尼龍交聯的鐵路襯裡、聚乙烯O形環、電池隔板、聚合物襯套、導電聚合物複合材料。
- 5.通過具環境良性水性溶劑的單步輻射接枝技術開發各種功能性聚合物吸附劑，以從水溶液中去除染料。
6. 進行NPCIL電力公司的4.2 g/cc超重密度混凝土試塊標準化製造程序的輻射測試，還對大多數DAE所屬的再處理廠進行了輻射測試，包括Tarapur與Kalpakkam的廢棄物固化工廠(WIP-3A)、高級玻璃化系統

-II(AVS-II)，以檢查各單元的屏蔽能力。

7. 加馬掃描技術可對工業製程塔進行在線故障排除和過程優化。印度幾乎所有煉油廠和石化行業都受益於該技術的使用，成功研究了大約250根直徑在1到9.5米之間的不同類型反應塔的輻射強度對應色譜柱；每次檢查都可為工廠節省大量資金。

BARC目前已努力培訓約有8,000名的工業射線照相人員(其中50%在國外工作)通過按照國際標準定期進行的培訓課程，也協助有500個服務機構，生產放射線照相射源並且出口到鄰國。

在環境領域之應用，環境問題廣義上涉及到如保護職業工人，公眾和整個環境。在職業領域，需要控制對工人的輻射暴露，以符合監管機構規定的法令標準。因此DAE進行以下各方面的綜合開發和應用研究：放射性和化學污染物的環境影響及劑量/風險評估；核燃料循環前端的環境監測和輻射防護；DAE場址的氣象和水文地質調查；模擬污染物在大氣和水圈中的傳播和擴散；廢棄物管理和處置做法的輻射影響評估；建立基準以評估核電活動對亞太區域海洋環境的輻射影響以及相關的放射生態學研究，並建立接受輻射源分配的受體模型。此外，還對即將到來的各種粒子加速器和加速器驅動系統(Accelerator Driven Systems, ADS)進行輻射安全評估。而BARC研發之膜技術已運用於海水淡化處理，此為原子科技在環境領域方面的應用。

同位素和輻射技術的應用尚包括水資源開發和管理，印度同位素水文學實驗室利用同位素技術在北阿坎德邦的高歇地區振興乾燥的溫泉，使約5000村民一年四季得到24小時的水源供應。也在Amaravati區Anjangaon村追蹤地下水保護區，在確定的區域成功鑽探(深度為60m)得到產量約為30,000 L / h並且是常年供應的優質水，可供應給5-6個村莊以供

飲用和灌溉。在Madurai附近、Nalgonda區及蘭契市區等地區則利用同位素水文學技術進行地下水調查及地下水補給。

主要研究之成果包括，開發獨立的環境輻射監測器並通過在線數據通信建立全國監測網絡，目前已在全國建立了100多個環境輻射監測系統，而所建立輻射監測系統亦可以加強國家的核子事故緊急應變整備。另外DAE進行不同地點的環境監測和輻射影響評估外，對所有運營單位亦進行核燃料循環中的環境安全監測，輻射防護和工業衛生監測；監控全國的加馬輻射背景水平、用於測量Rn和Th氣的線上監測儀，通過所有DAE單位之間的鏈接網絡維護系統確保職業曝露劑量，國家應急系統的設計與開發，開發液體閃爍體的beta/gamma系統，用於 β 劑量測量的標準設備和用於確保人員監控質量的自動校準系統等。

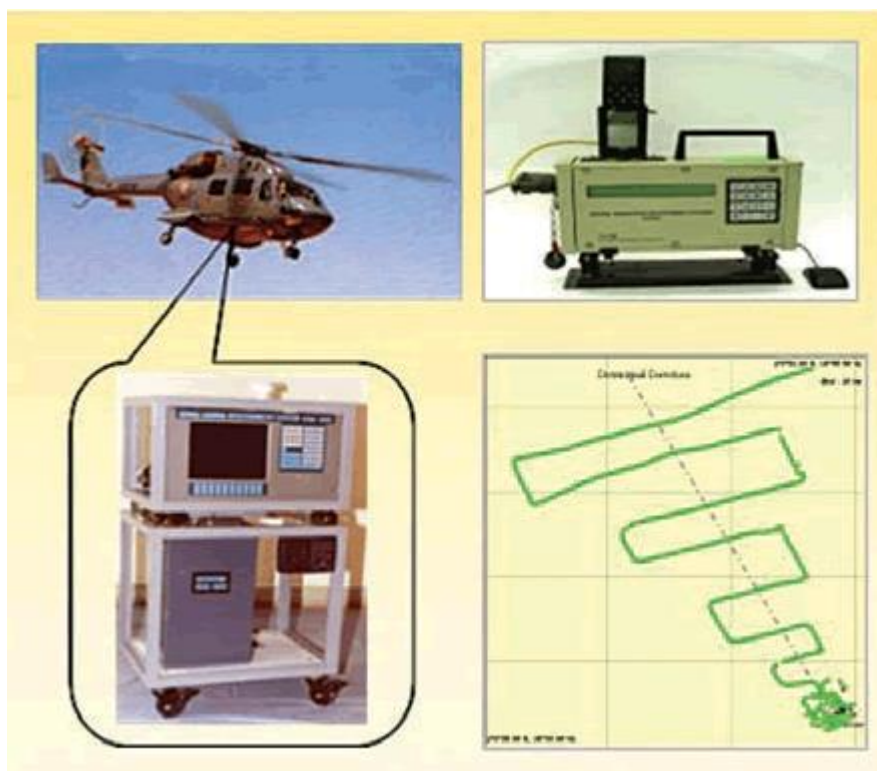


圖 4-3 印度開發空中輻射監測的加馬能譜系統

(5)IAEA在該國的合作交流[52]

通過COVID-19時代的創新與合作以行出更好的癌症護理，醫療保健的各個方面都受到了冠狀病毒大流行的影響，癌症護理也不例外。但它也是提供了快速創新和建立新夥伴關係的機會，2020年10月柏林世界衛生高峰會中，國際原子能總署表示“由於最近的技術進步，放射療法比以往任何時候都更加精確和有效，副作用更少，曝露時間也更少。”而世衛組織的戰略目標是為90%的子宮頸癌婦女提供優質的治療和護理，IAEA合作夥伴的多元化聯盟支持各國在這一議題上的進展與合作動員。印度塔塔紀念中心(Tata Memorial Center)放射腫瘤學教授Supriya Chopra表示近距離放射療法之體內部放射治療是浸潤性宮頸癌婦女唯一可用的治療方法，近距離放射療法是一種內部放射療法，可從人體內部發出輻射-放射源靠近或位於腫瘤內部以破壞癌細胞，同時保留健康的周圍組織。

印度2020年1月已正式加入IAEA中應變和援助網絡(Response and Assistance Network, RANET)，成為網絡中第35個國家，該網絡為各國提供共同援助以減輕核安緊急事故的後果。通過RANET，各國須統計其緊急應變之準備和響應能力，包括對輻射測量、醫療建議或治療等專用設備及支持能力。這使IAEA的緊急事件應變中心能夠根據受緊急情況影響的國家要求而迅速動員援助小組。

核子醫學研究人員的培訓，例如Partha S. Choudhury博士其論著有甲狀腺癌、前列腺癌、乳腺癌和神經內分泌腫瘤等，其獲得IAEA的多次資助；而本身也是技術合作顧問，擔任區域培訓課程的專任教授。

由於核相關分子技術的進步，現在可以準確地選擇和繁殖動物。IAEA 2019年提供了常規的動物鑑定和DNA檢測服務，透過孿生育種計畫幫助

印度南部小農戶改善其本地羊群，提高其繁殖力(每胎出生的羔羊數量)，從而提高羊肉產量。

IAEA於2018年10月於印度舉辦第27屆IAEA核融合能源研討會(FEC, 2018)，透過一系列核融合能源會議，促進了核融合研究與開發方面的科學技術成果交流。在國際熱核實驗反應器ITER組織和歐洲原子能共同體(Euratom)等國際組織的參與下，以及40多個國家和幾個研究機構的合作，為關鍵物理和技術問題以及與使用核融合作為能源直接相關的創新概念提供一個討論論壇。展示核融合電廠的技術可行性以及這種能源生產方法的經濟可行性，核融合現在面臨的新挑戰、解決這些挑戰的方式，以及決定當前和未來幾十年的研究方向。

IAEA的保防協議框架(Safeguards legal framework)，其在與各國的協議中具有法律約束力。根據IAEA的規約，各國通過與IAEA締結此類協議來接受相對保障。全面核子保防協定是指非核武器締約國與IAEA締結不擴散核武器條約和無核武器區域條約。根據該協議，IAEA有權利和義務確保對該國家領土管轄權或控制範圍內的所有核材料實施保障，其唯一目的是查核此類物質不被轉用於核武器或其他核爆炸裝置。而印度於2018年11月8日納入此保防協議框架中。

國際原子能總署2017年3月起擴大與印度的合作，利用印度的新訓練設施的全球中心核能夥伴計畫(Global Centre for Nuclear Energy Partnership, GCNEP)提供培訓機會。在國際原子能總署的協助下，印度還可以向其他國家的專家提供其他研究設施的使用。例如在癌症護理和控制領域，印度已向亞洲和非洲的幾個國家捐贈了Bhabhatron radiotherapy machines放射治療機，並希望與國際原子能總署密切合作，在這些受益國家建立相關的專家人力資源。而印度已建立由100多個癌症

護理中心組成的全國性網格，其中亦配置有高級專家。在國際原子能總署的支持下，印度將擴展該網絡並將其轉換為區域或全球網絡，以便與其他國家的癌症護理專業知識交流。

(6)放射性廢棄物[53]

BARC自1964年在Trombay開始對用過核燃料進行再處理，再分離少量的鈾系元素，確保減少放射性廢棄物的放射毒性，並與地球圈長期隔離。DAE的核循環計畫還包括從用過核燃料中回收戰略材料，以便在用過核燃料再處理和廢棄物管理領域進行再循環和研發。目前有 Trombay, Tarapur 和 Kalpakkam三處的再處理廠，Tarapur的動力反應器燃料再處理廠是在1974年完成建造和測試的，它在運行三年後關閉。BARC還管理在Tarapur的的固體和液體形式的放射性廢棄物處理和安全處置，使用各種化學處理方法來處理低放廢棄物和高放廢棄物。印度是掌握玻璃化技術的少數國家之一，BARC成功地在Tarapur和Trombay兩處用熔化器玻璃固化高放廢棄物。此外，BARC還管理著來自全國各地醫療中心，研究機構和工業部門的廢輻射源。

在Tarapur與Kalpakkam各有一處每年可處理100噸用過核子燃料的再處理場，在Tarapur與Trombay有高放射性廢棄物玻璃固化廠，Tarapur有獨立式用過核子燃料中期貯存設施。

放射性廢棄物於各核子設施暫時貯存，各電廠有低放射性廢棄物近地表處置設施，高放處置計畫則在研發中。

4.2 印尼

4.2.1 國家基本資料

(1)國家基本資料

- 面積：189萬平方公里。
- 人口：2019年2億7,063萬人。
- GDP：2019年1兆1,192億美元；成長率5.0%[45]。
- 電力供應[46,47]：
 - 電源類別裝置容量(Mw)：火力52,622；水力4,868；其他：1,543。
 - 供電體系：國營電力公司負責供電。私人企業得發電後售予國家。
 - 年發電總量：248,613 GWh。
 - 年發電量來源百分比：煤55%；天然氣26%；水力8%；石油6%；再生能源5%。

4.2.2 原子能科技應用概況

(1)核能計畫[48,49]

印尼目前尚無核能電廠，雖印尼1997年即已制定核能法，2014年發布核子設施與核物料執照申請法規；傾向於發展核能，但尚無具體建設時程。2015年3月政府發布至2050年的能源發展政策白皮書，規劃在2025年由核能提供5 Gw電力。但是2017年1月發布的國家能源總體計畫中排除了核能，而是增加石油、天然氣及新能源的比例。

印尼國營電力公司Perusahaan Listrik Negara (PLN)為目前負責供電的單位。

(2)政府研究發展機構[50]

印尼成立核安主管機關 Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN)，並確認National Atomic Energy Agency (BATAN)為核能的研發及推動機關。

國家原子能署National Atomic Energy Agency (BATAN)位於雅加達Serpong，有3部研究用反應器分布在雅加達、萬隆及日惹。下轄十數個研究中心，該三部研究用反應器、兩個燃料製造設施、一個放射性廢棄物設施、幾個輻射發生器、一個放射性同位素生產等設施，分別從事核子資訊發展、核子設備工程、同位素與核醫藥物技術、核子燃料材料技術、放射性廢棄物技術、核子產業材料技術、核子技術品質與標準化、核子設施工程、核子技術夥伴關係、輻射與同位素技術應用、核子安全技術、核子地質發展、核能系統評估、教育訓練及核子科學與技術傳播等任務。而College of Nuclear Technology (STTN)則為人才培育院校。

(3) 印尼核能科技研發[54]

印尼指出目前有關核能科技研發的三項國家優先研究議題，分別是建設商業規模的核能發電站the feasibility of a nuclear power plant (PLTN)、開發放射性同位素和放射性藥物以及建立輻射安全與保安監測系統the Radiation Monitoring System for Safety and Security (SPRKK)。

國家原子能署(BATAN)與電力技術與新能源研發部Research and Development of Electricity Technology、能源和礦產資源部Ministry of Energy and Mineral Resources和加的亞馬達大學Gadja Mada University一起進行關於核能發電廠建置可行性的評估工作，BATAN在2020年3月表示針對該國家優先研究議題，其進行商業規模核能電廠的可行性評估研究，包括各種技術文件、審議程序、規劃之現場和非現場模擬研究等。該項可行性研究是政府賦予BATAN的任務之一，該研究結果將提供給總統決定是否建造核能發電廠之參考。

印尼所擁有的研究用反應器以及其他帶有放射性物質和放射源的設施，這一些設施都使用了核材料(例如：研究反應器，燃料製造，放射性

同位素設施等)，基於這些鈾、鈾和plutonium等核材料的特殊性質，因此需透過使用記錄和核算對核材料進行嚴格控制，並對核材料進行實體監管保護。而此部分權責係由核安主管機關BAPETEN根據1997年第10號、1998年第76號和2002年第26號、第20號總統令來管控印尼核能材料的相關研究、使用、運輸、廢棄存儲等，以防止核材料的使用偏離了原本授權的用途及目的。

(4) 印尼原子能科技醫農工應用[54]

在醫學領域之應用有醫院之放射治療、放射診斷、核子醫學藥物及設備等商業用途，國營公司PT Batan Teknologi (PT-BATEK)，位於Serpong，負責產製醫療與工業同位素(包含Mo-99)。醫療設施中常使用的射源包含Cs-137、Ra-226、及Co-60。另外在印尼醫療支出方面，2016年約273億美元，由2016-2024的年均複合成長率估計為9.9%。

國家原子能署(BATAN)2019年12月透過輻射安全與計量技術中心(PTKMR)在雅加達BATAN的Pasar分區舉辦核醫治療設施的輻射防護和安全研討會，該研討會是國際原子能總署(CRP-IAEA)E23005的活動之一；提供與核醫相關各職業的交流和知識共享的平台，包括核醫學專家、醫學物理學、放射藥物、射線照相師、其他醫院工作人員等；各醫院專業人員間進而建立溝通網絡。因為維護輻射安全不僅是輻射防護人員或醫學物理專家的責任，而且也涉及核醫治療設施各相關專業者的責任。目前，印尼有15家擁有核醫學設施的醫院遍布在印尼各個地區。雅加達地區的6家醫院分別是Pertamina中心醫院，MRCCC Siloam醫院，Gading Pluit醫院，Cipto Mangunkusumo醫院，Dharmais癌症醫院和Gatot Soebroto陸軍中心醫院。雅加達以外的9家醫院，分別是Hasan Sadikin醫院(萬隆)、S Santosa(萬隆)、Adam Malik醫院、Djamil醫院(Padang)、Abdul Wahab

Sjahanie 醫院(Samarinda)，、Ulin 醫院(Banjarmasin)，、Sutomo 醫院(Surabaya)，、Kariadi 醫院(Semarang)和薩吉托醫院(日惹)。至於將建立的核治療醫療設施醫院，包括Bhakti Dharma Husada醫院(Surabaya)，Adi Husada癌症中心醫院(Surabaya)，Moewardi 醫院(Surakarta)，Harapan Bunda 醫院 (Lampung)，Bali Mandara 醫院 (Denpasar) 和 Sandi Karsa Hospital(Makassar)。

而BAPETEN在該研討會上亦傳達政府如何幫助與核醫學或放射療法有關專業人員、法令規範的訊息。另外PTKMR BATAN亦作為衛生部門輻射防護領域的技術支持組織，PTKMR在提供各種核醫學設備之校準服務起著重要的作用，包括劑量校準儀的校準，輻射劑量計(TLD)等設備量測的適用性測試。PTKMR除了工具校準之外，也與印尼核醫學協會合作執行研發計畫。

今年因為COVID-19大流行中，BATAN的安全技術和輻射計量學中心(PTKMR)透過實施嚴格的健康衛生協議，仍繼續開放對外的服務。並於2020年10月舉行使用公眾的線上討論會議，其除提供的有關校準、與輻射計量相關的最服務外，並保護公眾和原子能科技用戶免受因使用放射性物質或放射源而引起的各種可能的曝露風險。

國家原子能署BATAN規劃在2020年至2024年間研發5種放射性同位素和放射性藥物產品的目標，BATAN受政府委託擔任2020-2024年3個國家研究重點研究議題(PRN)，其中一項是在醫學衛生領域，即放射性同位素和放射性藥物的開發。在核醫學中使用放射性同位素和放射性藥物之兩個用處，即用於診斷和治療，例如用於癌症，它們的使用量與時持續增長。迄今為止，印尼對放射性同位素和放射性藥物的產品需求90%由國外進口；因此，自2019年以來BATAN的主要計畫之一就是振興國內放射

性同位素和放射性藥物行業之生態系統，使該國放射性同位素和放射性藥物的生產將增加，以便可以逐漸替代進口。因此放射性同位素和放射性藥物技術中心(PTRR)目前正在開發用於治療癌症的放射性同位素和放射性藥物，例如Mo-99 / Tc-99m，基礎放射性藥物PSMA，套件放射性藥物nanokoloid HAS，套件放射性藥物EDTMP和MRI造影劑。其中Mo-99 / Tc-99m、PSMA、HAS奈米放射性藥物套件此3種係有望替代國外進口的產品。目前，放射性同位素Tc-99m已廣泛用於癌症診斷，也可用於心臟和腎臟的診斷。PSMA(前列腺特異性膜抗原)的放射性藥物被用於前列腺癌的診斷和治療，而Lu-177-PSMA則用於治療，其對體內放射性藥物的分佈成像結果也可用於確定癌症細胞在體內擴散的最新狀態。Nanokoloid HSA放射性藥物試劑盒，用於診斷癌症向淋巴結的擴散(淋巴造影)，尤其是乳腺癌的擴散。同時，EDTMP放射性藥物試劑盒是用於姑息治療骨癌的新一代放射性藥物。用於MRI造影劑的g基造影劑是在研發時會使用的放射性同位素/放射性示蹤劑，而其最終產品是不含放射性同位素。

BATAN之放射性同位素和放射性藥物技術中心PTRR，研究人員使用核反應器或加速器/迴旋加速器生產人造放射性同位素，以用於核醫藥物的生產，也可用於醫療應用的放射性示蹤劑。使用的放射性示蹤劑將被注入到人體內，如用於SPECT加馬發射的放射性示蹤劑和用於PET正子發射的放射性示蹤劑。這種放射性示蹤劑的應用對於早期檢測非傳染性疾病非常有用，特別是癌症。用於核醫學的放射性同位素中有百分之八十五是Tc- 99m，因為它的能量達到140keV加馬，非常適合診斷過程，並且對器官的滲透非常好。

BATAN利用原子能科技成功研發的核醫藥物有以下6種，1.用於診斷心臟功能的MIBI(methoxyisobutylisonitrile)，其用於心肌灌注和心臟功能

診斷的放射性藥物。2.用於骨骼診斷的MDP(二膦酸二甲酯)以了解骨骼上腫瘤的擴散、原發性骨腫瘤、骨骼感染和骨骼代謝疾病。3.用於診斷腎功能的DTPA，用於腎臟成像，以評估腎臟灌注和確定GFR(腎小球濾過率)的技術。4.用於轉移性癌症患者姑息治療的¹⁵³Sm-EDTMP核醫藥物，該製劑可以替代嗎啡，以減輕癌症患者在骨頭中所感受到的疼痛。5.用於神經母細胞瘤的診斷和治療的¹³¹I-MIBG(metaiodobenzylguanidine)核醫藥物，可以檢測神經母細胞瘤癌症其擴散情況。6.用於實體瘤治療的¹²⁵I-Seed Brakhiterapi核醫藥物，屬於乳腺癌和前列腺癌治療的低劑量射源，植入到癌組織中對周圍的正常細胞影響很小，並且在治療中不需要住院。

在農業領域之應用，包括食用植物優良品種改良、施肥效率、植物病蟲害防治、飼料配方、輻照疫苗、畜牧繁殖、寡殼聚醣加工食品等。而BATAN之同位素和輻射技術應用中心(PAIR)主要進行同位素和輻射技術的開發和應用，包括培養突變之育種，昆蟲不育技術(TSM)，放射免疫技術(radioimmunoassay RIA)，生物組合工程，產品的滅菌和消毒，輻射材料聚合，食品和藥物材料的保存，地熱同位素，水文同位素，非破壞檢測(NDT)以及輻射安全服務等。

BATAN之Gamma Merah Putih輻射器(IGMP)設施以商業規模提供輻照服務滿足各種需求的輻射，IGMP設施裝機容量為300 kCi，操作模式包括分批和連續。該輻照服務之加馬射線可以應用於醫療產品或醫療設備、食物滅菌等。一般在生產供應食用的新鮮食品過程中有被微生物污染的潛在可能，除了被微生物污染導致食物變質或引起疾病外，食物中發現的昆蟲也會造成食物損壞，因此透過輻照減少或釋放有害微生物來提高食品安全性。

基於輻射滅菌是非常成熟的技術，在COVID-19大流行期間，包括印尼在內的許多國家已經充分應用該技術。為了討論這相關問題，BATAN透過同位素和輻射應用中心(PAIR)於2020年8月舉行了“同位素和輻射應用在草藥健康產品的滅菌”線上研討會，通過現場直播之視頻會議探討此輻照滅菌。BATAN負責人表示印尼只有兩個加馬輻照器的照射廠，一個是BATAN擁有的，另一個是私營部門擁有的。IGMP輻照廠於2017年成立以來，一直致力於輻照保健品、草藥產品以及食品等各種產品。許多產品都是用於出口的產品，因此輻照服務在國家出口方面貢獻不小。此外，BATAN中有4個輻射能量較小的輻射器，但主要用於研究活動。他認為若與越南相比，越南擁有8個輻射器設施，5個加馬輻射器，其餘的是電子加速器，超過了印尼。由於印尼的面積大，生產的產品很多，因此輻照廠設施仍然不足。

農業改良也是印尼支持的優先研究活動之一，在2020-2024年國家戰略計畫中，PAIR在農業方面的活動重點是研發高生產率的新品種。而國際原子能總署(IAEA)亦將BATAN設為其原子能科技的研發機構，作為突變育種和非破壞性檢測研究領域的卓越中心；表示印尼在這兩個領域的驗發能力都得到了國際認可。PAIR表示植物育種分為國家和地方兩種植物育種，對於水稻品種的國家方面育種，重點是提升產量質量，而對於地方方面，重點是水稻口味；PAIR已與Kerinci Regency，Musi Rawas，Klaten，Sijunjung，Solok，Tabanan，Buleleng和Landak等地方政府合作開發了當地水稻品種，使口味受到當地社區的青睞。

另外農民需要原子能科技來改善他們的福利，BATAN於研究與開發成果推廣活動時將其研發之試驗水稻種子技術移交給Sagoe村的Paya Kareueng農民小組、Cot Keumude村的Bungoeng Meulu農民小組等代表們。

通過原子能科技之輻照突變技術生產了27個水稻品種，除了提供這些優質種子，也分享和幫助農民有關水稻種植發展的知識。

BATAN於農業之研發包括有水稻植株研發，提高對害蟲的抵抗力、不易掉穀。開發可適應貧脊邊緣土地的大豆植物和黑大豆，以及動物飼草作物的替代品。如高粱的育種，BATAN已經研發生產了3個高粱品種，分別是Pahat，Samurai 1和Samurai 2；目前，BATAN還正在開發其他3個高粱品種，分別是G5，G7和G8。並生產生物性乙醇，還開發了觀賞植物，如抗銹病的菊花。除此之外，BATAN於2020年7月舉辦“原子能科技應用在動物生產和健康改善”之線上研討會，表示原子能科技已應用於生活的各個領域，例如利用原子能科技提高動物生產力，以飼料改良、生殖管理和牲畜健康促進等方式支持國家牲畜計畫。印尼對肉，蛋和牛奶等牲畜生產的需求每年都在增加，但其國內生產只能滿足20%的需求。故應用原子能科技於反芻動物以人工授精和疫苗開發等，有益於牲畜的健康和繁殖，希望它可以增加牲畜的產量並增加農民的收入。PAIR特別提出用於製造疫苗的Co-60加馬射線輻射，其用於減弱(弱化)微生物(活疫苗)或滅活(殺死疫苗)，但不會破壞抗原蛋白的結構，因此該候選疫苗仍可在家畜中引起免疫或抗體反應。如果使用加熱或添加甲醛等其他技術，這將破壞微生物或疫苗材料周圍的抗原蛋白結構，從而產生對某些疾病不具有特異性的抗體。而輻射由於具有強大的穿透力但又不會破壞抗原蛋白的結構，因此可以產生特異性抗體。BATAN研發多種疫苗，其中包括用於法西斯病的放射疫苗，法西斯病是一種由巨大的Fasciola gigantica寄生蟲引起的反芻型肝蟲，可降低牲畜的生產力。其他放射疫苗，如針對亞臨床乳腺炎的疫苗，通常是無乳鏈球菌引起的乳房炎(乳腺)炎症性疾病。以及仍處於研究階段的布魯氏菌病放射疫苗是由流產布魯氏菌引起的克盧

隆病(流產)，這種流產疾病在牛中具有傳染性。

另外放射免疫測定(RIA)技術，可用於檢測牛隻血清或牛奶中的激素黃體酮濃度，這是提高家畜繁殖效率的一種方法。可以掌握牛的青春期、發情症狀，診斷早孕、支持人工授精程序以及診斷牲畜的生殖系統疾病。

原子能科技在農業中的應用之一是確定植物營養動態的同位素示蹤技術，眾所周知，植物生長和發育需要16種營養素，包括空氣和水中的碳，氫和氧，以及土壤礦物質和土壤有機質提供的氮，磷，鈣和其他10種元素。也來自添加有機和無機肥料。PAIR BATAN確認同位素示蹤技術能夠有助於計算出植物生長和發育中的各種營養素來源及營養素存在百分比。從質量上講，同位素示蹤技術能夠提供動態信息或營養物的傳輸，以及從土壤中的營養物源到植物中的營養物存儲。一般非同位素方法研究中，可以獲得有關植物吸收了多少氮的數據；但是無法區分氮來自土壤中或肥料的氮源。利用同位素示蹤技術可以找出植物中的氮含量多少百分比是從提供的肥料中獲得的，還是從土壤或是其他使用的耕種技術中得到。此可以對於肥料施用或肥料技術的有效性提出了建議。由農作物生產率、土地生產率進而保持水平；而肥料或養分的使用效率(EPP)表明植物吸收某些元素的量與施用於植物的含有某些元素的肥料的量之比。

在工業領域之應用，除農業外，核科學技術還廣泛用於工業領域，包括非破壞檢測NDI、大壩洩漏、地熱潛力探勘、井測、工業煉油廠技術單元的優化、環保塑料複合材料、天然橡膠-苯乙烯輻照共聚物。其中之一是非破壞檢測，它可無需停止正在進行的生產過程中進行各設備/設施的檢測。此檢測如放射照相技術，加馬掃描，加馬斷層掃描和放射性示蹤劑，可應用於各行各業，包括化工，石化，金屬加工/汽車/重型設備，

石油，能源，金礦開採，航空工業。另外NDI BATAN研究團隊更以方便攜帶式的檢測標準設備，其原理為放射線照相技術，加馬掃描技術，加馬層析成像技術和放射性示蹤劑技術，以用於測試耐火抗震建築結構。也研發一種塗覆有聚合物材料並經過輻照的建築結構，以提高建築結構的強度並更耐水的環境。

原子能科技在工業領域的應用包括有封閉射源和開放射源兩類，封閉射源技術包括射線照相技術，加馬掃描技術，加馬斷層掃描技術和中子反向散射技術。而開放射源技術即為放射性示蹤劑，放射性示蹤劑在工業上的用途類似於核醫學在人體的用途；在工業中可用於流量及混合效率的測量，管道洩漏識別，並可進行建模。其優點之一是可以用於檢測工廠安裝中的管道是否堵塞或洩漏，而無需停止生產過程。BATAN同位素與輻射應用中心(PAIR)於2020年10月舉辦“工業與環境中的原子能科技應用”網絡研討會，其中舉例，印尼國家石油和天然氣公司(Pertamina)藉此技術發現雅加達Tanjung Priok港口的地下管道洩漏，印尼電力公司Pembangkit Suralaya，也藉此檢測到其氨轉化器發生洩漏。

而有關放射性同位素亦應用於地熱能源鑽探計畫、石油工業中的應用材料、微塑料廢棄物的放射性示蹤劑等方面。BATAN之PAIR於2020年6月舉辦“應用原子能科技製造功能材料”的線上研討會，指出同位素和輻射技術在功能材料中的應用已達到社會的各個層次，然一般民眾並不知道原子能科技在此過程中的用處。例如，使用同位素和輻射技術在製造低聚殼聚糖材料、可生物降解的塑料和吸水材料上。利用原子能科技生產脫乙酰殼聚糖的材料，該材料用於農業，即作為植物的促進劑，可提高辣椒植物的質量。印尼有很多次優地區，在雨季，水迅速流動，沒有被土壤吸收和儲存，因此土地沒有生產力。使用原子能科技可以製造出

吸水功能材料，然後將其灑在這些土壤上，從而使該地區的土地能夠吸收水並提高農作生產力。原子能科技製造之功能材料，尚有用於塗層的功能材料(如抗刮擦性)，用作填充劑的填充材料，或者還可用作添加劑。

在環境領域之應用，包括有環境監測、環境除汙、土地侵蝕率、泥沙估算、地下水入滲率、地下水/地表水間相互作用、湖泊水平衡、古代氣候等。

輻射監測方面，印尼表示，近年來放射性物質使用量迅速增長，因此有必要監測放射性物質的流量。BATAN規劃及執行2020年至2024年開發輻射安全與保安監測系統SPRKK，針對每種放射性物質及流量進行控制，而印尼所有的放射性物質及各監視結果必須定期報告給監督主管機構BAPETEN。SPRKK其跨單位間協調合作，執行環境中或與公共安全相關的戰略位置處，如港口等設置監測系統以監視其輻射曝露值。目前在Belawan，Bitung，Batam，望加錫，泗水和雅加達的港口安裝門框檢測器，一個港口安裝6-7個監視器，以確保跨國界的貿易都是安全的。而藉著該輻射監測系統，萬一發生輻射源外洩等各種非預期事情，該監測系統可以提供預防或早期警報的功能。其除了結合各港口關務系統，也包括運輸系統之車輛監測、廢棄物管理中心、保安系統等，為國家級整體的輻射監測系統。監測設備方面亦結合靜態監測如門框檢測器、動態監測如手持式監測器等，監測對象也用於監測靜止設施、區域及移動運輸車輛等。在該系統中，也結合印尼核設施工程中心PRFN，同時掌握了現今工業和衛生部門的射源利用許可證總數為13,964，這可以瞭解全國射源的使用情況。

環境除汙方面，印尼宣布其在2020年初發現Tangerang市Setu區的

Batan Indah的放射性物質曝露量超過閾值水平，Bapeten使用核探測器設備和先進技術清理、淨化輻射污染的土地。另外，高靈敏度移動探測器記錄到16棵樹木的輻射曝露超過閾值。其實施除汙過程中，產生906桶100升和150升的桶裝被放射性物質污染的土壤，19桶裝使用過的個人防護設備(PPE)，25桶裝草。在進行土壤疏通和樹木砍伐的淨化過程之後，2020年10月22日宣布該受污染的土地修復後可以安全地供當地居民使用，而也為汙染地區附近的居民提供全身健康檢查服務。清除污染過程的桶裝的土壤和植被，目前都存儲在位於Serpong核區放射性廢棄物技術中心(PTLR)的臨時放射性廢棄物儲存區。

(5)IAEA在該國的合作交流[55]

大豆產品是印尼的主食，也是大多數人口的重要蛋白質來源。印尼每年消費超過200萬噸大豆，但國內僅生產約80萬噸，故印尼需依賴大豆進口。IAEA協助印尼政府透過原子能科技開發的新大豆。政府2018年由BATAN同位素與輻射應用中心，啟動了振興全國大豆產業的計畫，四管齊下的計畫包括土地優化利用，改良生產品種，病蟲害防治和耕種方法。使用由BATAN並與IAEA、聯合國糧食及農業組織(FAO)合作開發的新大豆品種，在過去的三十年中，BATAN通過植物突變育種開發了12個大豆品種。

印尼於2020年9月23日和IAEA簽訂2021-2025年國家計畫框架(Country Programme Framework (CPF) for 2021–2025)，該國家計畫框架是IAEA與成員國之間技術合作中期計畫的參考框架，並確定優先執行的原子能科技和技術合作資源，以支持其國家發展目標。印尼確定的六個優先領域：1.輻射安全與保安2.糧食和農業3.健康與營養4.水與環境5.能源與工業6.基礎建設。

在2020年5月IAEA捐助印尼RT-PCR(即時-逆轉錄-聚合酶鏈反應)的病毒檢測設備，以用於懷疑受COVID-19感染患者的擦拭檢體做檢測，可預防或降低該疾病的傳播。該設備除了COVID-19檢測，尚有中東呼吸綜合徵冠狀病毒(Mers)、寨卡病毒、埃博拉病毒等檢測。印尼BATAN是獲得類似儀器援助的50多個國家之一；除了RT-PCR設備外，IAEA還提供印尼實驗室工作人員的個人防護設備等其他援助。

IAEA亞太地區的20個成員國及32名代表於2020年2月技術合作協調會議中宣示加強對亞洲及太平洋地區文化遺產文物的保護，而印尼國家原子能署BATAN於2月10日與該國國家考古研究中心簽署合作備忘錄(MOU)，以支持利用原子能科技來保護具有文化價值的古物、文化遺產，並加強該國輻射專家與博物館、美術館和其他負責文化價值項目的當局共同合作。

設置和維護研究反應器是一個複雜的過程-從選址、設計到核燃料的調試、反應器運轉和維護，在此過程的每個步驟中，各國都可以要求IAEA提供同儕評審服務，以協助它們加強核安全與維持研究反應器的性能，確保有效和可持續地使用。IAEA於2019年在印尼進行OMARR (Operational and Maintenance Assessment for Research Reactors)同儕評審任務，幫助整個設施在其生命週期內實現所有財務和人力資源的最佳利用，提供有關燃料與功率轉換相關運轉和維護、品質保證、管理系統等改善建議。預期結果包括更有效的長期運營，更好的性能，改善的安全和安全文化以及優化的人力和財力資源利用。

IAEA亞太地區的18個成員國及40多位法律顧問、官員和專家於2019年8月參加了IAEA與印尼核能監管機構BAPETEN(Badan Pengawas Tenaga Nuklir)合作舉辦的核能公約相關法律之研討會，討論關於保障核

安和和平利用原子能科技等應用領域的國際公約和國家法律框架。

IAEA的保防協議框架(Safeguards legal framework)，其在與各國的協議中具有法律約束力。根據IAEA的規約，各國通過與IAEA締結此類協議來接受相對保障。全面核子保防協定是指非核武器締約國與IAEA締結不擴散核武器條約和無核武器區域條約。根據該協議，IAEA有權利和義務確保對該國家領土管轄權或控制範圍內的所有核材料實施保障，其唯一目的是查核此類物質不被轉用於核武器或其他核爆炸裝置。而印尼於2017年9月25日納入此保防協議框架中。

(6)放射性廢棄物[53]

放射性廢棄物技術中心(Center for Radioactive Waste Technology，PTLR)隸屬BATAN位於Serpong，負責研究用反應器用過燃料貯存，以及全國放射性廢棄物接收、處理及貯存。密封廢射源原則上運返原製造國，用過核子燃料將運返美國。

國家原子能署(BATAN)透過放射性廢棄物技術中心(PTLR)於2020年5月開發出整合e-Lira與Balis兩套公眾服務的系統以提高放射性廢棄物處理服務的品質，e-Lira與Balis是將BATAN和Bapeten這兩個放射性廢棄物處理與管理放射性物質使用相關機構的管理系統做整合。此項創新整合系統中將減少許可和處理放射性廢棄物的幾個填報管理步驟，但不會忽略安全和保障方面。根據印尼1997年的核能第10號法律和2013年關於放射性廢棄物管理的第61號法律，放射性廢棄物管理是BATAN通過PTLR進行的。因此，PTLR在整個印度尼西亞唯一提供放射性廢棄物處理服務的機構；而Bapeten作為授予放射性物質使用許可證的機構，其需掌握整個印尼的放射性物質使用量數據。基於2020年初發現Batan Indah地方的放射性廢棄物質污染，故研發將e-Lira與Balis整合，放射性物質自使用申請至

成為廢棄物以及放射性廢棄物之間的轉移都會自動發送到Bapeten，這中間的量數據具可追溯性；旨在獲取有關放射性廢棄物生產者的確切數據，也利於PTLR管理放射性廢棄物。這整合系統將持續不斷發展，將對BATAN和Bapeten這兩個機構以及用戶們都產生積極正面影響。

4.3 馬來西亞

4.3.1 國家基本資料

(1) 國家基本資料

- 面積：33萬平方公里。
- 人口：2019年3,195萬人。
- GDP：2019年3,647億美元；成長率4.3%[45]。
- 電力供應[46,47]：
 - 電源類別裝置容量(Mw)：火力25,732；水力6,137；其他：1,220。
 - 供電體系：國營企業供電。
 - 年發電總量：156,660 GWh。
 - 年發電量來源百分比：煤44%；天然氣41%；水力13%；石油1%；再生能源1%。

4.3.2 原子能科技應用概況

依據馬來西亞專家 Prof. Subapriya Suppiah (Nuclear Medicine Perceptorship, Department of Nuclear Medicine, National Cancer Institute)協助收集所提供的資料，如圖 4-4；顯示馬來西亞一年平均約花費 13 百萬美元在原子能科技之研發與應用上，其中水資源及環境保護方面經費佔原子能科技技術經費的百分比是 15.4%、保安方面經費佔原子能科技技術經費的百分比 7.7%、核知識推廣與溝通方面佔 3.8%、工業應用方面經費佔 38.5%、

醫療及衛生應用方面經費佔 15.4%、農業應用方面經費佔 15.4%、核能發電相關研發方面經費佔 3.8%。

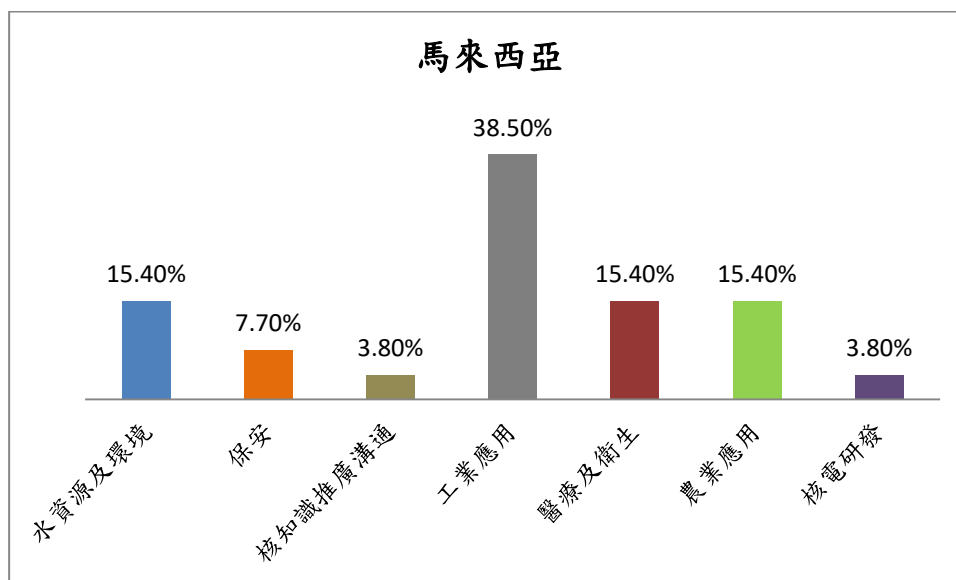


圖 4-4 2019 年馬來西亞各原子能科技項目之經費使用分布

(1)核能計畫[48,49]

馬來西亞目前尚無核能電廠，其自1980年代以來，由於經濟的快速增長，電力需求迅速增加。自1995年至2011年，用電量增長了兩倍。2015年制定的馬來西亞計畫(MP)顯示，電力供應將從2010年的約1082億千瓦時增加到2020年的約1919億千瓦時。其目標策略之一是「促進供應來源的多樣化」，其中，為了確保替代能源的安全，馬來西亞政府將進一步研究引進核能發電。核電公司MNPC在2013年宣布，其預計將在2021年之後開始建造核子反應器。

2011年1月成立Malaysia Nuclear Power Corporation (MNPC)，在當時政府初步擬定發展核能發電政策，即規劃在2021年引進第一部核子反應器，並在2022年引進第二部核子反應器。但在2018年時，馬來西亞總理

否定使用核能發電的可能性。

主要法規為 Radioactive Substances Act 1968 與 Atomic Energy Licensing Act 1984。核安與輻防主管機關 Atomic Energy Licensing Board (AELB) 成立於 1985 年。

(2) 政府研究發展機構[50]

Malaysian Nuclear Agency 為主要研究機構，位於 Putrajaya，隸屬 Minister of Science, Technology and the Environment。有 1 部研究用反應器 RTP (Reaktor TRIGA PUSPATI)，1982 年 6 月 28 日達到臨界狀態，1984 年投入運轉。另有非破壞檢測實驗室、電子束處理服務中心、加馬照射廠、游離輻射實驗室、標準劑量實驗室、同位素生產實驗室、環境實驗室、分析化學實驗室、放射性廢棄物管理中心等。

(3) 馬來西亞核能科技研發[56]

Malaysian Nuclear Agency 馬來西亞核能局聚焦在六個領域之研發，包括-醫療相關原子能科技，水資源、廢棄物與環境相關原子能科技，工業原子能科技，輻射技術，核反應器技術，農業和生物科學之原子能科技。在 2018 年期間，完成 13 件研究產品製作、7 個技術製程、22 個作業程序書、建置 6 個數據資料庫和開發 5 個軟體；也發表了 590 份文章，包括書籍、期刊論文、研討會議論文等。

研究用反應器 RTP (Reaktor TRIGA PUSPATI) 的能量為 404 MW / 小時，已安全運轉支援研發、樣品輻照、人力培訓等各種許可活動。在 2018 年，累計操作時間為 657 小時，共進行 157 種的輻照應用，共輻照 1848 個樣品。RTP 也致力於履行其作為專門從事原子能科技人員的培訓和教育中心之用，2018 年來自政府機構、私人公司、大學生和外國訪客等 1,568 位訪客參觀該設施。

(4)馬來西亞原子能科技醫農工應用[57]

在醫學領域之應用，在馬來西亞，乳腺癌是女性最常見的癌症死因。為了安全和準確的乳腺癌診斷程序，正子斷層掃描(PET)與電腦斷層掃描(CT)結合是一種功能強大的核醫成像技術，可以提供腫瘤的3維解剖結構影像。而PET / CT需要Ga-68標記的胜肽Ga-68 radiopeptide來診斷乳腺癌，核能局發展使用微型PET / CT進行肽合成、冷凍乾燥、發射正子的放射性核標記和成像的技能，以提供更好的癌症影像診斷和治療。使用PET進行早期癌症檢測，因為早期檢測可以挽救生命，並可以減少其他更具侵入性的醫療支出。

馬來西亞核能局研製用於寵物感染和炎症成像的檸檬酸Ga-68，Ga-68是一種發射正電子的鎳同位素，其可以提供更好的圖像而用於PET診斷程序。核能局研發確定檸檬酸Ga-68的最佳放射性標記條件、檸檬酸Ga-68使用在大鼠檢測炎症和感染中的特異性和敏感性，並開發商業可用的檸檬酸Ga-68標籤的試劑盒。

多種受體和抗原在人類癌症的發生和進展中起重要作用，這些生物標誌物在腫瘤檢測之疾病監測和治療評估具有前景，而奈米凝膠可作為治療和診斷成像劑。其中胃泌素釋放肽受體(gastrin-releasing peptide receptors, GRPR)在幾種癌症(例如前列腺癌，乳腺癌，肺癌和胃腸道癌)中被發現，核能局採用分子成像技術，特別是正子斷層掃描(PET)來評估GRPR新型放射診斷劑的研發。為了進一步增強試劑的靶向能力，使用奈米級載體來促進受體的親和力，並提升成像圖像的高品質和高對比度。為此，使用電子束開發了奈米凝膠，並將其用於診斷中成像的奈米載體。

輻射技術為馬來西亞的社會經濟發展有另一巨大的貢獻是醫療工具

包的滅菌，例如導管，手術手套，注射器以及避孕器等。馬來西亞1989年，在政府提供的預算下，委託一家加馬滅菌廠進行研究，並為橡膠醫用手套和其他醫療產品行業提供服務。後續1993年由民間公司建立一商業化輻照廠，2000年及2015年陸續新增加馬輻照廠的服務。而醫用手套和其他醫療產品經滅菌後的出口收入已從2010年的14億增長到2015年的21億。

馬來西亞核工業公司自1984年以來一直從事醫院用核醫學的研究和開發，並生產了諸如Tc-99m和I-131之類的放射性藥物。當時馬來西亞只有2個核醫學中心。90年代初，馬來西亞核工業公司常規生產用於醫院的放射性藥物，隨著需求的增長，建立了更多的中心。而2015年時馬來西亞有20多家使用原子能科技進行診斷或治療的醫院。

馬來西亞醫療支出方面，2016年約132億美元，由2016-2024的年均複合成長率估計為11.0%。

在農業領域之應用，馬來西亞利用輻照和原子能科技改善食品安全性，同時進行農作物改良，開發輻射育種產品、農業生態系統管理等以提高生產力。當前因應氣候變遷，農作物改良的重點是大米、香蕉、菠蘿、洋麻和甜葉菊；而也對觀賞植物進行研發，如蘭花、菊花、芙蓉等。農業生態系統管理研究的另一重點是使用穩定同位素和放射性示蹤技術進行土壤、水分和養分的管理，而針對草藥、真菌等使用輻射技術進行生物聚合的產品改良。主要研究包括：輻射育種以開發可適應氣候變遷的糧食作物，體外誘變以生產具有功能特性的高價值園藝作物和草藥植物，結合輻射技術和生物技術開發作物改良的新育種技術，使用分子標記鑑定突變植物及其功能特性，探討輻射對植物的影響，評估農業生態系統中生物區放射性核種間的相互作用，放射生態學有關的生物多樣性

研究。

在馬來西亞，衛生部已根據《2011年食品輻照條例》批准了該技術並銷售輻照食品。2011年，馬來西亞核能公司輻射了約300噸食品，到2015年已增長到1,000噸以上。輻照的食品範圍包括香料，藥草以及冷凍食品。而美國農業部(USDA)要求對從馬來西亞進口的新鮮水果進行輻照，以確保它們沒有昆蟲並符合植物檢疫程序。馬來西亞農業部一直與馬來西亞核能局密切合作，輻照紅毛丹，並獲得美國農業部核可，以便將其出口到美國。

在工業領域之應用，

利用輻射將合成或是天然的聚合物改變其性質，例如聚烯烴，天然橡膠，棕櫚油，澱粉，纖維素等；將水凝膠的殼聚糖，經原子能科技後作為載體的微奈米凝膠，組織支架，智能材料，生物傳感器等，可應用在汽車，醫療保健，農業應用和其他工業部門上。研發上包括：奈米水凝膠的輻射加工、電纜應用聚合物的輻射交聯、奈米生物膜的原子能科技技術處理、殼聚糖及其衍生物的輻射加工、天然聚合物的微粒和奈米粒子的輻射形成、通過微立體光刻技術開發用於身體組織的3維組織支架。

聚合物和複合材料的合成，利用原子能科技合成天然橡膠、木質纖維素材料等合成聚合物、工業添加劑、填料，以微/奈米尺寸共混來開發新材料，以應用於汽車、建築和工業上。而工業廢聚合物(塑料和橡膠)的原子能科技技術處理是一個趨勢，對環境和經濟具有重要性，特別是將這些廢棄物回收再利用。研發上包括：奈米粘土EVA-NR及PP的輻射交聯、透過輻射交聯的高分子化合物，如空果殼、橡膠樹和洋麻的天然纖維複合材料。

輻射固化與合成研發，以輻射固化天然聚合物(如棕櫚油)的新型樹脂，可用於塗料、印刷油墨和粘合劑，如使用微/奈米顆粒進行硬塗層、高耐刮痕和高耐磨性的各種工業用的塗料。包括：奈米二氧化矽複合塗層的輻射固化、木材及Cemboard塗料的輻射固化、棕櫚油丙烯酸酯和液態天然橡膠丙烯酸酯的合成及其應用。

輻射嫁接與保護技術，原子能科技應用在工業廢水，揮發性有機化合物和固體廢棄物處理的研發。目的是回收、再循環、再利用，減少廢棄物並進行安全處理，包括：工業廢水的原子能科技技術處理，以天然聚合物作為金屬離子吸附劑的輻射接枝聚合物，輻射改性的聚合物材料，用於生物柴油生產中催化劑的聚合物材料輻射接枝，膜燃料電池和太陽能發展中高分子材料的輻射接枝。

馬來西亞利用天然橡膠膠乳的輻射硫化，其是使用游離輻射來硫化天然橡膠膠乳的方法，硫化是指在乳膠內的橡膠分子之間引入化學鍵以形成三維網絡的過程，該三維網絡能夠增強乳膠的彈性和整體機械性能。通常，三維網絡係將膠乳與硫一起加熱來實現硫化，而輻射硫化是一種無硫的硫化方法。僅將天然橡膠膠乳以高能游離輻射(例如加馬射線或電子束)照射，在輻照之前，丙烯酸酯單體和穩定劑將被添加到天然橡膠膠乳中將使達到最佳膠乳機械性能所需的輻射劑量降低到合理的數量。輻射硫化天然橡膠膠乳因不含硫，可免除細胞毒性和化學促進劑引起的過敏。

使用原子能科技(X 射線和加馬射線)的工業測試極大地促進了馬來西亞製造業和工業部門的競爭力。馬來西亞 2015 年有 100 多家 NDT 公司，僱用 1000 多名認證工程師和技術人員進行 NDT 測試[22]。

在環境領域之應用，使用核同位素技術(環境示蹤劑和放射性同位素示蹤劑)進行水資源調查和管理，通常與其他水文或地球物理數據(例如通

過使用地電阻率)相結合，以全面了解地下水或地表區域的供水系統。在水資源和環境管理領域可以使用原子能科技解決的主要問題包括：評估地下水的供水潛力(即確定其來源，水的年齡，水質和流動動態，例如補給率，混合行為，傳輸方向)、地下水鹽鹼化(海水入侵)、地表水/地下水污染、不同水體(海洋，河流，地下水，泉水，雨水，湖泊/池塘/水池等)的互相連通與作用、追蹤污染的來源和遷移(環境法證研究)、水平衡(存儲量，滲透率，流量，蒸散量)、識別天然或人造結構體(即大壩，運河和湖泊)中的滲漏和滲流相關問題。

利用原子能科技於馬來西亞的自然資源勘探，核能局於 2014 年 9 月完成一項關於馬來西亞可用於核發電的自然資源調查研究，探討可能提取具商業價值鈾資源的潛力。

海洋輻射濃度評估，由於地球表面的 70%以上由海洋組成，海洋環境成為各種放射性核種的主要接收者，例如早年核武器試驗計畫致使大氣沉降之放射性核種，後來是車諾比核電廠和福島核事故釋放出來。三種人為放射性核種，即 Sr-90，Cs-137 和 Pu-239 + Pu-240 是最典型的 β^- ， γ -和 α -發射。海洋環境中其他感興趣的放射性核種是 H-3，C-14 和 Am-241，一般核事故後，半衰期短的放射性核種 I-131 和 Cs-134 可能非常重要，並一起測量其他放射性核種。除了人為的放射性核種之外，還從海洋樣品中測量來自 U-238，Th-232 和 U-235 衰變序列以及 K-40 的天然放射性。這些放射性核種可從大氣直接供應給海洋環境；也可間接來自河流或土地的徑流。2003 年至 2007 年，馬來西亞核能局進行全面的海洋監測計畫，以開發及建置動態海洋國家輻射數據庫。對全國各地海水，海洋沉積物，部分海洋生物系中不同放射性核種的輻射濃度進行調查和記錄，並獲取來自沿海地區、近海地區的海水和海洋沉積物中關於輻射濃度的綜合數據。而

2011 年 3 月福島第一核電站發生事故導致向亞太地區的海洋環境排放大量的人工放射性核種後，輻射污染問題受到了廣泛關注。在馬來西亞，五個監測站對海水和海洋生物系的輻射濃度進行了監測。與海洋放射性評估有關的研究包括：監測天然和人為放射性核種(Ra-226，Ra-228，Po-210 / Pb-210，U-234，U-238，Th-228，Th-230 Th-232，Am-241，Cm-243 等)，如監測沉積物、海水(溶解和懸浮物)和生物系(魚類，珊瑚礁，雙殼類和貝殼和生物群落(浮游生物，海草，海藻等)中的 Cs-137 和 Pu-239 + 240)。另外尚有利用 U-Th 衰變序列重建海洋污染年代，以及了解放射性污染物的沉降速率、存量、通量和 Kd 值，探討其行為和傳輸結果。調查海洋生物群和非生物群中對於放射性核種的吸收和生物蓄積情況。與海洋環境研究有關的尚包括動植物中放射性核種的吸收和生物富集、放射性及非放射性元素的轉移，利用放射性示蹤技術評估馬來西亞紅樹林生態系統中放射性核種的轉移，探討氣候變遷與海洋碳含量的關係等。

在馬來西亞，已經展開與大氣和陸地環境有關的各種研究，包括調查大氣和陸地環境樣品中所含放射性核種、有毒微量元素以及有機污染物的濃度分析。利用各種分析技術來獲取大量數據，這些數據將提供有關大氣和陸地環境中污染物來源的分佈和識別的信息。未來的研究將包括這些污染物在大氣和陸地環境中的擴散模型。監測空氣微粒(PM10 和 PM2.5)中的放射性和非放射性元素、監測雨水中的放射性和非放射性元素、以及放射性核種/空氣污染的遠程/跨界運輸建模。

馬來西亞在一些特定研究地點定期收集和分析不同類型水體(水源)之間的相互關係，以觀察水的穩定性同位素特徵變化、水化學、濁度、滲透率等。核能局於 2014 年提出了一項多個政府機構間整合的長期研究，涉及邊坡失穩、滑坡和地基沉降風險評估，包括：水穩定同位素指紋和示蹤

劑移動，地球物理評估(電阻率，地震，磁波時域反射監測)，岩石土壤監測(土壤質地壓實測試，土壤濕度，鑽井地下水位/孔隙水監測，降雨數據等)。

輻射測量儀器的校準方面，二級標準劑量實驗室(secondary standard dosimetry laboratory, SSDL)是放射治療劑量計和輻射防護的輻射測量儀器校準的國家中心。依據1984年《原子能許可法》(第304號法案)，《1988年輻射防護(基本安全標準)條例》(2010年修訂)中規定對輻射測量儀器進行校準的要求而成立的標準劑量校準實驗室。自2004年7月起，SSDL校準實驗室已通過MS ISO / IEC 17025：2005標準的認證。所有測量和校準都可追溯到主要和國際標準實驗室。加馬校準設備、放射治療設施加馬校正設備、X射線校準設備。

SSDL還提供評估輻射工作人員的照射劑量以及工作場所安全監控服務，SSDL提供兩種類型的劑量計，即膠片徽章和熱發光劑量計(TLD)，這兩種劑量計均可用於全身評估或區域監測。而劑量計測系統的可靠性和準確性在原子能科技技術處理的質量保證和過程控制中相當重要，故SSDL提供鈷酸鈾和硫酸亞鐵(Fricke)劑量計，利用Co-60加馬輻照進行過程控制和質量保證。使用簡單的設備，例如電化學電位計池，來評估通過鈾-陶瓷劑量計所測量的輻射劑量；使用紫外線分光光度計進行通過Fricke劑量計所測量輻射劑量的評估。

(5)IAEA在該國的合作交流[58]

國際原子能總署協助馬來西亞開發非破壞檢測技術和認證系統，馬來西亞的煉油廠，天然氣廠、製造工廠等設施的安全，如油管，鍋爐，壓力容器，飛機零部件和船舶，特別是接頭和焊縫等都使用非破壞檢測，以確保產品的品質及完整性。除此之外，還開發了各種儀器和檢測系統，

例如量測密度、濕度、厚度、腐蝕以及材料界面等。而透過使用輻射技術，在馬來西亞，使用棕櫚油，橡膠，洋麻等本地資源來開發新的複合材料和聚合化合物，這些材料已用於製造醫療套件和其他工業產品。例如馬來西亞核工業公司與汽車製造商合作，生產和測試經輻射誘導的電纜絕緣材料，該材料可以承受更高的溫度，進而提高汽車安全性[22]。



圖 4-5 馬來西亞核工業公司和車廠合作進行電纜材料和絕緣項目之輻射誘導

米是馬來西亞的主食，年人均消費量在80公斤以上。它也是約30萬農民的收入來源。因此，由乾旱或其他天氣變遷現象引起的水稻減產可能對該國的糧食安全和農民生計產生深遠影響，開發更適合氣候變化的新水稻品種有助於減輕這種情況的可能性。IAEA和聯合國糧食及農業組織(糧農組織)已經幫助馬來西亞核工業發展了許多改良的作物品種，包括

該水稻品種，這些品種更能耐受氣候變化。這新水稻品種NMR152係由馬來西亞核工業公司於2018年通過植物育種技術開發的。“原子能科技套裝計畫”對稻米種植者來說是一種使用生物肥料和植物生長促進劑的綜合方法種植出新稻米品種，使馬來西亞稻米的產量提高了40%。這個計畫包括馬來西亞核工業公司開發的一系列產品和服務，旨在幫助該國的稻農因應土壤肥力低下和氣候變遷的問題。“核套裝計畫”的關鍵組成部分包括：利用原子能科技開發的新水稻品種NMR152；透過輻照生產的植物生長促進劑和寡聚殼聚糖植物引發劑；以及一種天然殺菌劑的焦木酸，用於抑制幾種真菌植物病原體；並且應用同位素技術可以確定肥料的最佳使用方式。在廣泛的測試中，其他品種則死亡，而種植的新NMR152水稻品種在乾旱和淹沒水中存活了八天。馬來西亞農業當局開始繁殖該水稻種子以供大規模農民使用。在2019年4月繁殖了300公噸種子，這些種子2020年現在使農民在馬來西亞半島種植超過2000公頃的水稻，而用新種子種植的水稻將能夠滿足大約17萬馬來西亞人一年的水稻消費量。

IAEA理事會於2020年9月24日選舉，選出將在2020年至2022年期間擔任IAEA理事會的35個成員國代表，包括有今年新選出的11個國家代表，而馬來西亞為其中一個。

IAEA的保防協議框架(Safeguards legal framework)，其在與各國的協議中具有法律約束力。根據IAEA的規約，各國通過與IAEA締結此類協議來接受相對保障。全面核子保防協定是指非核武器締約國與IAEA締結不擴散核武器條約和無核武器區域條約。根據該協議，IAEA有權利和義務確保對該國家領土管轄權或控制範圍內的所有核材料實施保障，其唯一目的是查核此類物質不被轉用於核武器或其他核爆炸裝置。而馬來西亞於2020年9月25日納入此保防協議框架中。

(6)放射性廢棄物[53]

馬來西亞核能局作為放射性廢棄物管理的機構，包括廢棄物特性、運輸、預處理、處理、處置和最終處置之技術研發與管理。原規劃於2015年確定低放和中放廢棄物處置場址，並在2070年之前確定用過核子燃料最終處置場址，但截至2019年3月，尚未確定場址。

4.4 新加坡

4.4.1 國家基本資料

(1)國家基本資料

- 面積：724.4平方公里。
- 人口：2019年570萬人。
- GDP：2019年3,721億美元；成長率0.7%[45]。
- 電力供應[46,47]：
 - 能源供給總量：164,736 ktoe(千噸油當量)。
 - 供電體系：多家民營公司。
 - 年發電總量：50.4 TWh (2018年)。
 - 年發電量來源百分比：天然氣95%；石化燃料3%；再生能源2%。

4.4.2 原子能科技應用概況

(1)核能計畫[48,49]

新加坡被譽為東南亞金融中心，新加坡由於國家小，因此無核能發電規劃，決定採用單位發電成本高的天然氣發電；而新加坡的天然氣能源80% 靠進口，因其兩個鄰國印尼與馬來西亞擁有豐富的自然氣，能源取得容易。截至2015年，新加坡使用天然氣(95%)和廢棄物(4%)作為電廠的燃料；石油曾在2005年佔23%，但現在已降至1%。

1973年公布Radiation Protection Act，為輻射相關活動的管制法源。National Environment Agency (NEA)隸屬Ministry of the Environment and Water Resources，為輻安管制機關。而電力的主管機關為新加坡能源管理局。

(2)政府研究發展機構[50]

新加坡並無核能電廠或反應器，迄今無核能相關政府研究發展機構，亦無發展核能發電的研究計畫。而較相關的原子能科技應用則在生醫/核醫領域上，生醫研究委員會Biomedical Research Council (BMRC)，其隸屬於科學技術研究發展局The Agency for Science, Technology and Research (A*STAR)。

(3)新加坡核能科技研發[59]

2014年National Research Foundation (NRF)撥付6千3百萬新加坡幣由國立新加坡大學執行五年核安與研究教育計畫。因此2014年至2015年新加坡跟IAEA進行以下的專題合作：

- 強化輻射防護、環境監測及廢棄物安全的能力。
- 制定國家醫學指導劑量操作規範。
- 增強輻射應變整備與應變能力。

(4)新加坡原子能科技醫農工應用[60]

A * STAR在四個關鍵領域制定了研發策略，以應對國家的挑戰；此四個關鍵領域：“城市與綠色”，“人工智慧的分析 and 信息”，“健康與醫療技術”以及“農業技術和水產養殖”。

新加坡的醫療、工業和科學研究方面，普遍使用X射線和加馬射線等游離輻射及放射性同位素，在高等院校亦使用輻射和放射性同位素進行相關科學的應用研究。領域包括核子醫學，放射診斷和放射治療以及醫

材等物質的輻射滅菌；輻射還用於工業非破壞檢測等。

在醫學領域之應用，例如成像已成為醫療保健系統中不可或缺的一部分，借助X射線等成像工具可以將視線向內看向人體，此類技術可幫助醫生進行疾病的治療和診斷。隨著人口老齡化以及醫療保健費用的不斷上漲，A* STAR的新加坡生物影像協會(Singapore Bioimaging Consortium, SBIC)開展了例如癌症，糖尿病和心血管疾病等廣泛的研發活動，以滿足對優質醫療保健的需求。旗下有3個實驗室，包括分子影像實驗室(Laboratory of molecular imaging, LMI)、代謝醫學實驗室(Laboratory of metabolic medicine, LMM)及分子化學實驗室(Laboratory of molecular chemistry, LMC)。分子影像實驗室研發體外和體內成像的所有方式，例如：光學成像，MR光譜和MR成像，C-13超極化，微型CT，nanoSPECT-CT，微型PET-CR，MR-PET，NIRS-MRI，信號和圖像處理和分析。代謝醫學實驗室進行分子生理學和代謝表型相關研究，而分子化學實驗室進行先進的合成藥物化學和放射化學功能的化學/生物探針的開發。

Ark Bio-是一家擁有4000萬美元的癌症檢測公司，Ark Bio-的目標是在未來30年內消除癌症末期相關的死亡。該公司開發第一個早期胃癌的血液測試，該測試使用微核糖核酸(miRNA)作為癌症標記物-使該測試更加靈敏和可靠。而在新加坡醫療支出方面，2016年約170億美元，由2016-2024的年均複合成長率估計為10.3%。

(5)IAEA在該國的合作交流[61]

新加坡是東協的成員，也加入東協原子能監管機構網絡(ASEAN Network of Regulatory Bodies on Atomic Energy, ASEANTOM)，ASEANTOM於2012年成立，為所有東協成員國基於安全共同體下組成的監管機構，以加強東協各成員國之間的合作、對IAEA的相關承諾及其他

多邊協議，以保障該區域的核安全。特別包括IAEA-ASEANTOM的區域合作項目，支持開發建置區域環境的核放射性數據庫和東南亞的緊急應變和響應框架。召開國際原子能總署(IAEA)與ASEANTOM於2020年10月共同合作舉辦第七屆年會。

IAEA於2020年1月進行國際核能安全公約新加坡國家報告書第七次審議會議。

亞洲核安全網(the Asian Nuclear Safety Network, ANSN)指導委員會第30次會議，2019年11月於新加坡舉辦。

IAEA和東協聯盟於2019年9月簽訂《Practical Arrangements》，基於和平目的將用核科學技術應用於東南亞區域，加強在核科學、原子能科技和應用以及核安全，核安保障等方面的合作。IAEA在現有合作的成功的基礎上，與東協合作，確定對本地區成員國有利的合作項目，其中包括關於緊急應變和響應的技術合作項目、核子事故輻射外洩緊急情況及對災後因應措施的區域議定書。

新加坡和IAEA簽署2016-2020年國家計畫框架(Country Programme Framework, CPF)，國家計畫框架確定其2016-2020年五個優先領域：

- 安全保障
- 健康與營養
- 工業應用/輻射技術
- 水與環境
- 無菌昆蟲技術

IAEA的保防協議框架(Safeguards legal framework)，其在與各國的協議中具有法律約束力。根據IAEA的規約，各國通過與IAEA締結此類協議來接受相對保障。全面核子保防協定是指非核武器締約國與IAEA締結不

擴散核武器條約和無核武器區域條約。根據該協議，IAEA有權利和義務確保對該國家領土管轄權或控制範圍內的所有核材料實施保障，其唯一目的是查核此類物質不被轉用於核武器或其他核爆炸裝置。而新加坡於2016年10月6日納入此保防協議框架中。

(6)放射性廢棄物[53]

放射性廢棄物主要來自醫院、教育/研究機構及某些商業公司，政府已訂定管理與處置導則。多以短半化期低放射性廢棄物為主，依法貯存一段衰變期後，經核准得予以排放/處置。

政策上密封廢射源以運返製造國為原則，但早期廢棄的Ra-226射源與避雷針等可能未能運返，此小量廢棄物則由NEA接收、處理與貯存。

4.5 泰國

4.5.1 國家基本資料

(1)國家基本資料

- 面積：51.4萬平方公里。
- 人口：2019年6,963萬人。
- GDP：2019年5,436億美元；成長率2.4%[45]。
- 電力供應[46,47]：
 - 電源類別裝置容量(Mw)：火力53,653；水力2,952；其他3,652。
 - 供電體系：國營電力公司。亦已有小規模電力生產者，售電給國營電力公司。
 - 年發電總量：191,321 GWh。
 - 年發電量來源百分比：天然氣65%；煤19%；再生能源12%；水力4%。

4.5.2 原子能科技應用概況

(1)核能計畫[48,49]

在泰國，天然氣佔發電總量的很大一部分。但預計天然氣不久將耗盡，故泰國政府考慮使用替代能源來保障能源安全。泰國政府預測，該國的電力需求將以平均每年2.67%的速度增長，到2036年將達到約3,261億千瓦時。2010年3月，泰國政府批准電力發展計畫(PDP 2010)，其中包括在2020年至2028年之間開放五個核子反應器的政策，第一部反應器規劃於2020年開始運轉，第二部反應器規劃於2021年開始運轉。但是，發生福島核子事故之後，第一部和第二部反應器的啟用時間更改為2023年和2024年，之後第一部反應器又延至2026年啟用。

2015年6月，Energy Policy and Planning Office (EPPO)發布2015年至2036年的電力發展計畫(PDP 2015)，該計畫是在2014年政變後的臨時軍事政府領導下訂定。在PDP 2015中，第一部和第二部反應器的啟用時間分別更改為2035年和2036年，將設置兩部1,000 Mw的核子反應器。

主要法令為2016年Nuclear Energy for Peace Act，並依此成立Thai Nuclear Energy Commission for Peace (Thai NEC)為核安主管機關。

- National Energy Policy Council (NEPC)為能源政策機關。
- Office of Atoms for Peace (OAP)為輻射安全管制機關。同時接受Thai Nuclear Energy Commission for Peace (Thai NEC)與Ministry of Science and Technology管轄。
- Ministry of Energy為能源事業主管機關。下轄：
 - Energy Policy and Planning Office (EPPO)負責能源規劃。
 - Nuclear Energy Study and Coordination Office負責核能發展。
 - Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT)為國營電力公

司。

(2)政府研究發展機構[50]

主要研究機構為Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT)與 Chulalongkorn University，從事研發、技術應用及人員教育訓練等工作。

(3)泰國核能科技研發[62]

泰國目前尚無核能電廠，其研究原子反應器是由美國通用原子公司設計和製造的，產生之中子源應用在許多領域(例如醫藥，工業，農業和研究)。而有關反應器方面的研究則如中子通量值模擬等，能源方面則如生物柴油催化劑研究等。

原子能科技相關的研發小組由大約50名員工組成，專長領域包括農業、考古、食品、環境、健康和材料。研究項目可以分為8類：農業、考古、射線利用、能源、環境、食品和草藥、保健和化妝品、材料。

(4)泰國原子能科技醫農工應用[62]

在醫學領域之應用，泰國2018年醫療支出 7015.88 億泰銖，占GDP的4.3%，而核醫每年總支出約占全國醫療支出的0.1% [63]。目前泰國政府支付保險費用的正子電腦斷層造影 (PET/CT) 檢驗項目僅有兩項：一為用於根除性手術治療(curative surgery) 之非小細胞肺癌分期、二為大腸癌疑似復發，且電腦斷層、核磁共振檢查結果為陰性。目前泰國合法的核醫藥物供應者有Bangkok Dusit Medical Services (BDMS)、Biogenetech、Biomedia、Chulabhorn Hospital、Global Medical Solutions (GMS)、TINT 和 Wattanosoth Cancer Hospital。Wattanosoth Cancer Hospital是泰國規模最大的私立醫院，與 Chulabhorn Hospital 互相作為供應正子造影藥物的競爭者。核醫藥物的供應來源依其類別分為 Tc-99m 標誌單一劑量(unit dose)、Tc-99m 孳生器、非 Tc-99m 標誌核醫藥物、治療用核醫藥物及

凍晶製劑(cold kits)。相較於台灣，泰國政府對核醫藥物使用的管制有較高的自由度，因此臨床醫師亦較容易取得各項世界最新的核醫藥物，對台灣本土研發之核醫藥物推廣應用極具參考價值。

除了一般放射診斷、放射治療及核子醫學之成像檢查與藥物治療外，此提出護膚產品水凝膠片敷料的輻射加工。傷口敷料通常是由醫生用來臨時覆蓋受傷的皮膚，以促進下方的新皮膚組織再生。 γ 輻射技術被用於由聚乙烯(乙烯)製成水凝膠片敷料，基於其生物相容性而廣泛用於生物醫學應用的聚合物。在輻射過程中，將醇(PVA)分子鏈接一起形成穩定的3維網絡，隨後變成2-3毫米厚的薄片將水滯留在網絡空間內。另外，輻射技術也普遍用於對醫療設備進行消毒。因此，最終的水凝膠片敷料是無菌的故不需使用防腐劑。

TINT之放射性同位素中心，在無菌藥品生產室中按照良好生產規範來生產放射性藥物，並獲得國家監管機構食品藥品監督管理局的認可以供國內需求。泰國醫療支出方面，2016年約253億美元，由2016-24的年均複合成長率估計為6.8%。

在農業領域之應用，

泰國利用不同能量的輻射，照射如各種藥草及食品等。適量的輻射照射可以減少引起沙門氏菌等引起腹瀉的疾病的微生物數量，保障農產品及食品的安全。幫助減緩水果的成熟，抑制蘑菇和一些蔬菜在儲存過程中的發芽，例如洋蔥，土豆，草菇等。

原子能科技在果蠅殺菌等農業研究中的應用，昆蟲不孕技術方面，泰國TINT整合巴吞他尼府農業局，於2018年期間利用昆蟲不孕技術來防治農舍地區的果蠅，控制該地區中經濟果樹的果蠅；成功減少該地區果蠅數量97.64%，使芭蕉、橘子、芭樂和芒果等水果危害減少30%以上，

為該地區農民帶來至少超過5600萬泰銖之額外收入。

植物突變育種方面則開發大米，辣椒，鮮花等新品種。利用加馬、中子或電子之輻射誘發突變以改良品種和某些特徵，例如疾病耐受性、環境耐受性或是提高生產率等，並選擇所需的特性並測試產生的突變體、觀察所得品種的穩定性；用於誘發植物突變的部位可以是各種植物的種子、樹枝、芽或在組織培養瓶中所篩選的植物部位。成功的案例如耐受酸性土壤條件之水稻品種開發、更增加營養價值之水稻品種開發、抗炭疽病辣椒的開發、開發鬱金香以符合泰國的生產週期、觀賞蓮花之誘變。

蝦業是泰國有效R&D合作的主要成功案例，繼台灣蝦類產業崩潰之後，到1990年代中期後，泰國成為世界上最大的養殖(養殖)蝦生產國。泰國2001年建立Centex Shrimp(蝦分子生物學和生物技術卓越中心)，建立了蝦生物技術業務部，通過開發DNA診斷探針檢測幫助業者減少病毒造成的損失，以將研發成果商業化(例如，病毒檢測試劑盒和診斷培訓)[64]。

在工業領域之應用，進行生物柴油催化劑的研究，以及輻射聚合材料、生物塑料之調查。例如蒸餾塔的分析基於可穿過蒸餾塔內部介質的加馬射線的特性，輻射的強度取決於介質的密度；原子能科技的應用石油和石化工業為了檢測蒸餾塔中的結構異常和蒸餾塔內的生產條件，從而導致對生產蒸餾的需求，無論是品質還是數量，通過這種原子能科技進行分析都可以知道結果。檢測過程中並不影響製程，無需停止生產過程；根據分析結果，若在蒸餾塔內發現任何結構異常，以便提前購買損壞的設備，以幫助減少維護時間和可以調節生產條件，減少原材料損失，從而降低生產成本。

也用原子能科技提供元素分析，如使用X射線熒光(XRF)，中子活化分析(NAA)以確定各種類型樣品中元素的類型和數量。

Co-60同位素加馬輻射機可用於照射寶石以改變顏色或改善工業用的其他材料，以及用於從粒子加速器獲得高能電子的技術服務或研究應用。受到輻射照射後，寶石會產生很高的局部熱量，加馬射線使寶石的表面更美麗。

中子射線照相也是一種非破壞檢測技術，因為每種材料對於輻射線的衰減係數都不同，故可使用原子研究反應器的中子束來進行成像，而了解結構的性質和材料的類型。使用中子相機拍照可以立即傳輸相機中的圖像文件，因此可以通過安裝旋轉平台並在物件周圍連續拍攝來獲取斷層掃描3D圖像。通過3D可視化程序處理，則可以獲取物件的更多信息。

輻射也可用於材料研究，例如調節材料的物理和化學性質。研究工作包括利用輻射開發新的聚合物、生物塑料調查。

在環境領域之應用，

TINT之同位素水文學實驗室研發許多定年技術，例如 ^{40}K - ^{39}Ar 同位素定年法。其亦進行碳-14的研究，應用在歷史古代文物的年代鑑定、地下水老化相關之地質調查工作、塑料製品中有機物質校對及生物柴油體積分析等。另外分析地下水文地質中，測量地下水的年齡、監測水中的輻射物質及各污染物。穩定同位素分析方面，則常協助尋找乾淨水源，也可應用於查證各物質或是產品的來源處；例如水的指紋，可分析水中的氘($^2\text{H}/\text{H}$)和氧比率 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 。

(5)IAEA在該國的合作交流[65]

IAEA於2020年11月舉辦分子影像學和臨床PET-CT在治療診斷的時代(IPET-2020)線上國際會議討論會，將有來自全球40多個講師和16位年輕專業人員的20場會議和演講，這些世界各地的國家包括阿根廷，澳大

利亞，巴西，法國，印度，以色列，意大利，黎巴嫩，日本，約旦，荷蘭，馬拉維，波蘭，南非，韓國，泰國，土耳其，烏干達，英國和美國。會議將重點介紹醫學成像在乳腺，肺癌，淋巴瘤，神經內分泌腫瘤，兒科，前列腺癌和甲狀腺癌患者臨床管理方面的適當使用。“ COVID-19大流行凸顯了醫學成像在受病毒感染嚴重患者的重要性，它使我們能夠描繪出心臟、血管和其他併發症，並評估其後續影響。醫學成像涵蓋核醫學和放射學，是早期篩檢診斷，評估疾病位置和擴散以及預後的關鍵工具。它的應用對於支持治療選擇以及評估治療反應至關重要，特別是在個人化醫學時代；放射性示蹤劑可以繪製患者體內的疾病圖，並使用PET-CT或正電子發射電腦斷層掃描成像來指引靶向治療。

IAEA和ITER於2020年2月支持TINT及泰國的大學共同舉辦第六屆東協電漿與核融合研習學校(ASEAN School on Plasma and Nuclear Fusion, ASPNF 2020)，學習核融合相關的課程及技術，成員來自東南亞區域的大學生；並促進年輕人才與來自世界各地的領先研究人員之間的交流互動。ASPNF最初由日本國立融合科學研究所和中國科學院電漿物理研究所等一群國際專家於2015年成立，已成功培訓了300多名來自東協國家的研究生，包括印度尼西亞、馬來西亞、新加坡、泰國、菲律賓和越南，共同研習有關核子物理和核融合技術的專業知識。

泰國是亞洲最大的食品出口國之一，為了維持和發展其以出口為基礎的經濟，它必須滿足不斷發展的安全和測試標準。由於該國主要出口市場對食品質量和安全的要求日益嚴格，因此在測試動物食品中的獸藥殘留和相關污染物時遇到了困難。它向國際原子能總署尋求支持。原子能機構與糧農組織合作，開展了一項為期四年 (2016年至2018年)的食品安全控制實驗室能力增強和培訓計畫，目的是利用原子能科技和同位素

技術快速篩檢和識別食品中的化學殘留物和污染物。根據IAEA技術合作計畫處提供的培訓和實驗室設備使泰國當局能夠滿足其主要市場的新要求，並繼續出口糧食，其中包括估計90萬噸的家禽產品。

IAEA的保防協議框架(Safeguards legal framework)，其在與各國的協議中具有法律約束力。根據IAEA的規約，各國通過與IAEA締結此類協議來接受相對保障。全面核子保防協定是指非核武器締約國與IAEA締結不擴散核武器條約和無核武器區域條約。根據該協議，IAEA有權利和義務確保對該國家領土管轄權或控制範圍內的所有核材料實施保障，其唯一目的是查核此類物質不被轉用於核武器或其他核爆炸裝置。而泰國於2018年9月25日納入此保防協議框架中。

(6)放射性廢棄物[53]

國營電力公司EGAT正在進行核子燃料循環和放射性廢棄物管理相關研究。目前來自醫療、農業、工業與研究產生的放射性廢棄物係由TINT負責接收、處理與貯存。

4.6 越南

4.6.1 國家基本資料

(1)國家基本資料

- 面積：32.92萬平方公里。
- 人口：2019年9,646萬人。
- GDP：2019年2,619億美元；成長率7.0%[45]。
- 電力供應[46,47]：
 - 電源類別裝置容量(Mw)：火力25,783；水力16,187；其他：165。
 - 供電體系：主要由Ministry of Industry & Trade (MOIT)所屬

Electricity of Vietnam (EVN) 負責。

- 年發電總量：164,832 GWh。
- 年發電量來源百分比：水力39%；煤32%；天然氣28%；石油1%。

4.6.2 原子能科技應用概況

(1)核能計畫[48,49]

越南從1995年開始考慮核能發電。2006年提出初步可行性研究的具體規劃。根據初步可行性研究的結果，越南政府於2008年3月決定在寧黃省的兩處地點建設四部核子反應器電站(共400萬千瓦)。2009年11月獲得國會通過。

2010年10月與俄國簽訂協議，俄國同意從2020年開始資助並建設2,400 MWe的第一核能發電廠裝置容量。2011年10月與日本簽訂協議，日本亦同意資助並建設2,200 MWe的第二核能發電廠裝置容量。

然而，2016年11月，因國會反對而擱置核能發電計畫。越南擱置核能發展計畫的原因是經濟增長速度趨緩，且預計隨著節能技術的進步，電力利用的效能將獲得提高，而福島核子事故的影響，使得核能電廠的建設投資成本大幅增加。

越南新的原子能法於2009年初公布，並後續於2013年修正。管制機關Vietnam Agency for Radiation and Nuclear Safety & Control (VARANS)，於2005年成立，隸屬Ministry of Science & Technology (MOST)。

國營電力公司Electricity of Vietnam (EVN)，由Ministry of Industry & Trade (MOIT)所屬Department of Energy管轄。

(2)政府研究發展機構[50]

Vietnam Atomic Energy Institute (VINATOM)隸屬MOST，負責研發、

研發、技術支援、人員訓練及技術服務。VINATOM附屬機構Nuclear Research Institute (NRI)負責營運1部研究用反應器(於大叻)，研究用反應器用於放射性同位素生產、中子活化分析、核子物理基礎和應用研究、反應器物理和熱流分析以及人員培訓。另外也設置有Vietnam Atomic Energy Agency (VAEA)隸屬MOST。

(3)越南核能科技研發[66]

越南和俄羅斯兩國在2011年11月簽署了關於建設核科學技術中心的協議，於2017年6月簽署了有關研究反應器一項協議；2018年9月簽署了關於人員培訓的備忘錄及正面輿論的備忘錄兩份文件。再於2019年5月簽署建立核科學技術中心的備忘錄(MoU)。

(4)越南原子能科技醫農工應用[66]

在醫學領域之應用，

根據世界衛生組織(WHO)國際癌症研究機構(IARC)統計，2018年，越南有近115,000名患者死於癌症，近165,000名新病例發生。越南前5名癌症主要是肝癌(15.4%)，肺癌(14.4%)，胃癌(10.6%)，乳腺癌(9.2%)和結直腸癌(8.9%)。截至2018年底，越南罹患癌症的總人數超過30萬人。而癌症治療方法中，最常用的三種是手術，放射療法，化學療法和放射療法，約佔整體癌症治療方法的50%。而放射治療可用於疾病的所有階段，包括輔助治療和晚期癌症的輕度緩解。近年來，越南在核子醫學，放射治療和光電技術三個領域都取得了許多進展及成果。例如：人們對癌症的認識提高；早期發現率提高了約5-10%。目前癌症預防網絡已覆蓋全國78個腫瘤醫院、中心、科室和單位，其中42個擁有放射治療設備的腫瘤科室和中心。2020年11月底越南舉辦全國癌症放射治療進展研討會，指出該國擁有約100台放射治療設備，其中70多家大型醫院都配備放射治療設備。先進的放射治

療法-3D CRT，IMRT，IGRT，VMAT，SRS，SBRT等癌症手術技術已在越南成功實施，為多種類型的癌症帶來了積極的治療效果。

2020年3月在河內輻照中心成功研究、設計 ^{18}F -NaF模組和製備放射性物質 ^{18}F -NaF，合成時間約12.5分鐘，合成效率約95%。DCPX ^{18}F -NaF質量符合美國藥典標準(USP 38)；進行在PET / CT臨床檢查前先注射 ^{18}F -NaF，據以成像分析提供清晰的圖像以了解腎臟和膀胱、整個骨骼系統等生理特徵，提高敏感度解析度。

早期發現是減少傳染病傳播和預防疾病暴發的關鍵。原子能科技在控制傳染病中可是調查和預防人畜共患疾病暴發的可靠工具。當前，超過60%的人類傳染病源於動物。科學家發現，動物中超過75%的新疾病會傳染給人類。每年約有26億人患有人畜共患疾病，近300萬人死於這些疾病。一些最廣為人知的人畜共患病是伊波拉病毒、嚴重急性呼吸系統綜合症(SARS)和COVID-19。RT-PCR是檢測COVID-19病毒的最準確方法。聯合國糧農組織/國際原子能總署動物健康和保護實驗室數十年來一直在幫助各國使用這種技術來檢測人畜共通疾病。在過去的幾十年中，國際原子能總署(IAEA)支持許多國家建立快速、準確地診斷技術，以及控制和預防疾病的能力。IAEA定期與諸如聯合國糧食及農業組織，世界衛生組織和世界獸醫組織等合作夥伴合作，為控制動物和人類的傳染病。在2019年非洲豬瘟暴發之後，IAEA對柬埔寨、中國、老撾、蒙古、緬甸、泰國和越南提供檢測和鑑別非洲豬瘟病毒的措施。培育國家實驗室的能力，並進行了診斷技術的標準操作程序。

越南醫療支出方面，2016年約150億美元，由2016-24的年均複合成長率估計為9.1%。

在農業領域之應用，

輻射殺蟲技術(SIT)是另一種原子能科技應用的技術，可以幫助防止、控制甚至阻止媒介傳播。當前，關於如何使用SIT控制蚊子、病媒體的研究仍在持續進行中。而一些進入動物體後失活的疫苗會激活免疫系統抵抗感染，輻射疫苗現在是疾病控制的新選擇。輻射可以中和病原體而不影響病原體的結構。

目前越南的輻照廠有9座，其中5座屬於政府機構的河內照射中心、輻射技術研究中心、峴港輻射照射廠、同奈輻射照射廠等。主要應用在食品保鮮，水果和蔬菜發芽抑制，對食物和蔬菜進行殺菌，醫療器材與藥品之滅菌等。除了輻照服務和製劑生產外，越南還自行研究、設計和製造可滿足其國內需求的Co-60光源工業輻照投影儀，目前9座輻照廠中的2座峴港輻射照射廠、同奈輻射照射廠的輻照機為越南自行設計製造[67]。

椰子蠟已成為越南的一種特產，優質椰子蠟是決定貿易和出口成功的主要因素之一。經過2019年的研究，“放射攝影的研究與應用”已經應用放射攝影來檢查椰子蠟的含量，應用輻射檢查於一般農產品的內部結構，尤其是水果的質量檢驗是越南的新領域。

食品輻照已被用於植物檢疫，並延長了農產品(如香料，乾草藥和草藥)的保質期。如果產品處理不當，有害昆蟲和微生物會進入出口並在貿易過程中轉移到其他國家，從而損害食品生產。食物在進口國繁殖和傳播時會對當地環境產生不利影響。低輻射水平，可以破壞可能破壞食物的微生物，例如細菌或真菌。低劑量照射還用於昆蟲滅菌等，防止它們繁殖。越南植物保護司指出食物輻照促進農產品出口，例如出口到美國的主要輻照產品包括芒果，火龍果，荔枝等本地特產水果，以及蝦，新鮮和冷凍牡蠣等海鮮。

在工業領域之應用，

原子能科技應用在工業上如檢查生產製程中各組件的錯誤，越南指出每天使用的電氣設備或電子產品，皆由數十至數千個電路板組件組裝而成。這些組件其中任一結構或電路中的缺陷將導致最終設備的功能發生故障，因此必須對設備進行檢查。組件故障檢查設備的一般原理為放射照相成像，亦即從X射線管發射X射線，穿過此產品後，被位於產品側的X射線偵檢器所接收並將其轉換為顯示在螢幕上的X射線圖像。X射線圖像顯示受測產品的材料密度，可協助人員輕鬆識別缺陷。

在環境領域之應用，

在越南，透過可靠的核分析技術可追蹤環境及食品，例如對食品進行追溯和認證，以確保其來源是食品安全的重要方法。廣泛用於可追溯性資訊的方法是比較輕元素同位素對(例如 $^2\text{H}/^1\text{H}$ ， $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ， $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ， $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ， $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$)進行檢索和認證其生產來源。

(5)IAEA在該國的合作交流[37]

IAEA於2019年與WHO國際衛生組織所屬各區域辦事處密切合作，向巴拿馬提供專家諮詢協助，以協助巴拿馬制定2019—2029年國家癌症預防計畫，由該國衛生部於2019年6月正式啟動。而這些國際組織在2020年向越南和伊朗等也提供類似的技術援助手段。

2019年9月原子能機構與越南科學技術部和柬埔寨王國礦產能源部簽署了關於加強相互間技術的合作，這合作包括短期和長期教育和培訓，內容涉及：食品和農業，工業和非破壞檢測方面的輻射應用；輻射安全和核安全；輻射廢棄物管理；輻射應急準備和響應；輻射醫學等。

IAEA基於“亞太地區核合作協定”，2019年持續在亞太地區以原子能科技促進社會經濟發展。其在斯里蘭卡及越南舉辦了計14次區域培訓班

和講習班，並進行17次專家工作訪問，完成94%的執行率。

東南亞無核武區域條約(the Southeast Asia Nuclear Weapons Free Zone, SEANWFZ,曼谷條約)，於2020年6月26日在越南河內舉行第36屆東協峰會線上會議。重申東協成員國致力於維護東南亞這個沒有核武器和其他大規模毀滅性武器的地區。9月9日，東南亞無核武器區委員會(SEANWFZ委員會)通過視頻會議舉行第53屆東協外長聯席會議，SEANWFZ委員會會議審查了《2018-2022年行動計畫》的執行情況，為確保核安全和核子保安，開展核能和平利用以及加強輻射和災害對策。會議就維護東協自由貿易區的一系列措施及其對全球裁軍和核武不擴散制度等做出貢獻，包括在聯合國論壇促進條約的努力上達成共識。

越南原子能研究所(VINATOM)與IAEA於2018年11月29日簽署了一項協議，正式將VINATOM指定為IAEA環境實驗室(NAEL)和同位素水文學部(ISH)關於水與環境領域的合作中心。該中心主要的任務重點是利用原子能科技和同位素技術在水流域和沿海地區進行整體水和環境評估、監測和管理[68]。

IAEA的保防協議框架(Safeguards legal framework)，其在與各國的協議中具有法律約束力。根據IAEA的規約，各國通過與IAEA締結此類協議來接受相對保障。全面核子保防協定是指非核武器締約國與IAEA締結不擴散核武器條約和無核武器區域條約。根據該協議，IAEA有權利和義務確保對該國家領土管轄權或控制範圍內的所有核材料實施保障，其唯一目的是查核此類物質不被轉用於核武器或其他核爆炸裝置。而越南於2016年4月8日納入此保防協議框架中。

(6)放射性廢棄物[53]

目前來自醫療、農業、工業與研究產生的放射性廢棄物係分別由位於

大叻的TINT與位於河內的Institute for Technology of Radioactive and Rare Elements (ITRRE)負責接收、處理與貯存。

5. 新南向政策推動原子能科技合作之可行性

5.1 新南向政策中六國產業發展情況

我國2019年與新南向國家貿易總額為1,119億美元，我國出口至新南向國家金額為631億美元，我國自新南向國家進口金額為488億美元。該年度已透過產業鏈結論壇合作平台，促成食品生技、紡織、智慧城市、智慧解決方案及聯網服務、智慧學習與人工智慧應用、綠色科技、工業廢水處理等40項產業合作意向、1項印度示範驗證案、1項臺印尼船舶合作案及1項臺馬企業合資案。2019年籌組7個新南向主題商機聯盟，包含「智能視訊(越南)」、「智慧照護(泰國)」、「休閒旅遊(馬來西亞)」、「美妝時尚(越南)」、「健康美麗(馬來西亞)」、「風格3C(泰國)」及「智慧文書(新加坡)」，協助我國中小企業與上述國家之雙邊合作[69]。

本報告蒐集印度、印尼、馬來西亞、新加坡、泰國、越南六國與我國新南向政策重點六國(印度、印尼、馬來西亞、菲律賓、泰國、越南)有一國家之差異。而2019年全球經濟受美中貿易衝突影響，整體市場需求動能不足，進而造成出口減緩，拖累多國經濟成長表現。根據國際貨幣基金(International Monetary Fund, IMF)預估，2019年我國與新南向重點六國中，多國實質GDP成長率皆較前一年度下滑，尤以印度衰退幅度最大，實質GDP成長率預估僅達4.8%，較2018年下跌2個百分點。泰國衰退幅度居次，實質GDP成長率自2018年的4.1%降至2019年的2.9%。表現最為突出的國家依舊是越南，在美中貿易衝突影響下，企業轉進越南投資生產，並進而推升越南出口。根據越南統計總局(GSO)數據，2019年越南GDP成長率達7.02%，是自2011年以來越南經濟連續第2年超過7%，也超過越南政府原訂6.6~6.8%的目標。製造業是越南經濟成長的主要動能，對整體GDP貢獻

度較前一年度成長11.29%[70]。

在此波因中美貿易戰而調整全球生產基地的浪潮中，新南向重點六國因自有資源與產業結構差異，對外貿易表現不盡相同。備受企業青睞的越南是唯一進出口皆呈現成長，並維持貿易順差的國家。2019年越南出口金額約2,642億美元，較前年度成長8.7%，是新南向重點六國中增幅最大的國家。而印度出口微幅成長0.6%，但在新南向重點六國中貿易逆差最為顯著。菲律賓在農林礦以及製造業產品出口皆有成長的情況下，即使石油產品出口大幅衰退，2019年整體出口仍能維持1.4%的年成長率。印尼、馬來西亞、泰國的出口表現皆出現下滑，其中衰退幅度最大的是印尼，2019年出口金額僅約1,675億美元，主要因製造業及礦產品出口雙雙萎縮，尤以礦產品出口金額較前年度滑落15.3%影響顯著。

雙邊貿易方面，2019年臺灣與新南向重點六國間貿易狀況多呈現順差，僅印尼及馬來西亞兩國出現逆差。就整體貿易額而言，馬來西亞為新南向重點六國中臺灣最大的貿易夥伴，總貿易額達198.4億美元；越南次之，總金額為160.5億美元。在出口部份，2019年臺灣對新南向重點六國出口金額總計為380億美元，較前一年度下滑12%。其中，以對越南出口金額最高，總計達107.7億美元；馬來西亞次之，總金額為94億元。2019年臺灣對菲律賓出口金額降幅最大，與前年度相比，跌幅超過三成。進口方面，2019年臺灣自馬來西亞進口金額最高，總金額達104.4億美元；越南以52.8億美元排名第二。

摘述今2020年2月新南向國家之重點產經新聞如下[71]：一、印度：疫情對印度產業衝擊以航空業最劇烈。二、印尼規劃對塑膠、燃油車及含糖飲料開徵貨物稅。三、馬來西亞：受COVID-19疫情影響，橡膠手套需求激增，大廠Top Glove受惠。四、泰國：疫情將對全球經濟，以及泰國

工業供應鏈、物流、旅遊與經貿4個方面產生影響。五、越南：《歐盟-越南自由貿易協定》(EU-Vietnam Free Trade Agreement, EVFTA)預計生效後可望帶動越南新一波投資。

COVID-19疫情對印度產業的衝擊以航空業最劇烈，依據澳盛銀行、彭博社與OECD數據顯示，COVID-19疫情對印度GDP的衝擊為0.03%，由於民間消費比重高，貿易依存度低，較其他新南向國家衝擊小。

為降低對國民健康影響與環境衝擊，印尼政府規劃對塑膠、燃油車以及含糖飲料徵收貨物稅，預計每年可增加約新台幣513.2億元的稅收。印尼是全球第2大海洋塑膠垃圾來源國，每年累積的塑膠垃圾高達130萬噸。而隨著車輛增加，印尼都市空氣污染日益嚴重，首都雅加達在2019年更兩度成為全球空氣品質最差的城市，印尼政府因而規劃針對燃油車加徵貨物稅，希望協助降低空污。而含糖飲料徵收貨物稅係為了國民免除罹患糖尿病等疾病。

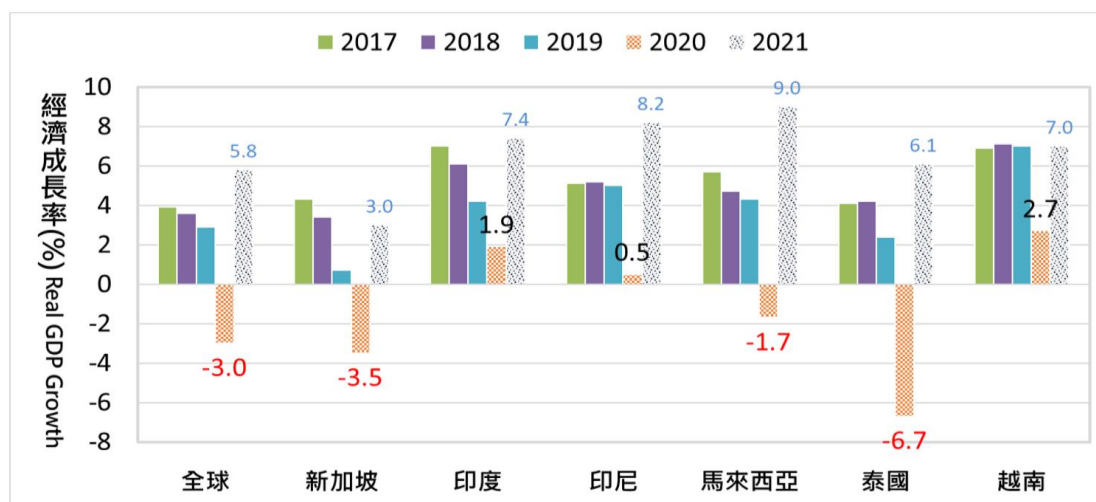
馬來西亞是全球最大橡膠手套生產國，其中Top Glove為全球最大拋棄式手套製造商，供應全球市場六成以上。由於持續延燒的COVID-19疫情，橡膠手套需求激增，預估今年銷售額將比原先預期增加25%。

COVID-19疫情將對泰國產生4個方面的影響，分別是疫情拖緩中國大陸經濟從而影響全球經濟、對工業供應鏈的影響、對物流的影響將衝擊泰國農產品和食品出口，以及對泰國旅遊業和國內經貿的影響。

歐洲理事會於2019年6月25日正式通過《歐盟-越南自由貿易協定》(EVFTA)與《歐盟-越南投資保護協定》(EVIPA)，隨後歐盟與越南6月30日在河內簽署兩項協定，唯在正式實施之前，兩項協定須先獲歐洲議會通過。2020年2月12日，EVFTA和EVIPA獲歐洲議會表決通過，EVFTA生效可望帶動越南新一波投資，包括資通訊、製藥和其他出口產業等。越南是

繼新加坡之後第二個與歐盟簽署FTA協定的東南亞國家，根據EVFTA協定，越南將與歐盟28個經濟體互享關稅優惠，越南將在10年內取消其99%的進口關稅，而歐盟將在7年內取消相同的關稅，為雙邊貿易與投資帶來正向幫助。目前歐盟為越南第四大貿易夥伴，僅次於中國大陸、韓國和美國，也是越南第二大出口夥伴，僅次於美國，2019年越南對歐盟的出口額達414.8億美元(約新台幣1.26兆元)。製藥產業方面，越南多年來一直在尋求特殊解決方案，例如藥品的直接進口及招標等，EVFTA通過可望對製藥業生態帶來重大變化。

2020年全球受到COVID-19疫情影響，全球所有經濟體中的國家皆預估2020年經濟成長嚴重衰退，甚至將呈現負經濟成長率。根據IMF 2020年4月資料顯示，2020年全球經濟成長預估皆大幅下滑，全球GDP成長率為-3.0%，亞洲發展中國家平均GDP成長率為1%，與2019年全球2.9%、亞洲發展中國家5.5%相比，下降超過5%~6%。從圖5-1可看出，印度、印尼與越南經濟成長維持小幅成長或持平，尤其以印度與越南GDP成長率2~3%為新南向國家中經濟成長率最高的國家。新加坡、馬來西亞以及泰國2020年經濟成長率負成長，又以泰國預期衰退最為嚴重[72]。



資料來源：IMF

圖 5-1 新南向國家疫後經濟成長情況

國際貨幣基金(IMF)2020年10月22日發布最新亞太區《區域經濟展望》報告，預估今年亞洲經濟衰退2.2%，縮減幅度比先前6月預估的1.6%更大，主要反映印度、菲律賓與馬來西亞等國為對抗疫情而導致經濟萎縮加劇。至於台灣，預估今年零成長，明年成長3.2%[73]。

IMF表示，印度與菲律賓第二季經濟活動驟減情況尤其嚴重，歸因於當時COVID-19感染案例不斷上升，促使政府延長封鎖時間。該機構預期，印度本財年(指2020年4月至2021年3月31日止)經濟衰退10.3%，減幅比6月預估的4.5%更擴大。菲律賓今年經濟衰退預測值，由6月預估的3.6%調整至8.3%。該機構並預料2020年馬來西亞經濟萎縮6%，高於6月預估的3.8%。

除瞭解上述總體產經狀況外，以下將依本計畫之新南向六國逐一簡要說明。

印度[2]：2019年臺印度雙邊貿易總額為57.96億美元，是我國第16大貿易夥伴、第14大出口市場與第18大進口來源。莫迪於2019年連任印度總理後，全球再度掀起了新一波的「印度旋風」，特別是力倡Make in India政策，積極到海外招商，企圖讓印度取代中國成為「全球製造中心」，也因此吸引無數外商爭相赴印度投資。根據英國研究機構Centre for Economics and Business Research (CEBR)的「World Economic League Table 2020」報告指出，印度會在2019年成為世界第5大經濟體，並可望於2026年超越德國成為世界第4大經濟體，再於2034年超越日本躍升為世界第3大經濟體。我國廠商可拓銷及投資印度的產業包括：電子及資通訊、智慧城市、汽機車零組件及紡織等。

印度經商便利度：自2014年全球第142名成長至2018年第77名，而經濟成長率：2014- 2018年維持在 7-8%之間，通貨膨脹率：自2014年5.8%逐年下降至2018年3.5%。2014年起陸續推出印度製造、數位印度、階段性製造計畫等產業政策帶動國際電子大廠至印度設廠，手機製造業成長最為迅速，2018年產值占整體電子製造業產值之34%。2018年印度電子製造業產值占 GDP 比重達4.2%，預計2020年將成長至5.7%。印度產業發展推動政策如圖5-2[74]。

印度產業推動政策總覽

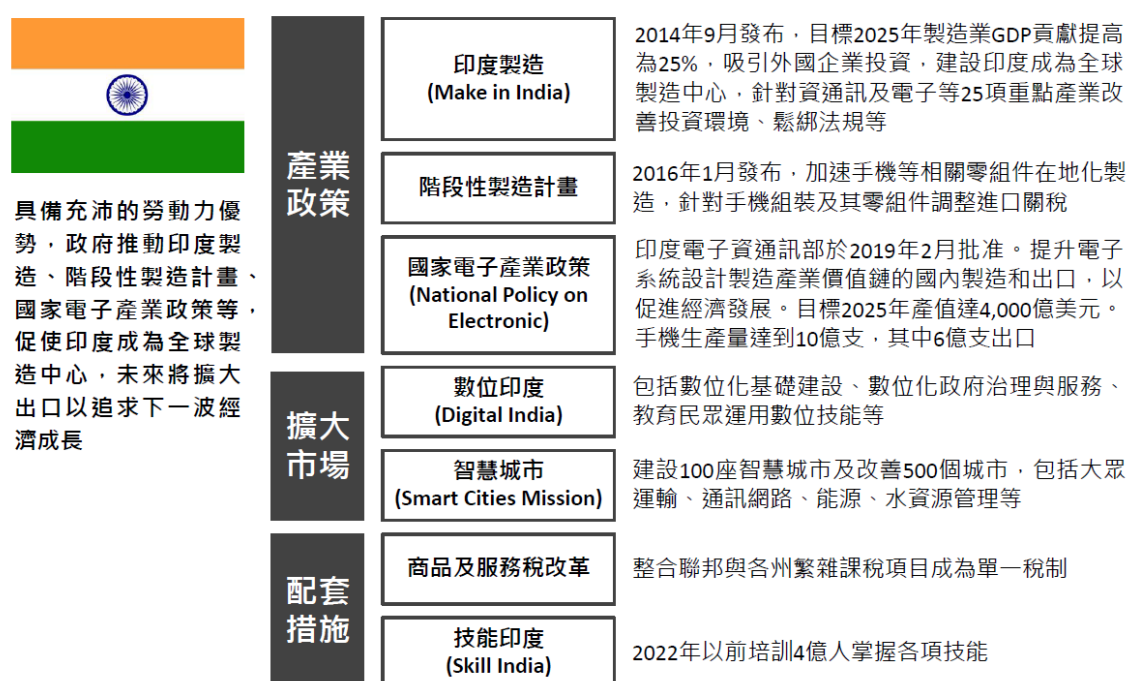


圖 5-2 印度產業發展推動政策總覽

而有關醫衛部分[75]：

根據WHO數據顯示2018年時印度醫師和病人的比例為1：1167，接近WHO的建議標準(1:1100)。目前印度政府醫療支出僅占整體GDP的1%，

民眾醫療支出自付費用高達62%。根據印度2017年〈國家衛生政策報告〉，印度政府希望於2025年以前增加政府醫療支出至整體GDP的2.5%。印度約68%醫療設施集中於37個邦和中央直轄區中的其中7個，城鄉醫療水準差異極大；此外，印度醫院病床嚴重缺短，根據WHO於2017的統計數據顯示每10,000人中僅有5.3張病床。

印度國內醫療器材約有75%仰賴進口，進口品項又集中在技術門檻較高之醫學影像(放射性治療儀器)、牙醫器材、高階電子診療儀器、眼科儀器、骨科矯形義肢、外科消毒儀器等高端技術醫材，而印度當地業者則以製造低階醫療器材為主。印度醫療器材市場於2019年的市場規模約為110億美元，預期2025年將增長至500億美元。而臺灣外銷印度的醫材以「醫用化學製品」、「眼鏡類」、「醫學影像裝置」、「手術與治療用醫療器材」較多。

在藥品部分，印度本身能夠自製約90%國內所需藥品，國際藥品公司在印度藥品市場占有率約35%。進口產品多屬用於抗癌及治療心血管疾病等新藥品。臺灣對印度出口最多的藥品類別為「原料藥」。台灣藥品於印度市占率約0.69%，年出口金額約3,945萬美元。

而由圖5-3，了解近5年我國對印度整體出口及醫衛產品出口情形，在今年上半年整體出口成長率是負成長38.3%，而醫衛產品出口是負成長7.9%。

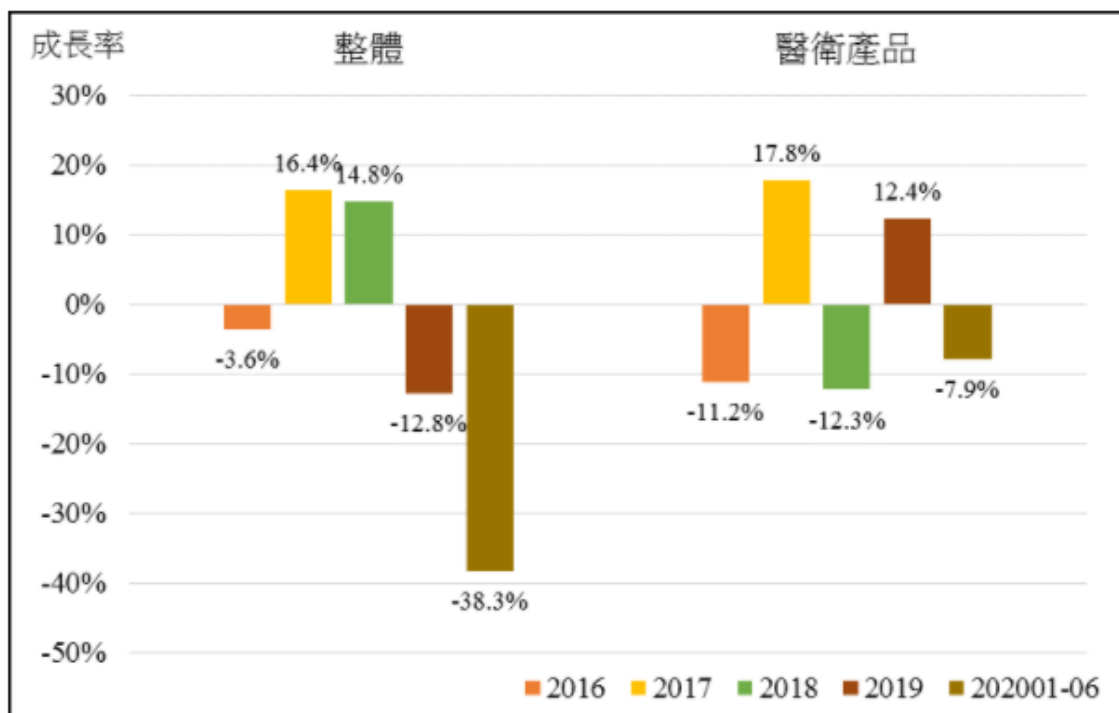


圖 5-3 近 5 年我國對印度整體出口及醫衛產品出口成長率比較

印尼[2]：2019年臺印尼雙邊貿易總額76.11億美元，印尼為我第16大貿易夥伴，我第16大出口市場，我第13大進口來源。印尼由近1萬8,000個島嶼組成，有「萬島之國」的稱號，地大、人多，為全球第4大人口國，僅次於中國大陸、印度與美國。且擁有豐富的天然資源及全球最多的穆斯林人口，已成為東協第1大經濟體並維持高成長趨勢。印尼擁有豐富的原油、天然氣、煤礦(出口量僅次於澳洲)、各種礦產、天然橡膠與原木等農工業原料，其中棕櫚油為全球最大生產國，占全球產量之50%，農作物產量方面，除棕櫚油外，咖啡、茶葉、香料、可可亞、稻米、橡膠等產量均在全球前10名內；就礦產而言，印尼也是全球最重要的煤(主要為熱燃煤)、金、錫及許多稀有金屬如鎳礦的產國之一。近10餘年國際原油、煤與原物料價格的大幅上漲，再加上中國大陸、印度與歐盟對棕櫚油及煤炭的大量

需求，使得印尼的經濟體質出現結構性的正面轉變。

印尼製造業仍處於發展階段，製造業占國民生產毛額(GDP)比例約為21%，以食品飲料、煤及精煉石油產品、運輸設備、紡織成衣、金屬製品、電子產品及設備、製鞋等為主；農林漁牧業約為13.3%，以棕櫚油、橡膠、稻米、可可及咖啡豆為主；礦業約為9.8%，以天然氣、煤礦、鎳礦及錫礦為主。

依經濟學人雜誌預估印尼民間消費市場規模自2014年5.1億美元每年以5.3%動能成長至2019年將達6.6億美元，經濟成長率：2014-2018年維持在5-6%之間。2018年東南亞創業生態系報告印尼創業風氣盛行，新創企業融資均值達2.2億美元，居東南亞之冠。而為進一步強化印尼製造業能力，印尼政府於2018年4月公布「印尼工業 4.0」(Making Indonesia 4.0)藍圖，希望使印尼在2030年成為全球第10大經濟體。印尼4.0初期鎖定智慧型手機零組件螢幕、充電器、物聯網產品製造，中期則鎖定電動車電池、物聯網產品製造及智慧型手機用相機，遠期目標則聚焦於半導體晶圓製造、工業及家用電池。印尼產業發展推動政策如圖5-4[74]。

印尼產業推動政策總覽



圖 5-4 印尼產業發展推動政策總覽

而有關醫衛部分[75]：

根據WHO的數據顯示，2018年印尼醫病比例高達1：2342，遠高於WHO建議標準1：1100，反映出印尼的醫師短缺問題仍然嚴重。目前印度政府醫療支出僅占整體GDP的1%，整體而言，印尼國內醫療服務缺乏投資與管理，醫療設備水準低落。如磁共振造影(MRI)、電腦斷層掃描儀(CT)這類昂貴的診斷和成像設備，大多仍只有印尼的主要城市和部分地區有提供相關醫療檢查服務。印尼高階醫療檢驗設備儀器的人口配比，較馬來西亞、新加坡、泰國等其他東南亞開發中國家為低。

印尼醫療器材大多仰賴進口，本土醫材製造商能提供的以拋棄式醫材和醫用傢俱為主。印尼政府將扶植本土醫材產業，希望至2035年，進口比

重可以降至45%。印尼2012~2016年自全球進口醫材產品大致呈穩定成長趨勢，平均年複合成長率為10.91%，顯示印尼醫材產品之需求呈現增加趨勢，市場商機相當龐大。2016年印尼進口最多的產品為「醫療外科牙科用儀器」(佔比30.4%)，其他重要進口品項包括：「檢驗試劑」(佔比14.3%)、「醫用冷藏設備」(佔比9.0%)、「超音波與核磁共振等電器診斷裝置」(佔比7.9%)、及「矯正視力眼鏡」(佔比6.8%)等。而印尼自臺灣進口的醫療器材則主要集中在「檢驗試劑」(佔比60.7%)和「傷口護理器材」(佔比17.0%)。台灣醫材於印尼市占率約1.69%，年出口金額約2,810萬美元。

在藥品部分，印尼學名藥約占總藥品市場的40%，臺灣藥品出口印尼較多的藥品類別為「中西藥品」和「原料藥」，台灣藥品於印尼市佔率於新南向政策推動後則提升至0.39%。

而由圖5-5，了解近5年我國對印尼整體出口及醫衛產品出口情形，在今年上半年整體出口成長率是負成長18.5%，而醫衛產品出口是正成長17.5%。

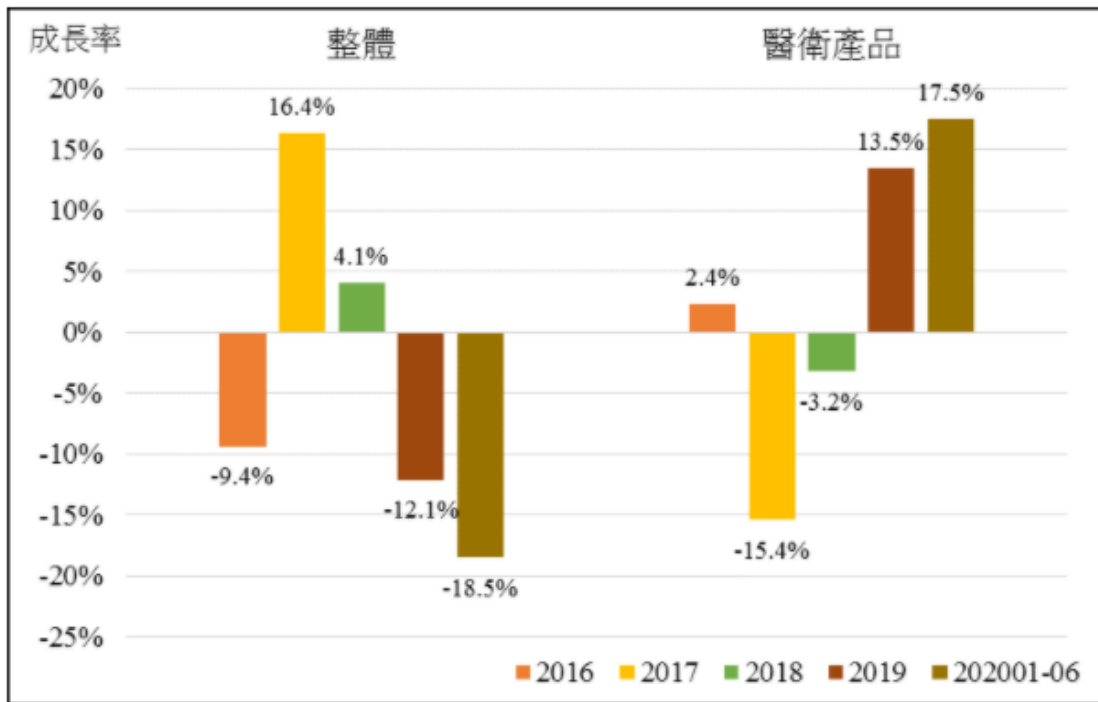


圖 5-5 近 5 年我國對印尼整體出口及醫衛產品出口成長率比較

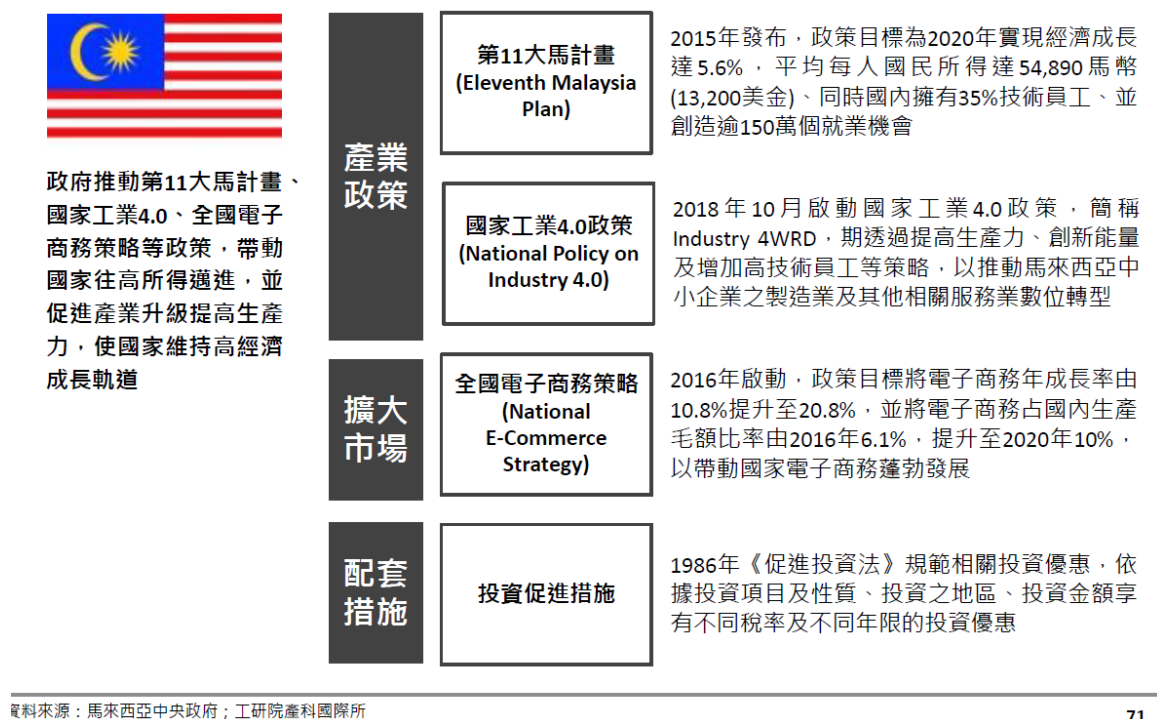
馬來西亞[2]：2019年雙邊貿易總額約198.39億美元，為我國第7大貿易夥伴，第8大出口市場，第5大進口來源。馬來西亞向為我國主要出口市場之一，雙方貿易關係非常密切。馬國是多元種族的國家，其中本地人(馬來人及各種原住民)約占67.4%，華人24.6%。

「工業4.0」(Industry 4WRD) 係馬國重點經貿政策之一，該政策經馬國於2018年10月31日正式公布期透過提高生產力、創新能量及增加高技術員工等策略，以推動馬來西亞中小企業轉型。世界銀行評估只要馬來西亞人均國民所得(GNI)維持4-4.5%成長率，則2024年前就能躍身為高所得國家。經濟成長率：2014 -2018年維持在5-6%之間。

馬國政府推動第11大馬計畫、國家工業4.0、全國電子商務策略等政策，帶動國家往高所得邁進，並促進產業升級提高生產力，使國家維持高

經濟成長。馬來西亞產業發展推動政策總覽如圖5-6[74]。

馬來西亞產業推動政策總覽



71

圖 5-6 馬來西亞產業發展推動政策總覽

而有關醫衛部分[75]：

馬來西亞並未建立全民健康保險制度，根據2017年數據顯示，整體醫療支出佔GDP 3.9%，政府醫療開支占GDP約2%，而民眾自費部份占整體醫療支出約37.9%。馬來西亞政府積極推動國際醫療服務，於2009年起直屬衛生部之「馬來西亞醫療保健旅遊委員會」以推動馬來西亞成為醫療保健旅遊的首選地。依2018年MHTC作統計，該年度醫療旅客超過120萬人次，國際醫療營收約有3.61億美元，2011年至2018年間複合年成長率高達15%。「第十一屆馬來西亞2016-2020計畫」(Eleventh Malaysia Plan 2016–

2020)為馬來西亞五年之國家整體發展架構，其中醫療健康政策：成為「共同努力改善健康的國家」。

馬來西亞2018年的醫療器材市場規模約為24.7億美元，馬來西亞主要生產的醫療器材以手術及檢測手套、導尿管、注射器、針頭、縫合線等耗材為主。目前馬來西亞為亞洲糖尿病患者人數最高的國家，五個成年人中便有一人患有糖尿病。同時心血管相關疾病高據國內死亡率第一位，可見像血糖及血壓等個人監測設備的市場潛力龐大。馬來西亞(2018年至2019年)自臺灣進口醫衛產品年平均金額為8,221萬美元，其中醫材占六成，較多的醫材類別為「眼鏡類」。

在藥品部分，2017年馬來西亞的藥品市場規模約為29億美元，年均成長率為10%。當地藥廠中超過三分之二是以生產傳統草藥為主，其餘則是生產學名藥。目前馬來西亞正積極發展其清真藥物產業，並爭取成為該產業的領頭羊。現今全球的清真認證產品中約三分之一為藥物，而馬來西亞已經訂立全球第一個清真藥物產品在生產及處理程序的國際標準。馬來西亞(2018年至2019年)自臺灣進口醫衛產品中藥品占四成，藥品以「中藥材」和「中西藥品」對馬國出口較多。

而由圖5-7，了解近5年我國對馬來西亞整體出口及醫衛產品出口情形，在今年上半年整體出口成長率是負成長8.8%，而醫衛產品出口是負成長4.8%。

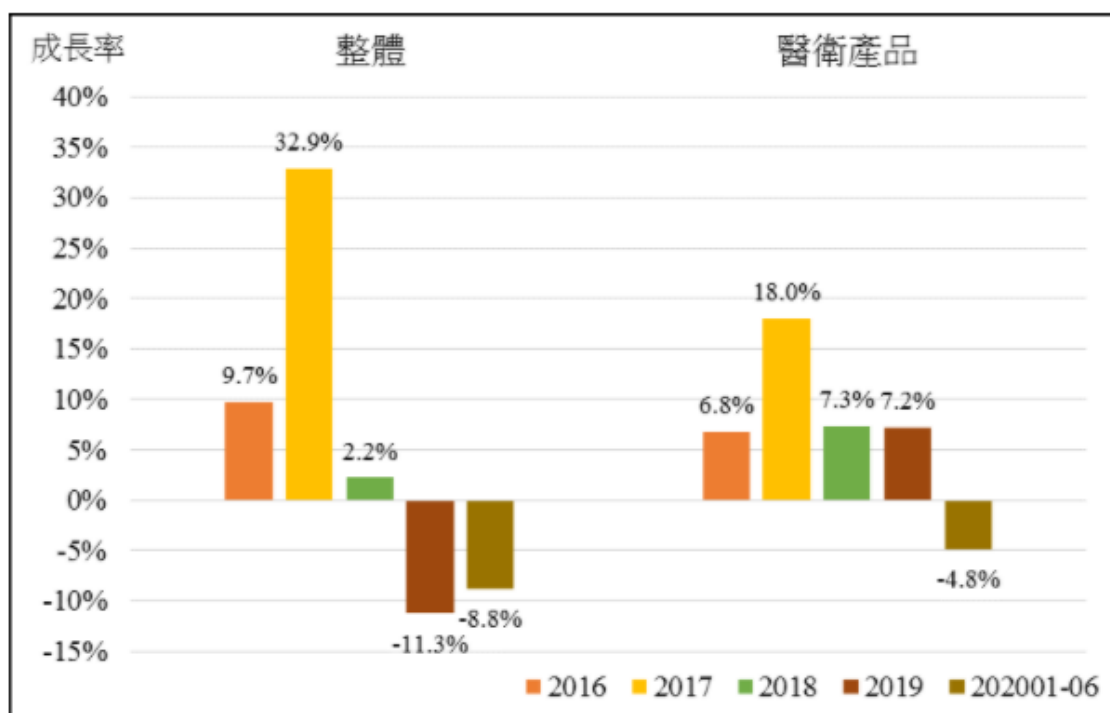


圖 5-7 近 5 年我國對馬來西亞整體出口及醫衛產品出口成長率比較

新加坡[2]：2019年臺星雙邊貿易總額約261.11億美元，是我國第6大貿易夥伴、第5大出口市場與第9大進口來源。城市島國的新加坡，國土面積小於臺灣，被譽為東南亞金融中心。目前，服務業占GDP的70.3%，主要服務業包括批發零售貿易、商業服務、金融保險、運輸倉儲；製造業占GDP的20.9%，包括電子、生物醫藥、石油石化、精密工程。

新加坡的生物醫藥業是發展最快的產業之一，是製造業第二大生力軍，占製造業產值近20%。除了在醫學及臨床研究方面建立了許多先進的硬體設施，生物醫藥開發的軟實力也是世界一流的水準。2015年1月，日本中外製藥(Chugai)宣布擴大新加坡科研部門，並投注資金約3.5億美元；日本武田製藥(Takeda)也宣布擴大其在新加坡的業務，在新加坡設立武田亞洲開發中心、疫苗事業部和亞太區總部；美國製藥大廠艾伯維(AbbVie)在

2016年耗資3.2億美元打造新廠；英國葛蘭素史康(GSK)將其總部亞太總部搬遷至新加坡，新總部已在2017年下半年落成，葛蘭素史康(GSK)看好亞洲新興市場，並且預計其製藥、保健與疫苗業務會在亞洲市場取得快速的增長[76]。

除此之外，在全球10大生物製藥公司中，有8家在新加坡設立主要生產設備；而全球10大藥物當中，更有4種在新加坡製造。目前共有29間世界頂級的製藥和生物技術公司在新加坡投資設立超過25個大規模生產基地，包括：羅氏藥廠(Roche)、諾華(Novartis)、葛蘭素史康(GSK)、龍沙(Lonza)、亞培(Abbott)、默克(Merck Sharp & Dohme)、賽諾菲-安萬特公司(Sanofi-Aventis)、先靈葆雅(Schering-Plough)和惠氏(Wyeth)等國際藥廠，紛紛選擇在此設立其全球製造基地。

而新加坡為建立永續發展的生物醫藥科學研發能力，由新加坡經濟發展局與新加坡科技研究局(Agency for Science, Technology and Research, 簡稱A*Star)兩大政府部門合作，規劃完整的科學園區和工業區，包含專注創新研發的啟奧生物醫藥園區(Biopolis)與專以生產製造為主的大士生物醫藥園區(TBP)，並制定彈性的法規與制度，提供各種優惠措施和服務。並且在新加坡所有進行商業運營的藥物製造工廠均獲得美國食品及藥物管理局(FDA)和歐洲藥品管理局(EMA)等國際認證，也因此百特(Baxter)、龍沙(Lonza)、葛蘭素史克(GSK)及羅氏(Roche)在新加坡成立主要生物製劑生產設施。

在研發領域方面，新加坡開始著重新藥研發，與各科研院所、企業實驗室和醫院建立了戰略夥伴關係，共同開發適用於區域和全球市場的新藥物。像是葛蘭素史康生物製品有限公司(GlaxoSmithKline Biologicals)與新加坡生物處理科技研究院攜手合作，共同致力於疫苗及其生產的開發；阿

斯利康(AstraZeneca)與新加坡國立癌症中心(National Cancer Centre Singapore)及國立大學醫院(National University Hospital)攜手合作，共同開展抗癌化合物的臨床開發工作，提高阿斯利康在亞洲地區的藥物研發能力；新加坡免疫學聯網(SIgN)與歐洲兩大生物技術公司——Humalys SAS 公司和瑞士商塞托斯生物技術公司(Cytos Biotechnology Ltd)攜手合作，共同開發用於對抗和控制包括腸病毒在內的亞洲地區流行病病毒；美商FORMA Therapeutics 公司與新加坡試驗治療中心(Experimental Therapeutics Centre)攜手合作，共同致力於創新治療方法的開發工作。

新加坡亦逐漸成為亞洲科研中心，國際藥廠紛紛進駐展開長期科研計畫，像是拜耳醫藥保健(Bayer Healthcare)亦與當地學術機構共同展開合作專案，進一步加強早期癌症診斷與治療方面的研究。葛蘭素史康(GSK)在新加坡設立該公司的卓越學術中心(Academic Centre for Excellence)，首批科研計畫主要涉及眼科、再生醫學和神經系統退化等領域。一些國際著名研究機構，如美國癌症研究協會，也選擇與新加坡的科研院所攜手合作。其中包括阿斯利康藥劑公司(AstraZeneca)、拜耳(Bayer)、德國百靈佳殷格翰製藥公司(Boehringer Ingelheim)、美國施貴寶(Bristol-Myers Squibb)、葛蘭素史康(GSK)、默克(Merck)、昆泰企業(Quintiles)、賽諾菲-安萬特(Sanofi-Aventis)和先靈葆雅(Schering-Plough)等。

泰國：2019年臺泰雙邊貿易總額為120.61億美元，我國為泰國第4大貿易逆差來源國及第12大貿易夥伴。經濟成長率：2015-2018年維持在3-4%之間，2018年服務業占泰國GDP達54.9%，其次是工業36.6%及農業8.5%。主要產業包括電子電機、汽車製造、紡織成衣、家具製造、美妝等。泰國為全球電子電機及零組件(E&E)領先的生產基地，產品主力為積體電路(IC)以及硬碟驅動器(HDD)，分別占泰國電子產品出口的56%與

24%，近年電子電機產業約占泰國出口總額的25%，是支撐泰國經濟與投資的重要產業。泰國政府將電動車列為優先推動之產業之一，積極促成泰國成為全球電動車製造業中心，並吸引電動車核心技術之業者至泰國投資設廠。紡織服裝業是泰國最大的製造業之一，年出口金額達70餘億美元，是第二大出口產業。目前泰國化妝品產業規模總值在全球排名第17位，而且出口主要集中在東協市場，泰國已經成為東協地區最大的美妝保養品生產和研發中心，每年化妝品美妝和保健產品類總產值在95.24億美元以上。泰國產業政策主要為「泰國4.0」及「東部經濟走廊」，藉此促進重點產業數位轉型，並搭配投資誘因措施吸引外資及國際大廠投資泰國與當地企業，合作帶動國家製造業技術層次升級。泰國產業發展推動政策如圖5-8[74]。

泰國產業推動政策總覽



資料來源：泰國中央政府；工研院產科國際所

121

圖 5-8 泰國產業發展推動政策總覽

而有關醫衛部分[75]：

2017年泰國政府的醫療支出約占GDP的2.9%，而民眾自費醫療支出占整體醫療支出約為11.1%，整體醫療支出占GDP約3.7%。私立醫院多為國際醫療等級，除此之外，泰國獲得國際醫院評鑑(JCI)的醫院數量亦居於東協國家之冠；且「泰國：健康與醫療服務的中心(Thailand: A Hub of Wellness and Medical Services) (2016-2025)」之策略計畫，讓泰國有計畫將其打造為亞洲醫療中心，目前泰國已逐漸在醫療觀光產業嶄露頭角。

泰國的醫療器材市場規模目前在亞太地區排名第8位，醫材市場需求以醫療耗材及診斷影像器材為主，當地廠商大多只能生產像血液導管、皮下注射器、鏡片等低階醫療產品，較為高階的醫療器材絕大多數依賴進口。現已有國際大廠奇異亞洲醫療設備在當地設廠生產超聲波及放射性檢測設備、呼吸機等產品。目前泰國醫療器材出口總額中一次性使用器材占84%、耐用醫療器材占15%及試驗和檢測組占1%。臺灣醫材在泰國出口較多的產品類別為「醫用化學製品」和「眼鏡類」；藥品約占二成，臺灣出口泰國較多的藥品類別為「中西藥品」和「原料藥」，臺灣部分重要出口產品在泰國面臨高關稅之障礙。

而由圖5-9，了解近5年我國對泰國整體出口及醫衛產品出口情形，在今年上半年整體出口成長率是負成長7.9%，而醫衛產品出口是正成長10.6%。

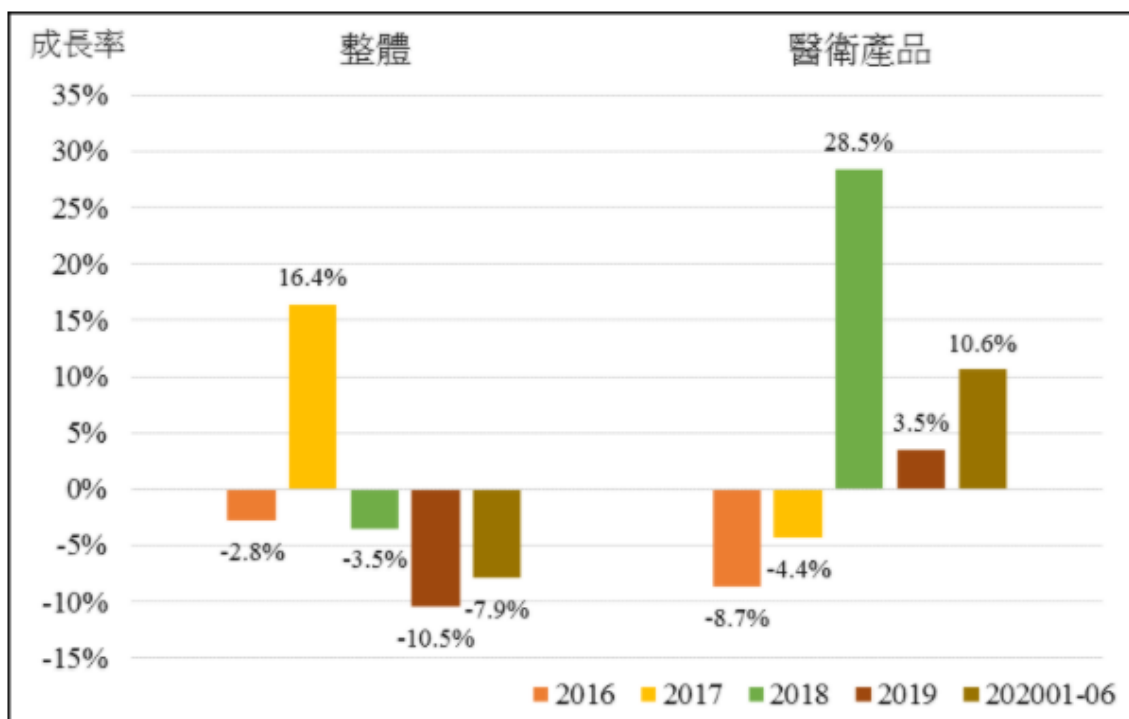


圖 5-9 近 5 年我國對泰國整體出口及醫衛產品出口成長率比較

越南：位於中南半島東岸，除煤、稀土、鎢、錫、石灰石及鐵，另有石油及天然氣，天然資源蘊藏豐富。由共產黨一黨專政，自1986年開始施行改革開放後貿易出口急速成長，其中電子業一片欣欣向榮。北越除接壤中國便利進口元件及日本汽車大廠深耕培育無數電子電工技術人才等因素吸引電子製造大廠進軍打造第二個世界工廠。越南手機及相關零組件出口值自2013年212.5億美元成長至2018年490.8億美元。紡織同樣是越南重點產業之一，目前人造纖維幾乎全仰賴進口。2018年，GDP：2,380億美元，成長率：7.08%(較2017年)；人均GDP：2,587美元，物價成長率：3.54%。2035年經濟政策願景，人均GDP可達10,000美元而成為中高收入國家。

在美中貿易戰持續延燒以及越南政府積極與各國簽訂 FTA 等因素下吸引以歐美為目標市場之企業離開中國大陸至越南設廠。以越南製造

2030計畫、工業4.0及市場機制為基礎迅速發展永續經濟及改善競爭力。
越南產業發展推動政策如圖5-10[74]。

越南產業推動政策總覽



147

圖 5-10 越南產業發展推動政策總覽

而有關醫衛部分[75]：

因城鄉差距大，醫療資源和專業醫療人力不足且分配不均，醫療支出佔整體GDP約6%。越南傳統醫學以本土傳統醫學與中醫並存，包含本土傳統藥、中藥、針灸、按摩等治療方式。整體而言，越南傳統草藥使用比例約為3.5%。越南目前正推行「2016-2020健康計畫」，進行人民保護、照護及改善人民健康計畫。

其醫療器材90%仰賴進口，2017年越南進口醫療器材市場總值達到11億美元。進口醫材設備主要集中在X光機、超音波，核磁共振、斷層掃描

等診斷成像設備、外科手術相關器材(如：內視鏡)，滅菌設備、檢測設備和醫療廢棄物處理設備等。藥品市場，越南本土製藥廠約占45%，其他55%則倚賴進口。越南本土藥廠多產製基礎學名藥，針劑類及高端藥品如抗癌藥、蛋白質藥的製造能量不足，此外，90%的有效藥物成分則倚賴進口。

而由圖5-11，了解近5年我國對越南整體出口及醫衛產品出口情形，在今年上半年整體出口成長率是負成長11.7%，而醫衛產品出口是正成長64.1%。

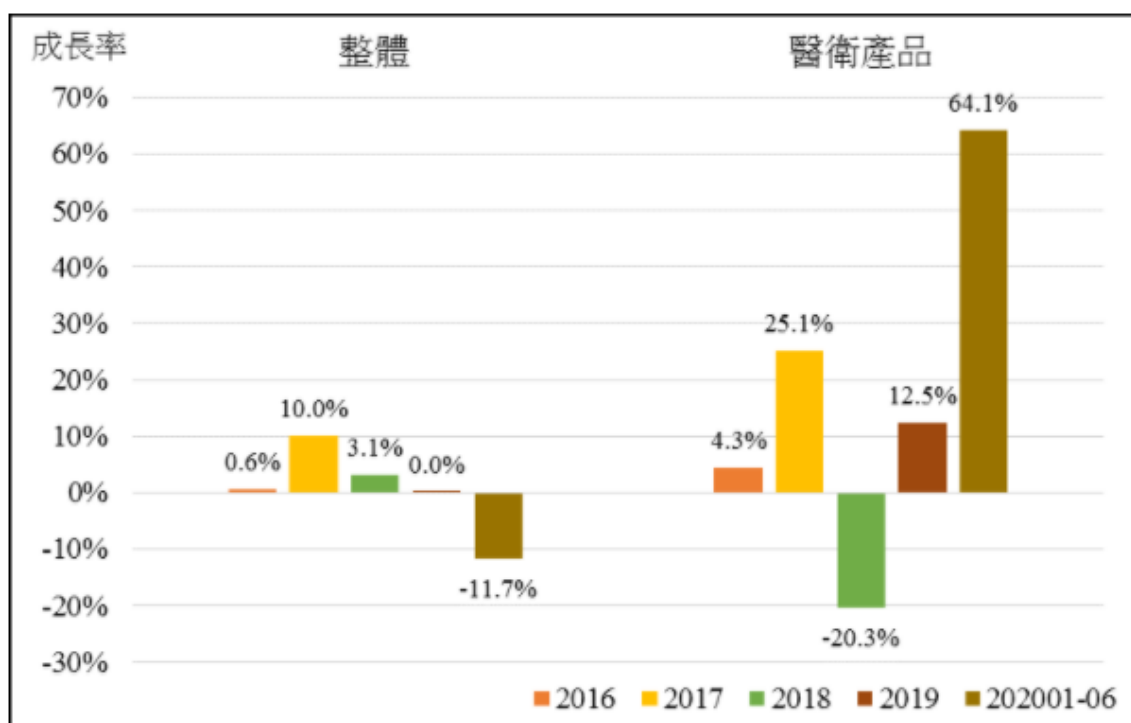


圖 5-11 近 5 年我國對越南整體出口及醫衛產品出口成長率比較

5.2 我國在原子能科技發展之現況

核能發電方面：

台灣 1960 年代為支撐國內經濟蓬勃發展所需的電力及確保能源的穩定供應，於 1970 年核准興建核一廠，1971 年底開始施工；核一廠列

入十大建設計畫優先興建工程，第二、第三核能電廠則列入後續十二大建設計畫。台灣目前有核二及核三廠共 2 座核能電廠運轉發電中，而核一廠依計畫辦理除役中，如表 5-1[77]。而核能研究所配合政府政策，早年主要發展核能科技，建立紮實的本土化核能技術，在核能電廠安全維護與營運績效提升方面扮演關鍵角色，同時也負責處理我國醫、農、工業產生之低放射性廢棄物，以確保其安全維護；此外，因應國內核後端的需求，核能研究所也積極發展核設施除役及放射性廢棄物處置等相關技術。

表 5-1 台灣核能發電廠之運轉情況

核廠代號	機組	商轉日期	役期屆滿日期	裝置容量(萬瓩)
核一廠	一號機	67年12月	107年12月	63.6
	二號機	68年07月	108年07月	63.6
核二廠	一號機	70年12月	110年12月	98.5
	二號機	72年03月	112年03月	98.5
核三廠	一號機	73年07月	113年07月	95.1
	二號機	74年05月	114年05月	95.1
龍門廠	一號機	資產維護管理	NA	135
	二號機			135

醫學領域統計方面：

隨著放射醫學技術日益精進、治療設備推陳出新，我國放射治療設備普及率與新穎程度，已與先進國家不相上下。我國整個放射治療技術演進如圖 5-12 [核研所保健物理組度量分組繪製] 所示，自 1930 年第一台深部 X 光治療機開始，後續醫用直線加速器、Co-60 治療機、

加馬刀、後荷式近接治療、影像導引放射治療等，直至 2015 年臺灣第 1 座質子治療儀、2018 年磁振造影導引放射治療儀、2020 年臺灣第 1 座磁力共振影像導引放射治療等。



圖 5-12 我國放射治療技術演進

醫用直線加速器利用微波加速加速管內，由電子槍所產生的電子，使其成為高能量電子束，經由磁鐵偏轉 270 度，自治療機頭引導出來。最常見的是再打到金屬靶上產生高能 X 光，用來治療體內較深的腫瘤。直線加速器所產生的 X 光因能量強、穿透性高、輸出率大、半影區小，搭配多葉準直儀(multileaf collimator, MLC)、電腦治療計畫、低劑量 X 光影像導引系統、及其他附屬精密設備，即可執行三度空間順行放射治療、強度調控放射治療、立體定位放射治療、及影像導引放射治療等，廣泛應用於各式腫瘤治療[78]。常見光子射束峰值管電壓為 6、10 或 15 MV，電子射束則為 6 至 18 MeV，為達到「照的不偏不倚，照得不多不少」的治療目的，因此定位雷射、劑量輸出準確性、射束品質、機械/輻射旋轉中心都是品保重要項目之一，其誤差值僅能容許 2 mm 或 2% 以下。

而依據國際粒子放射治療合作組織 Particle Therapy Co-Operative

Group 資料顯示[79]，裝置有粒子放射治療儀相關國家的家數如表 5-2 。除了印度現有 1 家醫院有此裝置外，其餘國家皆無；台灣相較新南向國家而言，進展較快速。

表 5-2 台灣及新南向六國之粒子放射治療中心情況

國家	使用中	興建中	規劃中
台灣	2 家(台北長庚 2015、高雄長庚 2018)	2 家(台大、台北榮總)	1 家(中山醫大)
印度	1 家(2019)	2 家	1 家
印尼	0	0	1 家
馬來西亞	0	0	0
新加坡	0	2 家	1 家
泰國	0	1 家	0
越南	0	0	0

基於國際網站資料可能未能即時反映台灣之現況，我們可以看到本土資料(圖 5-13)顯示台灣未來(含現在已建置)將共建置有 11 台粒子治療中心[80]，這 10 家醫院分別是台北長庚、高雄長庚、北醫、台大、淡水馬偕、彰基、台北榮總、高醫、花蓮慈濟、中國醫大。另外中山醫大今年於 60 週年校慶亦表示其將於 2024 年設立質子治療中心。台灣打造國際質子治療示範點，為全球粒子設備密度最高，因此台灣成為東協及南向國家患者治癌的首選[81]。



圖 5-13 我國既有及規劃中的粒子治療中心

依原能會最新(108 年)統計，如表 5-3[82]，各醫療機構醫用可發生游離輻射設備計有 20,435 台，若扣除牙科型 X 光機 14,057 台外，餘尚有 6,378 台。

表 5-3 各醫療機構醫用可發生游離輻射設備之證照數量統計

設備類別 機構	X 光機 定位儀	電腦刀	電腦斷層 治療機	直線加 速器	電腦斷層 掃描儀	乳房攝影用 X 光機	研究用	高強度輻 射設施	牙科型 X 光機	巡迴車用 X 光機	骨質密 度儀	移動型 X 光機	診斷型 X 光機	震波碎石 定位用 X 光機	心導管或 血管攝影 用 X 光機	總計
公立醫療院所	2	2	3	32	153	69	7	0	295	26	70	338	476	46	84	1,603
牙醫院所	0	0	0	0	0	0	0	0	13,161	1	0	8	1	0	0	13,171
私立醫療院所	0	1	6	27	150	141	7	0	142	39	205	420	1,298	53	55	2,544
軍方醫療院所	0	0	1	8	31	11	0	0	52	8	12	94	77	12	14	320
檢驗放射所	0	0	0	0	0	1	1	0	66	82	10	8	166	0	0	334
醫療社團法人	0	0	2	10	62	47	0	0	72	22	30	156	145	28	33	607
醫療財團法人	3	3	8	72	227	121	11	2	269	12	85	444	392	59	148	1,856
總計	5	6	20	149	623	390	26	2	14,057	190	412	1,468	2,555	198	334	20,435

註：含固定型、巡迴車，不含活體組織切片檢查(biopsy)

而我國有關造影技術的演進如圖 5-14[核研所保健物理組度量分組繪製]，由 1900 年開始 X 光診斷，後再有單光子電腦斷層 SPECT、電腦斷層掃描 CT、正子造影掃描 PET，至 2010 年分子影像；其協助許多癌症、心血管、失智等各項疾病的診斷。



圖 5-14 我國有關造影技術演進

依原能會最新(108 年)統計，如表 5-4[82]，各醫療機構設置各型醫用放射性物質之證照有 476 張。其中以密封型校正用射源 316 件最多，而核子醫學之非密封型射源 81 件次之。

表 5-4 各醫療機構設置各型醫用放射性物質之證照數量統計

類別 機構	一般近接 治療射源 (I-125)	加馬刀 (Co-60)	遙控後荷 治療射源 (Ir-192)	遠隔治療 射源 (Co-60)	血液照射 (Cs-137)	放射免疫 分析	生產設施 ¹	核子醫學 ²	校正用 ³ 射源	總計
公立醫療 院所	0	4	10	0	5	1	2	19	89	130
私立醫療 院所	0	2	5	0	3	1	1	15	43	70
軍方醫療 院所	0	0	1	0	1	0	1	5	14	22
檢驗 放射所	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
醫療社團 法人	1	0	4	0	0	0	1	6	19	31
醫療財團 法人	1	4	16	0	9	1	5	36	151	223
總計	2	10	36	0	18	3	10	81	316	476

註：1.生產設施主要為 F-18、C-11、N-13、O-15...等放射性物質。

2.核子醫學所用之射源包括 Tc-99m、Tl-201、Ga-67...等非密封放射性物質。

3.校正用射源包括 Co-57、Ge-68、Cs-137...等密封放射性物質。

而依據衛福部 108 年特定醫療技術檢查檢驗儀器設備數及使用人次統計[83]，如表 5-5。電腦斷層掃描儀全國合計有 426 台，使用人次達 2,652,169；磁振造影機全國合計有 252 台，使用人次達 923,041；高能遠距放射治療設備全國合計有 169 台，使用人次達 1,315,999。

表 5-5 108 年特定醫療技術檢查檢驗設備數及使用人次統計

		設備數(台)			使用人次		
		公立醫 院	非公立 醫院	合計	公立醫院	非公立醫院	合計
特定 醫療 技術 檢 查 檢 驗 醫 療 儀	電腦斷層 掃描儀	133	293	426	876,899	1,775,270	2,652,169
	磁振造影 機	70	182	252	275,235	647,806	923,041
	高能遠距 放射治療 設備	44	125	169	417,187	898,812	1,315,999
	近接式放 射治療設 備	10	28	38	2,341	4,753	7,094
	單光子斷 層掃描儀	44	94	138	127,833	277,356	405,189
	正子斷層	14	46	60	17,747	42,562	60,309

器 設 備	掃描儀						
	高壓氧設備	43	64	107	41,235	102,594	143,829
	重粒子治療設備	--	--	--	--	--	--
	單機型質子機	--	--	--	--	--	--
	多治療室質子機	--	--	--	--	--	--

另外我國醫用類輻射作業人員數量歷年統計如圖 5-15，自 2000 年 8,510 人增至 2019 年 20,291 人，凸顯我國在此方面之業務及人員培訓之增長。

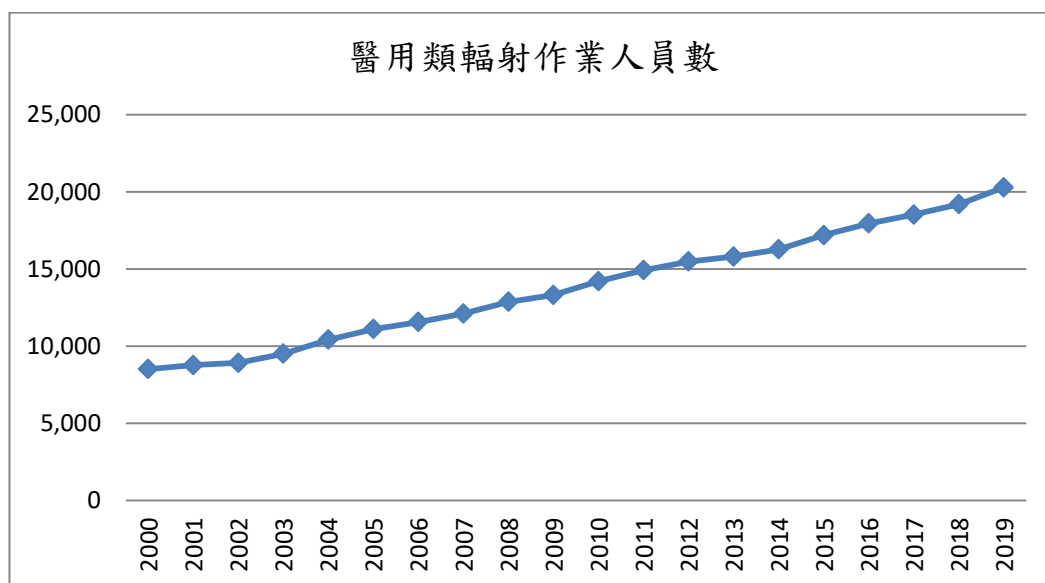


圖 5-15 我國醫用類輻射作業人員數量歷年統計

原能會依游離輻射防護法第十七條第三項規定訂定輻射醫療曝露品質保證標準[84]，該標準 2005 年實施，2011 年增訂為 11 大項；2019 年增訂 MLC、新型加馬刀等細項，並將國際等同之輻射標準技術引入輻射醫療曝露品保中。而第 2 條規定醫療機構使用下列放射性物質、

可發生游離輻射設備或相關設施時，應擬訂醫療曝露品質保證計畫。

- 一、醫用直線加速器。
- 二、含鈷六十放射性物質之遠隔治療機。
- 三、含放射性物質之遙控後荷式近接治療設備。
- 四、電腦斷層治療機。
- 五、電腦刀。
- 六、加馬刀。
- 七、乳房 X 光攝影儀。
- 八、診斷用電腦斷層掃描儀。
- 九、核醫用電腦斷層掃描儀。
- 十、電腦斷層模擬定位掃描儀。
- 十一、X 光模擬定位儀。

第 3 條規定醫療曝露品質保證計畫應載明下列事項：

- 一、醫療曝露品質保證組織。
- 二、操作程序書。
- 三、應實施之校驗項目。
- 四、校驗項目之實施頻次及結果或誤差容許值。
- 五、偏離誤差容許值時之處理方法及改進措施。
- 六、品質保證紀錄。
- 七、人員訓練。
- 八、定期查核事項。
- 九、其他經主管機關公告之事項。

我國現有規定須實施醫療曝露品質保證之各設備證照數如表 5-6 所示[82]，總計 1,234 張，依序是電腦斷層掃描儀、乳房 X 光攝影、醫

用直線加速器(LINAC)。

表 5-6 應實施醫療曝露品質保證之各設備證照數

診療設備名稱	證照數(張)
醫用直線加速器(LINAC)	149
含放射性物質之遙控後荷式近接治療設備	36
含鈷六十放射性物質之遠隔治療機	0
加馬刀(Gamma Knife)	10
電腦刀(CyberKnife)	6
電腦斷層治療機(Tomotherapy)	20
乳房 X 光攝影儀(不含停用中設備)	390
電腦斷層掃描儀(不含停用中設備)	623
總計	1,234

研發應用方面：

根據國人十大死因統計，惡性腫瘤連續三十幾年蟬聯首位，而全球每年約新增 1 千多萬人罹患癌症，隨著癌症患者持續增加，早期診斷與合併治療更是未來對癌症治療發展的趨勢。

核研所開發低劑量三維 X 光造影儀—Taiwan TomoDR[85]，應用數位斷層合成(Digital Tomosynthesis)技術，加入可任意方向掃描以及能依病灶部位的不同，簡便切換仰躺或站姿造影之專利機構設計；除一般二維造影功能外，能以小角度掃描及低輻射劑量，呈現三維診斷影像，且影像品質與電腦斷層掃描(Computed Tomography, CT)相近，使病灶一覽無遺。其獨特的專利三維影像重建技術，突破習用技術限制，使

影像重建速度達商用要求，多項創新設計與特色，達到降低病患吸收劑量，提供最佳影像品質與縮短整體造影流程時間，協助醫師做更精確之判讀，為放射影像診斷之一大利器。

核研多薈克鎳肝功能造影劑完成一期臨床試驗[85]，肝臟需要有一定數量的肝實質細胞才能發揮肝臟功能運作，若太多肝細胞缺席，肝臟就會因為衰竭，猶如工廠沒有工人而必須關廠。肝癌無論在全球、美國和台灣都是重大的十大癌症死因(全球排名第四、美國排名第八、台灣排名第三)。去唾液酸醣蛋白受體是肝細胞膜的表面受體，負責血液醣蛋白的恆定，具有吸收、代謝與排除等功能，所以受體的數量可以反應肝細胞功能。核研所以其分子影像平台之優勢，透過多聚乳醣標靶肝受體技術，完成透視肝功能造影藥劑開發。經過 6 年的長期研究，證實非侵襲性肝受體造影技術可以實際反應肝臟組織上的受體變化。

巴金森氏病是老年人的三大腦病之一，其他兩種是腦中風和老人癡呆症。巴金森氏病的病因目前仍不清楚，推測是由腦內黑質中製造多巴胺的細胞退化所造成的；多巴胺是一種控制肌肉運動的神經傳導物質。巴金森氏病目前已有多种藥物可供使用，但都只能改善症狀而已。這些藥物以多巴藥物為主，藉由供給多巴胺神經多一點多巴藥物，以製造出更多的多巴胺來彌補神經退化所減少的製造量。臨床上常用的電腦斷層掃描(CT)或是核磁共振掃描(MRI)可以用來排除腦部傷害或其他疾病所造成的巴金森氏症候群，卻無法顯示多巴胺神經的死亡或是功能喪失。現在可以藉著核子醫學造影來評估多巴胺神經的功能，以判斷是否為典型的巴金森氏病。要發展高專一性、能直接診斷巴金森氏病的造影技術，必須仰賴能忠實反映巴金森氏病患者腦部多巴胺

神經活性的造影藥物。核研所研發之核研多巴胺轉運體造影劑，針對多巴胺轉運體蛋白進行造影，選擇開發 Tc-99m-TRODAT-1，這種化合物是古柯鹼的衍生物。Tc-99m 這種放射性物質適用於 SPECT 造影，具有容易獲得與價格便宜的優勢。而 Tc-99m-TRODAT-1 藥物的配方可製成一凍晶小瓶，醫院需要進行造影時再加入 Tc-99m 加熱，即可完成配藥提供患者使用[86]。如圖 5-16，醫院可隨時配製，非常方便且具有彈性。

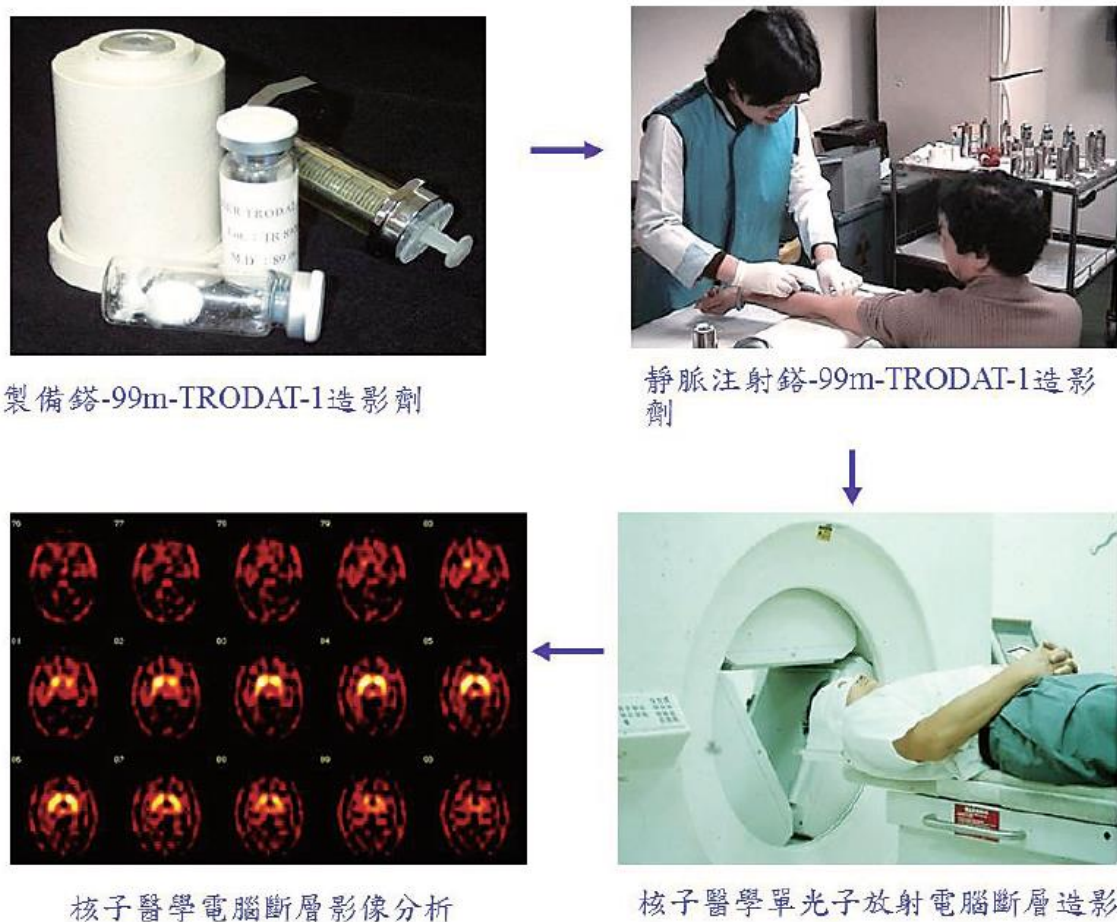


圖 5-16 Tc-99m-TRODAT-1 核子醫學造影流程

精準醫療時代，美國食品藥物管理局(FDA)正推廣導入核醫分子

影像技術，以壓縮新藥開發時間。核研所建立新藥篩選分子影像平台，及放射性同位素標幟標靶抗體或胜肽藥物技術，可檢視藥物在生物體分布位置及評估藥物對腫瘤之結合能力，未來在臨床上可以非侵入性方式分析藥物分布、檢測轉移之癌細胞、病人篩選、療程監控及預後評估，達成先篩選後精準治療的個人化醫學目的。核研所擁有標誌、套組、分析、影像應用等專利達 140 餘項，平台經驗及快速篩選技術具有競爭優勢[87]。新藥篩選分子影像平台可提供產、學、研及醫界，藥物開發、臨床前驗證、臨床試驗申請等所需技術及相關諮詢服務，大幅縮短新藥開發時程，篩選服務僅需國外廠商費用 1/3，能有效降低機會成本。國外已有多家大型分子影像服務機構，顯見分子影像技術應用於新藥開發已漸趨成熟。

正子斷層攝影術(Positron Emission Tomography, PET)已被證實是癌症檢查有效的利器之一，近年來也被大量的應用在醫用診斷上，然而其相對於常用影像檢查，如 X 光、超音波等的高昂診察費用(僅次於更為高昂的 MRI 磁振造影)，使得其普及不易，而其中主要的原因之一即是在於正子攝影儀器的成本高居不下，而佔成本 1/3~1/2 偌大的掃瞄器/影像偵檢器便是關鍵所在；因此概念上僅需縮小掃瞄器/影像偵檢器含括範圍、更為貼近人體，其耗用成本便大幅下降，但如此做法卻會造成嚴重的視差(Parallax error)現象，使影像模糊而無法做診斷使用。核研所新創核醫影像偵檢器設計，跳脫習用偵檢器易造成視差現象之製作方式[86]，以大幅提升造影成像準確度達 30%，並有效減少偵檢器組成元件使用達 50%，除成本降低外，使核醫影像儀器的設計更具彈性，可結合多種醫用/非醫用領域之應用標的，如核醫正子、單光子造影、攜帶式加馬相機、質子治療即時監控、小動物造影系統等，市場

發展性高。

核研所核醫製藥中心為通過衛福部 PIC/S GMP 及 GDP 認證之核醫製劑廠，生產氯化亞鉈(鉈-201)注射劑、檸檬酸鎳(鎳-67)注射劑等放射針劑與馬格鎳腎功能造影劑(MAG3)、美必鎳心臟造影劑(MIBI)、雙肱乙酯腦血流造影劑(ECD)等凍晶製劑[88]，如表 5-7，提供國內 50 餘家醫院使用，每年造福國內病患十幾萬人次之診斷檢查，落實早期診斷早期治療，確保國人健康。核醫藥物之影像為功能性影像，與電腦斷層(CT)、核磁共振(MRI)之結構性影像不同，可偵測功能性之變化，在疾病早期結構尚未有變化時，功能性變化時即可被偵測出來，達到早期診斷早期治療之目標。

表 5-7 核研所核醫製藥中心供應中之核醫製劑

產品名稱	藥品許可證	供應情況	適應症	產品規格	製造途徑
核研氯化亞鉈(鉈-201)注射劑 INER Thallous Chloride(Tl-201) Injection	衛署藥製 R00012 號	供應中	心肌灌注造影(用以診斷冠狀動脈疾病、急性心肌梗塞和冠狀動脈繞道移植的手術後評估)	放射化學純度>95%、無菌、無熱原	加速器
核研檸檬酸鎳(鎳-67)注射劑 INER Gallium Citrate(Ga-67) Injection	衛署藥製 R00014 號	供應中	霍金氏病、淋巴瘤、支氣管性腫瘤等惡性腫瘤之助診	放射化學純度>97%、無菌、無熱原	加速器
核研馬格鎳腎功能造影劑 INER Mertiatide Kit	衛署藥製 R00017 號	供應中	腎功能造影診斷	放射化學純度>90%、無菌、無熱原	核反應器
核研雙肱乙酯腦血流造影劑 INER ECD Kit	衛署藥製 R00031 號	供應中	局部腦血流灌注狀況	放射化學純度>90%、無菌、無熱原	核反應器
核研美必鎳心臟造影劑 INER MIBI Kit	衛署藥製 R00025 號	供應中	心肌灌注造影(以診斷及定位心肌梗塞及心肌功能之評估)乳癌造影用, 以輔助X光造影以診斷乳癌病灶位置及大小	放射化學純度>90%、無菌, 無熱原	核反應器

隨著核醫藥物及設備的日益進展，現今核研所核醫製藥產業發展的主要方向，為規劃發展國外剛上市但國內無專利保護之利基新藥，

提供國內病患早日使用價格較低之診斷藥物，其中以胜肽藥物為載體的胜肽受體放射性治療(PRLT)的發展最為迅速，包括攝護腺癌放射胜肽診療藥物 Ga-68-PSMA-11、Ga-68-PSMA-617 與 Lu-177-PSMA -617，已進入美加歐跨國性 Phase 3 臨床試驗。相關攝護腺癌診療藥物的開發，不僅可以滿足現階段國內醫療的需求，同時也可以保障病患的就醫福祉。除了腫瘤導向藥物外，包括腦神經退化性疾病用藥等，與高齡化社會相關的診療用藥物皆須持續努力。核研所近年來之核醫藥物及輻射影像儀器技術研發歷程詳如表 5-8 及表 5-9 所示[89]。

表 5-8 核研所核醫藥物研發歷程

工作項目	103	104	105	106	107	108
FET、FLT 及糖類放射分子 FDGalactose 等放射分子之製程方法研製與應用研究	FLT 及 FET 之前驅物製程開發與放射成品腦造影研究。	FLT 之腦造影與幹細胞作用研究。FET 前驅物合成方法開發研究。	FLT 在腦癌之靈敏度未較 FET 優，故中止。FDGalactose 被證實效果未優於 FCholine，故中止。	以 FET 製程作為其它製程開發之參考。	以 FET 製程作為其它製程開發之參考。	以 FET 製程作為其它製程開發之參考。
Tau 蛋白作用分子 FEONM 篩選評估研究	進行與 Tau Tangle 作用之 FEONM 分子前驅物合成，與放射分子研製。	進行 FEONM 放射分子之結構變化研製以及腦造影研究。	FEONM AD 基因轉殖鼠海馬迴造影研究。	FEONM AD 基因轉殖鼠造影腦幹與海馬迴成長狀態研究。	FEONM 與 T807 AD 基因轉殖鼠對等造影比較性研究。	
HDAi 造影劑之研發	進行 HDAC 蛋白均相關之放射分子	進行 HDAC 蛋白均相關之放射分子研製與腦造	進行 F-18 HDA 蛋白均相關之放射分子研製與腦造	完成 micro-Ci 級 F-18-HDACi-INER-1577-3	腦神經藥物開發技術與經驗為其它藥物開發之參考。	

工作項目	103	104	105	106	107	108
	子結構設計與合成(MF計畫)。	影研究。	影之篩選研究。	通過 BBB 測試與 in-vitro binding assay, 與 IC50/Ki 值計算。		
鎳-68 發生器研製 (Ge-68/Ga-68 generator)	建立毫居禮級鎳-68 發生器製備技術。	完成 20mCi 級 Ga-68 發生器。	完成 50mCi 級 Ga-68 發生器, 並提供台北榮總進行相關實驗測試與試用。	1. 發生器技術建立, 彙整研發成果, 參加競賽, 獲得新創獎之肯定。 2. 例行淘洗鎳-68 射源, 供應核研所研發計畫及外界合作案使用。	本項研究技術已建立, 轉為例行生產, 不列入研發計畫。	
HER2 核醫造影劑之開發	完成 HER2 結合胜肽 AHPN 之合成、序列分析、及放射性同位素標幟, 標幟效率達 90% 以上。	完成 HER2 結合胜肽/奈米金之放射性同位素標幟, 並進行體外細胞實驗及癌症動物造影確認其有效性。	1. AHPN 胜肽藥物因體內穩定性不足, 中止研發。 2. 奈米金研究計畫因藥物肝腎聚集比例過高, 且創新性不足, 中止研發。			
異雙體雙標靶胜肽腫瘤造影劑之開發	雙標靶胜肽腫瘤造影劑設計、合成、放射標幟與體外生物特性評估。	雙標靶胜肽腫瘤造影劑放射標幟精進與體內生物特性評估。	實驗結果顯示雙標靶胜肽的腫瘤攝取較單標靶胜肽高, 而計畫所使用之胜肽雖具有良好標靶性, 但腫瘤攝取仍然較低, 故中	新的研發主題為多鏈醣腫瘤造影劑, 進行實驗設計與合成, 初步動物試驗評估顯示肝仍有多量吸收。	進行改良型醣基衍生物 NOTA-(PEG-G) ₃ 之製備與 Ga-68 標幟, 腫瘤動物 PET/CT 造影顯示, 腫瘤/肌肉攝取比	因改良型醣基衍生物 NOTA-(PEG-G) ₃ 的腫瘤/肌肉比明顯低於 F18-FDG, 故終止研發。

工作項目	103	104	105	106	107	108
			止研發。		為 4.72，腫瘤/腦部比及腫瘤/心臟比分別為 7.33 及 0.78。	
I-123 MIBG 試製	台大醫院臨床試驗。	整理銜接性試驗評估報告，申請免除臨床試驗。	1. 獲得免臨床試驗之核准。 2. 申請三批次試製。變更製藥場地為 069 館 219 室。 3. 新編 SOP 與現有 SOP 修正	1. 完成三批次試製及資料彙整。 2. 向 TFDA 申請藥品查驗登記。 3. 辦理碘 123 MIBG 推廣說明會。	1. 完成查驗登記補件。 2. 辦理碘-123 MIBG 推廣說明會。 3. 技術移轉核醫製藥中心。	完成原料藥 MIBG 第三個月長期及加速安定性數據，補件至醫藥品查驗中心及衛福部。本藥劑於 108 年 8 月 5 日接獲衛生福利部來函，查驗登記已審核通過，近期將於補件獲准後領取藥品許可證。
DOTA-NIR 系列藥物之研發		科發金計畫：發展以花青染料為基質作為腫瘤探針的可行性評估。	奠基計畫：探討腫瘤探針的親疏水性結構對於腫瘤標的性的影響。	經由前期計畫試驗選定 DOTA-NIR790 為最具有潛力之化學結構，並針對頭部、胸部等多種腫瘤動物模式進行驗證，顯示 DOTA-NIR790 對多種癌症，均能達到	開發花青染料之衍生應用研究，發展“腫瘤導向性鉑類藥物”。藉由花青染料獨特的腫瘤標的性作為載體攜帶化療藥物至腫瘤，期能增加化療藥物的腫瘤	花青染料之衍生之“腫瘤導向性鉑類藥物”藥物因體內分布及細胞毒性不佳，故中止研發。

工作項目	103	104	105	106	107	108
				一定程度之腫瘤標的作用。	標靶性，降低對正常器官組織之副作用。	

表 5-8 核研所輻射影像儀器技術研發歷程

工作項目	106	107	108	109
高效能放射影像處理技術開發	應用於醫用胸腔 X 光之 2D 能階式材質解析演算法開發與實測驗證。 客觀影像品質判斷機制研究。	應用於行李安檢之 2D 能階式材質解析演算法開發與實測驗證。 有限角度重建影像客觀品質分析方法建立。	能階式 3D 放射造影平台之成像技術開發。 建立客觀影像品質判斷機制，並進行影像特徵辨識機制研究。	能階式 CT 成像參數優化技術研究。 建立影像特徵視覺化分析工具。
固態薄型影像感測器技術開發	連續式光子計數影像感測器技術開發。	影像感測器模組整合技術。	建立影像感測器模組之影像訊號離散能階分區技術。	離散式光子計數影像感測器技術基礎建立：建立半導體式感測器操作技術。
先進 X 光放射成像技術開發	先進 X 光源放射造影組件建置與掃描策略模擬。	靜態 3D 掃描放射造影電控技術開發。	放射影像掃描機制之輻射輸出評估技術開發。	影像感測機電處理暨整合技術開發。

農學領域方面：

輻射照射處理主要是利用 Co-60 等放射性元素所釋放出的游離輻射線，或電子加速器加速的電子照射相關材料或產品，使被照射物之物質產生離子化現象。被離子化之元素進而產生自由基，由於自由基的作用，使被照射物產生破壞或改質而達到照射的目的，如滅菌殺蟲或聚合物之交聯等。在醫藥材方面，可利用此作用破壞微生物之生命

分子，以達滅菌的效果，或殺死農產品上的寄生害蟲，在材料學上可進行一系列的聚合、交聯、接枝等改質處理[40]。國內照射廠主要有中國生化公司的商業型 Co-60 照射廠、核研所研究與服務兼顧的 Co-60 照射廠及清華大學研究用的 Co-60 照射廠。

國內食品照射項目已有十多項經過衛生署審核通過，如表 5-8[90]。諸如抑制發芽、延長儲存期限、防治蟲害、去除病原菌之汙染等，而例行的照射服務，最為國人熟知的為大蒜、馬鈴薯、洋蔥照射。除了食品照射外，核研所和國內相關農業單位也進行了相當多農業應用的研究，最成功的為水仙花矮化照射及聖誕紅育種照射。水仙花矮化照射已商業化多年，照射過的水仙花較矮，過年期間室內的水仙花盆栽不會因缺少陽光徒長而發生倒伏現象。而聖誕紅育種照射當年由桃園農業改良場和核能研究所合作，成功育出兩個本土新品種[40]。

表 5-8 衛福部食品輻射照射處理標準

限用照射食品品目	限用輻射線源	最高輻射限能量 (百萬電子伏特)	最高照射劑量 (千格雷)	照射目的
馬鈴薯、甘藷、分蔥、 洋蔥、大蒜、生薑	電子	10	0.15	抑制發芽
	X 射線或 γ 射線	5		
木瓜、芒果	電子	10	1.5	延長儲存期限； 防治蟲害
	X 射線或 γ 射線	5		
草莓	電子	10	2.4	延長儲存期限
	X 射線或 γ 射線	5		
豆類	電子	10	1	防治蟲害
	X 射線或 γ 射線	5		
其他生鮮蔬菜	電子	10	1	延長儲存期限； 去除病原菌之汙染
	X 射線或 γ 射線	5		
穀類及其碾製品	電子	10	1	防治蟲害
	X 射線或 γ 射線	5		
生鮮冷凍禽肉及 機械去骨禽肉	電子	10	5	延長儲存期限； 去除病原菌之汙染
	X 射線或 γ 射線	5		
生鮮冷藏禽肉	電子	10	4.5	延長儲存期限； 控制旋毛蟲生長
	X 射線或 γ 射線	5		
生鮮冷凍畜肉	電子	10	7	延長儲存期限； 控制旋毛蟲生長
	X 射線或 γ 射線	5		
乾燥或脫水的 調味用植物 *	電子	10	30	防治蟲害及殺菌
	X 射線或 γ 射線	5		
花粉	電子	10	8	延長儲存期限
	X 射線或 γ 射線	5		
動物性調味粉	電子	10	10	延長儲存期限
	X 射線或 γ 射線	5		

* (乾燥或脫水的調味用植物包括香草、種子、香辛料、茶、蔬菜調味料)

(中華民國 88 年 9 月 29 日衛署食字第 88057077 號公告)

工業領域方面：

工業材料之輻射應用，主要是利用輻射使被照射物質產生的聚合、接枝、架橋及裂解反應，進行材料的改質；其應用領域，如電線電纜被覆材的強化耐候照射、熱收縮膜聚合照射、發泡材聚合照射、木塑複合材照射、橡膠強化照射、半導體照射、熱敏電阻照射及鐵氟龍裂解照射等。電子材料方面的熱敏電阻例行照射最為大宗，每年為台灣增加了相當多的外匯收入[40]。

Co-60 輻射照射於生物可分解性材料之改質研究，聚乳酸 (Poly-lactic Acid 或 Polylactide, PLA)，是一種熱塑性脂肪族聚酯，可藉由擠出、注塑或拉伸等加工方式，製成薄膜或纖維，以及手術縫合線及骨板等。因具有生物相容性與生物可降解之特性，而被廣泛用於生物醫學工程研究。為使聚乳酸更貼合生物醫學使用，核研所藉由使用 Co-60 所發出之加馬輻射提供能量，聚乳酸接枝額外官能基，以提升聚乳酸之親水性及生物相容性之特性，且透過水接觸角實驗佐證適當的輻射劑量有助親水性的提升[91]。

而依據原能會最新(108 年)統計[82]，如表 5-9，我國非醫用可發生游離輻射設備之證照數計有 9,307 張，主要是櫃型 2,313 張佔 24.85%，接著依序為分析鑑定、照相檢驗、移動型、獸醫用等。而表 5-10 為非醫用放射性物質之證照數計有 3,512 張，主要是測量控制 1,844 張佔 52.51%。由此非醫用可發生游離輻射設備及非醫用放射性物質之分類及百分比分布，可以約略了解我國原子能科技在工業上主要的應用類別。

表 5-9 各類用途之非醫用可發生游離輻射設備之證照數

設備用途	證照數	%
分析鑑定	1,945	20.90
照相檢驗	1,184	12.72
獸醫用	1,121	12.04
學術研究	367	3.94
查緝任務	620	6.66
測量控制	414	4.45
離子植入	82	0.88

靜電消除	39	0.42
校正用	7	0.08
櫃型	2,313	24.85
移動型	1,157	12.43
其他	58	0.62
合計	9,307	100

表 5-10 各類用途之非醫用放射性物質之證照數

物質用途	證照數	%
測量控制	1,844	52.51
分析鑑定	844	24.03
學術研究	174	4.95
校正用	323	9.20
照相檢驗	181	5.15
查緝任務	8	0.23
靜電消除	112	3.19
生產製造	21	0.60
避雷針	2	0.06
輻射照射	3	0.09
合計	3,512	100

而我國在工業用類輻射作業人員數量歷年統計如圖 5-17，自 2000 年 8,960 人增至 2019 年 22,269 人，表示我國在此方面之業務及人員培訓之增長[82]。

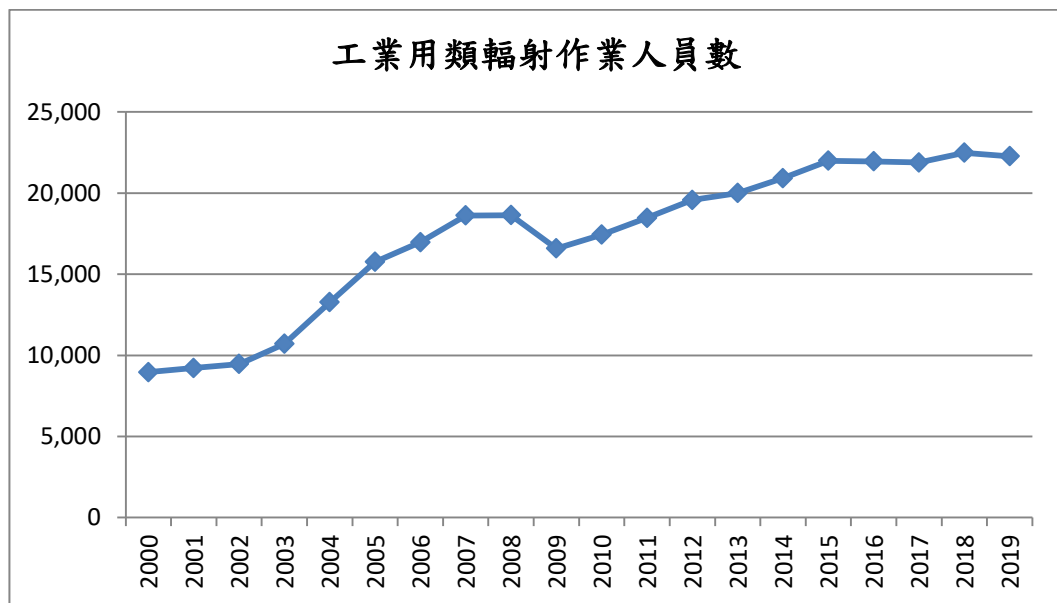


圖 5-17 我國工業用類輻射作業人員數量歷年統計

環境領域方面，為確保環境輻射安全而建構全國環境輻射監測網，輻射偵測中心至 108 年底已在台灣本島及離島地區建置 57 個環境輻射監測站，全天候 24 小時監測全國環境輻射變化情形[85]。而為了解台灣民眾在生活環境中所接受到天然與人造游離輻射曝露的輻射劑量，自 108 年起，展開為期 4 年的國民輻射劑量調查，調查範圍包含(1)天然背景輻射、(2)消費性產品、(3)醫療輻射、(4)工業、安全檢查、醫療、教學、研究等活動所導致的輻射曝露、與(5)職業曝露等 5 大類。另外在氡氣的天然背景輻射部分，過去已完成 279 戶室內氡氣的輻射劑量初步調查；另因地下室容易累積較高氡氣濃度，故 108 年進一步執行蘭嶼地下屋、醫院地下室候診區或家屬等待處及地下停車場等共計 17 處地下使用空間的氡氣量測。

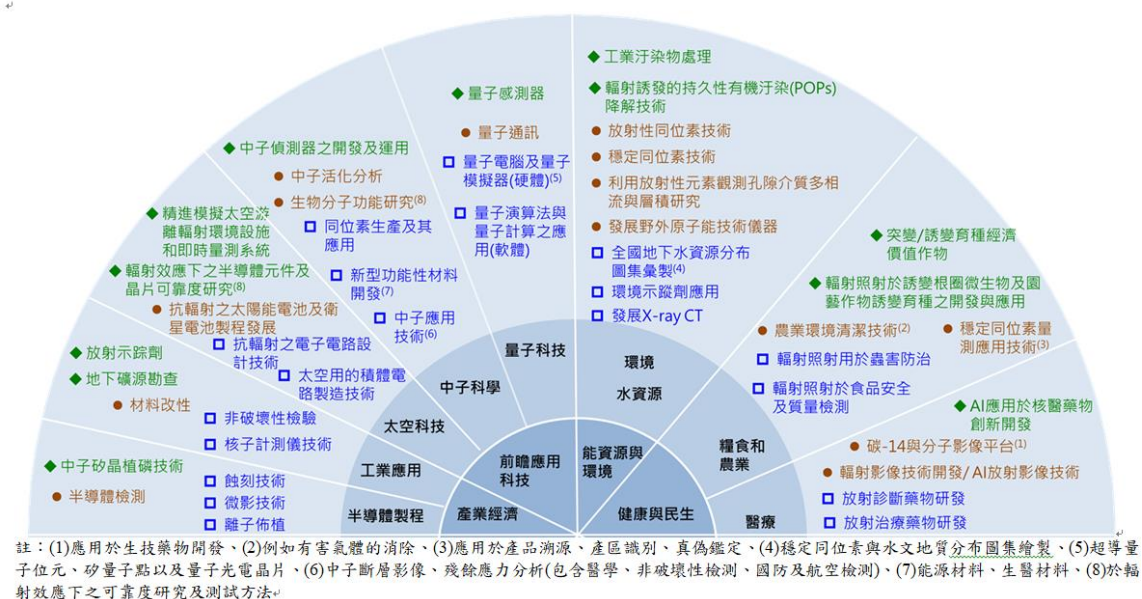
而在台灣海域輻射監測調查方面，自 100 年日本福島核能電廠事故後，有關放射性物質洩漏流入海洋造成污染之事件屢傳，特別是今

年 10 月底媒體報導日本福島核能電廠含氚水儲存即將滿載而有污水入海計畫，引發民眾的擔憂[92]。為掌握台灣鄰近海域輻射狀況，並評估日本福島核災事件及大陸沿海核能電廠排放對台灣海域之輻射影響，原能會透過跨部會合作執行海水等環境樣品取樣及放射性核種分析，建立台灣海域放射性核種含量背景調查資料庫，以掌握台灣海域環境輻射現況。日後也可以利用這海域環境輻射監測技術，針對這東南亞的海域進行區域議題的研究。

不偏不倚、不多不少是國家游離輻射標準實驗室的檢測標準，該實驗室研發的石墨熱卡計為國際上最新穎的高能光子輻射劑量量測技術，採用直接量測輻射造成的熱量轉化成輻射劑量，可降低評估劑量引用議定書所產生的差異，可有效提升國內在高能光子輻射劑量的準確度，保障民眾安全。而國家游離輻射標準實驗室除建立與訂定游離輻射國家標準外，亦積極參與相關國際組織之活動如亞太計量組織(Asia Pacific Metrology Programme, APMP)；也舉辦及參與各項國際量測比對活動，標準的量測比對結果登錄入國際度量衡局(法語：Bureau international des poids et mesures, BIPM)的關鍵比對資料庫。而在新南向六個國家中除了越南、新加坡未成立國家游離輻射標準實驗室，核研所日後可以規劃與其餘 4 個國家(印尼 National Nuclear Energy Agency of Indonesia, PTKMR-BATAN，印度 Bhabha Atomic Research Centre ,BARC，馬來西亞 Malaysian Nuclear Agency, NUCLEAR MALAYSIA，泰國 Office of Atoms for Peace, OAP)進行能力比對等技術交流。

而我國在未來原子能科技發展方面，可以參考原子能科技之民生應用發展策略藍圖[原子能委員會 109 年計畫-原子能科技國際發展趨

勢及我國發展策略之研析-葛復光、袁正達執行]，如圖 5-18，其中將民生應用技術劃分為健康與民生、能資源與環境、前瞻應用科技及產業經濟四大面向；將研究範疇劃分為環境及水資源、醫療、糧食及農業、量子科技、太空科技、半導體製程、工業應用、中子科技。而此研究係針對我國原子能科技民生應用進行科技布局，主要考量國內未來產業發展需求，因此部分技術項目目前可能尚未到位。而在醫療研究範疇上，發展優先排序主要為放射診斷藥物研發、放射治療藥物研發；放射診斷藥物研發如：Dolacga 肝功能造影劑、Ga-68 同位素生產/孳生器、放射性與免疫/細胞合併療法開發、FAPI 標靶、Alpha-synuclein。放射治療藥物研發則如：Lu-177 藥物、標靶型的硼中子藥物。在農業研究範疇上，發展優先排序主要為輻射照射用於蟲害防治、輻射照射於食品安全及品質檢測。在工業研究範疇上，發展優先排序主要為非破壞性檢驗、核子計測儀技術。在環境研究範疇上，發展優先排序主要為全國地下水資源穩定同位素與水文地質分布圖繪製、環境示蹤劑應用及發展 X-ray CT。



資訊來源：原子能科技國際發展趨勢及我國發展策略之研析-葛復光等(2020)

圖 5-18 我國原子能科技之民生應用發展策略藍圖

除了原子能技術合作推廣外，對於從煤電、核電轉向可再生能源方面，核研所的纖維酒精及相關生質精煉技術可支持新南向政策，先前更有協助推動印度纖維酒精技術之授權案，該解聚技術應用於沼氣生產、纖維聚乳酸等技術有潛力可推廣至印度當地，將有助於解決當地農業廢棄物的處理問題。生質精煉技術，即利用生質物(Biomass)如農業廢棄物作為原料，以生物與化學方法將生質物轉化為生質化學品、生質燃料、生質材料的一種過程。主要之核心技術包含解聚糖化、微生物發酵以及產品純化回收製程。目前除可用於產製糖蜜、木糖、木寡糖等飼料或保健食品，也可將農業廢棄物轉化為生質酒精、生質航油等生質燃料；或是用於產製聚乳酸(Polylactic Acid, PLA)等生質材料。生質精煉技術亦可應用於沼氣生產，核研所以解聚糖化技術為基礎，

建立農業廢棄物之厭氧共發酵(Anaerobic Co-digestion)沼氣生產技術，可有效提升沼氣產量，進而增進沼氣發電之競爭力[85]。

新南向綠電契機—微電網供電系統，目前澎湖東吉嶼面臨離島用電及電網供電穩定性的問題；核研所於東吉嶼建置國內首座離島再生能源微電網供電系統，藉由國人自主研發之先進微電網能源管理系統，結合再生能源發電及負載用電預測，協調控制儲能系統，進行最佳化的電力調度，並完成東吉嶼儲能系統功率調控與穩壓控制的程式開發，讓儲能系統可保持穩定的充電狀態，延長使用壽命。核研所將攜手國內微電網相關產業，配合政府新南向政策，推廣本土微電網相關技術，並應用於東南亞國家電力迫切需求之島嶼，以期創造新南向綠電契機[93]。

5.3 政府新南向政策中主要部會的推展策略

行政院依據蔡總統「新南向政策」政策綱領，提出「新南向政策推動計畫」，整合各部會、地方政府，以及民間企業與團體的資源與力量，從「經貿合作」、「人才交流」、「資源共享」與「區域鏈結」四大面向著手去推動執行。政府新南向推動之核心理念、四大面向詳如圖 5-19[2]。經貿合作：互惠互利、共創雙贏；人才交流：以人為本深化人力交流、培育及共享；資源共享：運用軟實力，爭取合作機會，提升生活品質；區域鏈結：加強協商與對話，促進區域安定及繁榮。

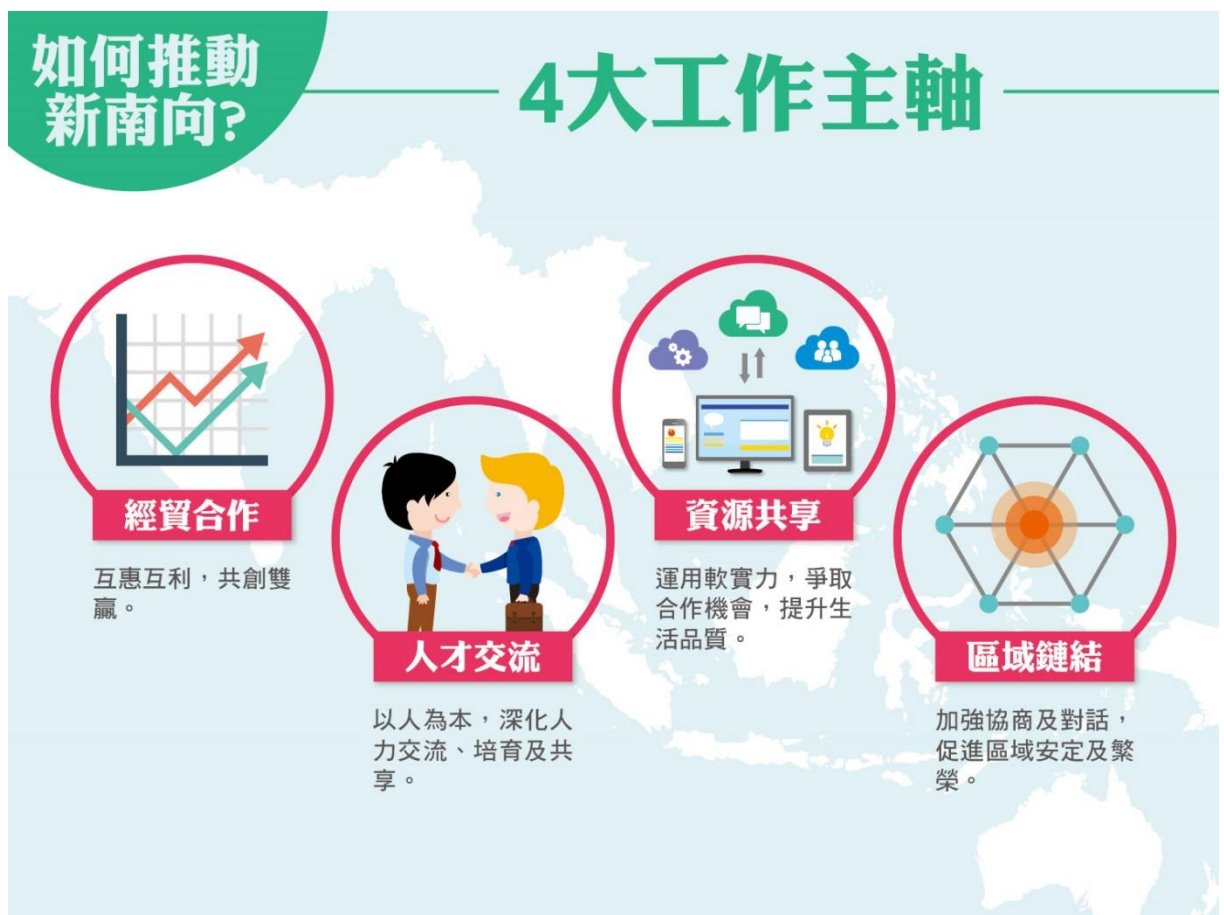


圖 5-19 政府推動新南向之 4 大工作主軸

而配合政府新南向政策，行政院推行「五大旗艦計畫」及三大潛力領域，如圖 5-20[94]。這五大旗艦計畫分別是區域農業發展(主辦部會：農委會)、醫衛合作與產業鏈發展(主辦部會：衛福部)、產業人才發展(主辦部會：教育部)、新南向論壇與青年交流平台、產業創新合作(主辦部會：經濟部)；除主辦部會外，尚有許多協辦部會，共同努力推展業務。

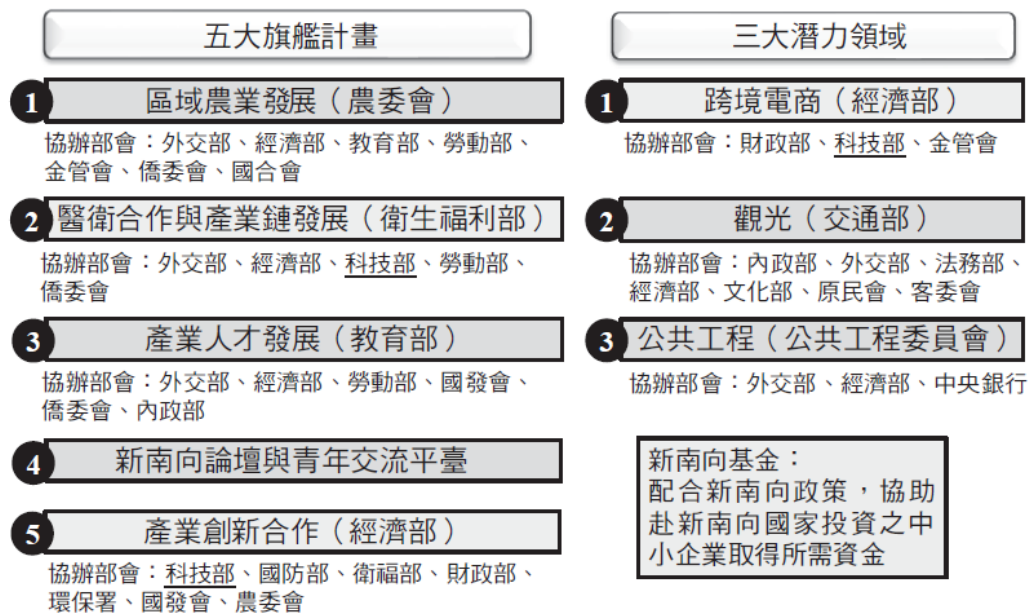


圖 5-20 新南向五大旗艦計畫及三大潛力領域

在政府新南向政策概略中，五大旗艦計畫之醫衛合作與產業鏈發展，其中包括經貿合作：實驗室認證合作、開發新藥與醫材、建構食藥安全網；人才交流：培訓醫療衛生人員；資源共享：援助醫療物資、協助防疫、提升醫療水準；區域連結：與國際組織合作、招募全球優秀醫師駐點。(如圖 5-21)[2]。



圖 5-21 醫衛合作與產業鏈發展之工作主軸

農委會主導之區域農業發展，其 4 大工作主軸包括經貿合作：拓展農業多元合作，確保糧食安全；人才交流：在地農業專班等培訓計畫；資源共享：輸出台灣品種、肥料、農機、技術、儲運、物流；區域連結：形塑台灣農業形象，更提升區域農業經營能力。如圖 5-22[2]。



圖 5-22 區域農業發展之工作主軸

科技部亦先後推動多項政策措施，涵蓋國際合作、科研戰略、區域學術合作、園區國際鏈結、人才交流培育與成立海外科研中心等。科技創新之 4 大工作主軸，包括經貿合作：產學合作，擴展環保、能源、ICT 市場；人才交流：延攬科技人才，共同進行研究計畫；資源共享：建立區域防災網絡；區域連結：在氣候變遷、新興感染病等區域共同問題上合作。如圖 5-23[2]。



圖 5-23 科技創新之工作主軸

新南向政策工作計畫之具體工作計畫中，有關新南向醫療及公共衛生合作之工作計畫重點：1.推廣國際合作，2.推動實驗室認證及藥品醫材檢驗技術合作，3.推動醫材法規調和，4.醫衛人才培訓，5.醫衛人道援助，6.推動防疫合作。而新南向農業合作之工作計畫重點：1.增進農業技術合作，2.增進農業產銷及儲運合作，3.協助民間業者進行合作。新南向科技合作之工作計畫重點：1.分析科技合作策略，2.補助產學合作計畫，3.學術合作與資源共享(透過參與 APEC 活動及雙邊科技合作，以區域共同問題為主要合作議題)。

主要部會推廣新南向政策之執行方式約略區分：1.成立交流平台及一般社群連結，例如衛福部的醫衛新南向產業 e 鏈結專區、經濟部的新南向投資專區、科技部的新南向科研合作專網等，政府新南向各服

務中心及相關連結如圖 5-24[2]。2.成立專案辦公室或是海外中心，例如衛福部 107 年正式啟動「一國一中心」策略，由衛福部和民間醫院合作，連結我國醫衛相關產業，共同打造臺灣國家隊，由臺大醫院、成大醫院、榮陽團隊(榮總與陽明大學)、彰化基督教醫院、花蓮慈濟醫院、長庚醫院、新光醫院等 7 家醫學中心，分別擔任印尼、印度、越南、泰國、菲律賓、馬來西亞、緬甸等國之統籌協調中心，推動醫衛人才培訓、醫衛產業搭橋、臺商健康諮詢服務、營造文化友善之醫療環境、醫衛相關產業之法規及市場調查，以及資訊整合等 6 大項工作，積極建立與新南向國家在醫衛人才培訓、產業供應鏈連結、區域市場連結及人與人連結等四大領域之合作夥伴關係[75]。而科技部推動「海外科學研究與技術創新中心」(海外科研中心)，鼓勵國內大專院校及學術研究機構，深耕東南亞與南亞國家之學術社群與當地網絡。海外科研中心分別設於越南、菲律賓、寮國、馬來西亞、泰國與印尼；領域則兼具人文、自然、工程與生命科學。本計畫新南向六國之海外科研中心分別是印度(中正大學-工程領域)、印尼(台東大學-人文領域)、馬來西亞(清華-工程領域，淡江-人文工程領域)、新加坡(中國醫藥-生科領域)、泰國(屏東基督教醫院-生科領域)、越南(清華-生科領域，中興-生科領域)[94]。3.辦理國際研討會、專家座談會、工作坊，4.廠商投資意願調查與輔導、產業觀摩、市場擴銷、認證(清真)等，5.法規探討、人才培訓與交流等。

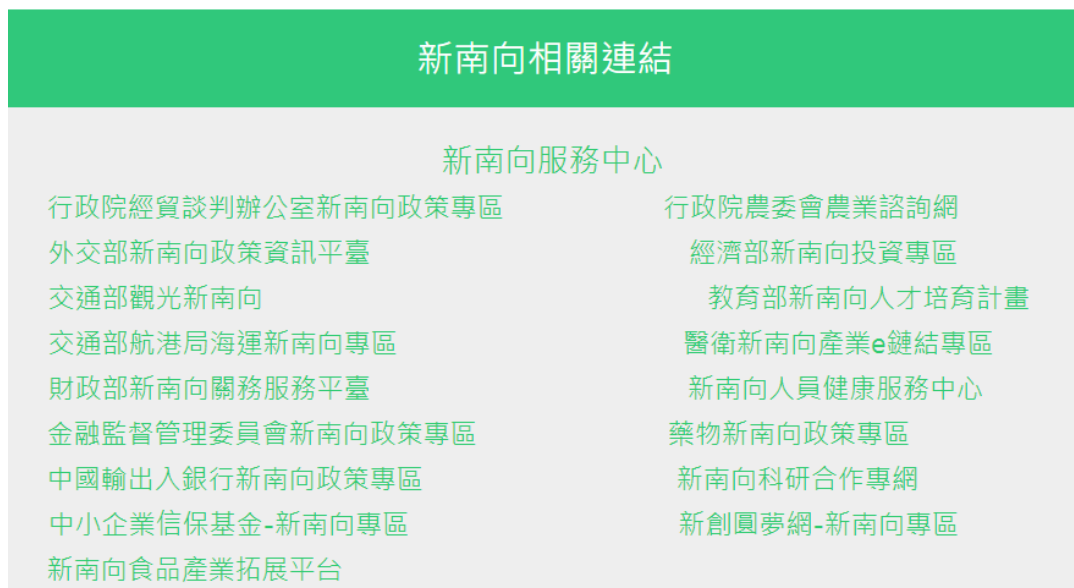


圖 5-24 政府新南向相關連結

5.4 新南向政策推動原子能科技合作可行性之管道

依據中華經濟研究院於創新與成長夥伴-台灣與新南向國家研究中指出[94]，我國與印度科研合作之短期策略可從水資源、醫療公衛管理等來進行，中期策略則可從智慧農業、醫療公衛、生技製藥等來進行。我國與印尼利基產業合作之建議為農業種植、醫療衛生等，以及生質能、太陽能及微電網技術。我國與馬來西亞科研合作之短期策略可從農業、生醫與防災科技來切入；我國與泰國利基產業合作之建議為農業種植、食品生技、醫療衛生等；我國與越南發展科研合作策略之建議為氣候災害預防、農業生產加工技術、病媒蚊防治等。

由本報告第 4 章檢視新南向六國之原子能科技發展與應用以及 IAEA 在該國之援助項目，亦可以看出醫療衛生及農業應用是重點項目。而由本報告第 5.2 節檢視我國原子能科技發展之現況，可以看出我國原子能科技在醫學領域上的研發及應用成果豐碩，如特定醫療技術檢查

檢驗設備數量數量數及使用人次等，顯示台灣相較新南向國家而言，我國原子能科技在醫學領域之進展較快速。而我國在農學領域上，大都應用輻射照射對於農作物之抑制發芽、延長儲存期限等例行的輻照服務，或是觀賞用的水仙花、聖誕紅等，其他應用發展較少。新南向諸多國家原子能科技之農業應用包含農糧保存、蟲害防治、檢疫滅菌及品種改良等，此部分很值得我國借鏡思考。因此新南向政策推動原子能科技合作方面，建議須以己之長接地氣，尋求雙向合作；因為醫療領域是我國的強項，也是現階段與該六國原子能科技合作的優先可行方向。

另外根據「疫後新機會-診斷與監測類醫材發展新商機」中指出[95]，COVID-19 成為全球大流行疾病，而診斷與監測可應用於疫前與防疫後之追蹤；疫前最為普遍的方式為量測體溫，公共場所常採用遠紅外線影像感測方式。而發生疑似症狀等，用於診斷肺炎最有效的影像類診斷工具為 CT，其次為 X 光機，另超音波則可用來初步肺炎判斷及觀察相關併發症。醫急的臨時醫療場所最缺乏的是可移動之診斷與治療器具，而便攜式 X 光則成為此次疫情診斷的重要工具。

而我國未來與該六國原子能科技合作的可行方向若能結合我國原子能科技之民生應用發展策略藍圖，則具推廣與持續研發之雙重效益。例如醫療合作方面，可朝向策略藍圖中之放射診斷藥物、放射治療藥物、輻射影像技術等。且我國可發生游離輻射設備治療已有相當醫療品質保證基礎，尤其近年興起之質子治療，或有助促成雙方未來技術交流及醫療互助之可能。

在放射診斷藥物、放射治療藥物、輻射影像技術方面，核研所建立新藥篩選分子影像平台及放射性同位素標幟標靶抗體或胜肽藥物技

術，研發有核研多蓄克鎳肝功能造影劑，及核研多巴胺轉運體造影劑，亦開發低劑量三維 X 光造影儀—Taiwan TomoDR 等。另外核研所核醫製藥中心生產氯化亞鉈(Tl-201)注射劑、檸檬酸鎳(Ga-67)注射劑等放射針劑與馬格鎳腎功能造影劑(MAG3)、美必鎳心臟造影劑(MIBI)、雙肱乙酯腦血流造影劑(ECD)等凍晶製劑，提供國內醫院使用，落實早期診斷早期治療。

上述的放射診斷、放射治療藥物及輻射影像技術等醫療合作推動，在有限資源之下，可先善用政府各部會現有之交流平台及合作中心，例如醫衛新南向產業 e 鏈結之一國一中心、新南向科研合作專網的海外科研中心；進行原子能科技在放射醫療、核子醫學的技術交流，培育專業人才及透過產研聯盟之區域市場連結等。

量測準確與追溯，國家游離輻射標準實驗室除建立與訂定游離輻射國家標準外，核研所亦積極參與相關國際組織之活動如亞太計量組織 APMP；也舉辦及參與各項國際量測比對活動，標準的量測比對結果登錄入國際度量衡局 BIPM 的關鍵比對資料庫。而在新南向六個國家中除了越南、新加坡未成立國家游離輻射標準實驗室，核研所日後都可以規劃與其餘 4 個國家(印尼、印度、馬來西亞、泰國)進行能力比對等技術交流。

而輻射照射於農產品檢疫之處理技術，目前普遍用於醫療用品、藥品、化妝品、香料、中草藥等滅菌(不必拆封可避免包裝時之二次污染)，以及農產品(大蒜、馬鈴薯、洋蔥等)抑制發芽、植物(花卉、果樹)；除此外上可用於微生物誘變育種、木材防蛀殺蟲、塑膠材料之機械強度增強處理、電子零件 (熱敏電阻)改變物理特性等處理。而該新南向六國中，印度、印尼、馬來西亞、泰國、越南亦皆有許多輻射照射廠，

其可和我國技術交流與觀摩，提供醫、農、工及研究等輻射照射應用。

除了放射醫療、核子醫學的技術交流，開放雙方實驗室及輻照廠之人員交流、技術觀摩外，區域議題之共同研究也是可行的策略；例如海洋放射性物質擴散模式與調查，特別是評估日本福島核災事件及大陸沿海核能電廠排放對東南海海域之輻射影響與風險控管。

6. 結論與建議

- (1) 原子能科技應用廣泛，在實現未來永續發展中發揮重要的作用，其可充分應用在消除飢餓、確保健康及福祉、水的衛生及其永續管理、可負擔的清潔能源、工業創新與基礎建設、減緩氣候變遷之措施、確保海洋資源、確保陸地生態系統及發展夥伴關係等永續發展目標上。
- (2) 檢視新南向六國(印尼、越南、泰國、馬來西亞、新加坡、印度)之原子能科技發展與應用以及 IAEA 在該區域之援助項目，可以看出醫療衛生及農業應用是重點項目。而由我國原子能科技發展之現況，如特定醫療技術檢查檢驗設備數量數及使用人次等，顯示台灣相較新南向國家而言，我國原子能科技在醫學領域之進展較快速。
- (3) 新南向政策推動原子能科技合作方面，建議以己之長接地氣，尋求雙向合作；因此醫療領域是現階段與該六國原子能科技合作的優先可行方向。若能結合我國原子能科技之民生應用發展策略藍圖，如放射診斷藥物、放射治療藥物、輻射影像技術等，則具推廣與持續研發之雙重效益。而我國可發生游離輻射設備治療已有相當醫療品質保證基礎，尤其近年興起之質子治療，或有助促成雙方未來技術交流及醫療互助之可能。
- (4) 推動新南向原子能科技之合作，在有限資源之下，建議先善用政府各部會現有之交流平台及合作中心，例如醫衛新南向產業 e 鏈結之一國一中心、新南向科研合作專網的海外科研中心；進行原子能科技的技術交流、培育專業人才及區域市場連結等。
- (5) OPEN-Lab，進行雙方相關實驗室之設備建置、技術及人員互相交流。例如我國國家游離輻射標準實驗室可和印度、印尼、馬來西亞、泰國

之游離輻射標準實驗室彼此的能力比試、放射治療之劑量標準與校正等技術交流。我國輻射照射廠亦可和印度、印尼、馬來西亞、泰國、越南之輻射照射廠技術交流與觀摩，特別是新南向國家其農糧保存、蟲害防治、檢疫滅菌及品種改良等。

- (6) 新南向之政策願景除了原子能科技醫療應用外，區域議題之共同研究，如海洋放射性物質擴散模式與調查，可藉由科研合作專網與新南向國家進一步合作；另外核研所有關綠電契機-微電網供電系統、生質精煉綠色製程技術-纖維酒精等技術亦可成為推動新南向的議題。

參考文獻

- [1].<https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals-retired-link/>, sustainable development goals, 擷取日期109年10月6日.
- [2].<https://newsouthboundpolicy.trade.gov.tw/> , 新南向政策專網 , 擷取日期109年10月6日.
- [3].American Nuclear Society, Sustainable Development, 2018.
- [4].Canadian Nuclear Association, Nuclear science& sustainable development.
- [5].IAEA : Nuclear technology for a sustainable future, 2012.
- [6].IAEA Bulletin : Nuclear science& technology, addressing current and emerging development challenges, Nov. 2018.
- [7].<https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-and-fao-help-zanzibar-grow-more-rice>, IAEA and FAO Help Zanzibar Grow More Rice , 擷取日期109年10月6日.
- [8].<https://www.iaea.org/newscenter/news/bosnia-and-herzegovina-veterinary-labs-equipped-to-diagnose-animal-diseases-using-nuclear-derived-techniques>, Bosnia and Herzegovina Veterinary Labs Equipped to Diagnose Animal Diseases Using Nuclear-Derived Techniques , 擷取日期109年10月6日.
- [9].<https://www.iaea.org/newscenter/news/climate-proof-crops-capacity-building-to-develop-resilient-crop-varieties-in-small-island-developing-states>, Climate-Proof Crops: Capacity Building to Develop Resilient Crop Varieties in Small Island Developing States , 擷取日期109年10月6日.
- [10]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/irradiated-animal-vaccines-keep-ethiopias-animals-healthy-helping-exports-and-food-security>, Irradiated Animal Vaccines Keep Ethiopia's Animals Healthy, Helping Exports and Food Security , 擷取日期109年10月6日.

- [11]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/argentinas-newly-recognized-fruit-fly-free-areas-expedite-fresh-fruit-exports-to-china>, Argentina's Newly Recognized Fruit Fly Free Areas Expedite Fresh Fruit Exports to China , 擷取日期109年10月6日 .
- [12]. <https://sites.google.com/site/wintaiwanchns/guan-yu-he-neng/he-neng-min-sheng>, 原子能民生應用 , 中華民國核能學會婦女委員會 , 擷取日期109年10月6日 .
- [13]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/nuclear-techniques-help-explain-the-various-dimensions-of-malnutrition-among-children-in-botswana>, Nuclear Techniques Help Explain the Various Dimensions of Malnutrition among Children in Botswana , 擷取日期109年10月6日 .
- [14]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-and-who-to-develop-a-new-framework-for-the-application-of-nuclear-techniques-against-mosquito-borne-diseases>, IAEA and WHO to Develop a New Framework for the Application of Nuclear Techniques against Mosquito-Borne Diseases , 擷取日期109年10月6日 .
- [15]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/started-with-iaea-support-chinas-electron-beam-industry-opens-worlds-largest-wastewater-treatment-facility>, Started with IAEA Support, China's Electron Beam Industry Opens World's Largest Wastewater Treatment Facility , 擷取日期109年10月6日 .
- [16]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/human-rights-day-how-nuclear-techniques-help-madagascar-villagers-access-clean-drinking-water>, Human Rights Day: How Nuclear Techniques Help Madagascar Villagers Access Clean Drinking Water , 擷取日期109年10月6日 .
- [17]. Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, IAEA, 2020.

- [18]. 柴蕙質、蕭子訓、袁正達、葛復光，從潔淨能源角度看歐盟電力發展趨勢，核能研究所綜計組能源策略研究室，2020.
- [19]. <https://climatecrisis.house.gov/report>, Solving The Climate Crisis, The Congressional Action Plan for a Clean Energy Economy and a Healthy, Resilient, and Just America.
- [20]. <https://world-nuclear-news.org/Articles/Interview-The-importance-of-long-term-operation>, Interview: The importance of long-term operation，擷取日期109年10月6日。
- [21]. Sustainable Recovery, p109, international energy agency IEA.
- [22]. <https://www.massa.net.my/agensi-nuklear-malaysia-nuklear-malaysia/>, Nuclear Technology for Malaysian Sustainable Development，擷取日期109年10月6日。
- [23]. Monitoring Soil–Water–Nutrient Interaction Using Isotope and Nuclear Techniques, IAEA Factsheet, 2018.
- [24]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-supports-new-research-on-the-impacts-of-ocean-acidification-on-seafood>, IAEA Supports New Research on the Impacts of Ocean Acidification on Seafood，擷取日期109年10月6日。
- [25]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/the-kuwait-institute-for-scientific-research-a-new-iaea-collaborating-centre-for-the-environment-0>, The Kuwait Institute for Scientific Research: A New IAEA Collaborating Centre for the Environment，擷取日期109年10月6日。
- [26]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-helps-ecuadors-national-parks-better-understand-parasitic-fly-threatening-darwins-galapagos-finches>, IAEA Helps Ecuador's National Parks Better Understand Parasitic Fly Threatening Darwin's Galápagos Finches，擷取日期109年10月6日。

- [27]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/crp-success-story-landscape-salinity-and-water-management-for-improving-agricultural-water-productivity-d12013>, CRP Success Story: Landscape Salinity and Water Management for Improving Agricultural Water Productivity (D12013) , 擷取日期109年10月6日 .
- [28]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/world-environment-day-iaea-supports-seychelles-irrigation-and-soil-management>, World Environment Day: IAEA Supports the Seychelles with Irrigation and Soil Management , 擷取日期109年10月6日 .
- [29]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/combating-soil-erosion-to-help-achieve-zero-hunger-and-clean-water-iaea-commemorates-world-soil-day>, Combating Soil Erosion to Help Achieve Zero Hunger and Clean Water: IAEA Commemorates World Soil Day , 擷取日期109年10月6日 .
- [30]. <https://www.unido.org/news/unido-and-international-atomic-energy-agency-sign-agreement-expand-cooperation>, UNIDO and the International Atomic Energy Agency sign agreement to expand cooperation , 擷取日期109年10月6日 .
- [31]. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%94%BE%E5%B0%84%E6%80%A7%E7%A2%B3%E5%AE%9A%E5%B9%B4%E6%B3%95> 放射性碳定年法 , 擷取日期109年10月6日 .
- [32]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/indonesian-nuclear-scientists-support-archaeologists-to-preserve-cultural-heritage>, Indonesian Nuclear Scientists Support Archaeologists to Preserve Cultural Heritage , 擷取日期109年10月6日 .
- [33]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/world-wildlife-day-2020-decoding-the-secrets-of-animal-migration-with-isotopes-and-iaea-data>, World

Wildlife Day 2020: Decoding the Secrets of Animal Migration with Isotopes and IAEA Data，擷取日期109年10月6日。

- [34]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/world-environment-day-using-nuclear-science-to-help-halt-illegal-ivory-trade>, World Environment Day: Using Nuclear Science to Help Halt Illegal Trade in Ivory and Timber，擷取日期109年10月6日。
- [35]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-launches-report-highlighting-achievements-in-south-south-and-triangular-cooperation>, IAEA Launches Report Highlighting Achievements in South-South and Triangular Cooperation，擷取日期109年10月6日。
- [36]. IAEA Technical Cooperation in Asia and the Pacific, IAEA Department of Technical Cooperation, 2019.
- [37]. 2019年技術合作報告，IAEA Department of Technical Cooperation, 2020.
- [38]. The 4th ASEAN Energy outlook 2013-2035, ASEAN Centre for Energy Team, 2015.
- [39]. 黃勝忠，輻射照射在農業上的應用，臺中區農業專訊第二十六期，台中區農業改良場，<https://www.tdais.gov.tw/ws.php?id=1581#C>.
- [40]. 陳家杰，輻射照射於醫農工之應用，核能研究所INER-8183，2011.
- [41]. Improving Animal Production and Health- How Nuclear Techniques Help, IAEA, 2018.
- [42]. <http://www.mmh.org.tw/taitam/rpmc/radiation%20in%20life.pdf>, 生活中的輻射，擷取日期109年10月6日。
- [43]. 商品輻射限量標準，中華民國105年6月20日行政院原子能委員會會輻字第10500084021號令修正發布。

- [44]. https://www.aec.gov.tw/%E4%BE%BF%E6%B0%91%E5%B0%88%E5%8D%80/%E5%8E%9F%E5%AD%90%E8%83%BD%E7%9F%A5%E8%AD%98/%E5%8E%9F%E5%AD%90%E8%83%BD%E6%B0%91%E7%94%9F%E6%87%89%E7%94%A8/%E6%A0%B8%E9%86%AB%E5%A0%B1%E5%B0%8E/%E6%A0%B8%E9%86%AB%E6%94%BE%E5%B0%84%E8%97%A5%E7%89%A9--220_271_1088_1090_1094.html, 核醫放射藥物，擷取日期109年10月6日。
- [45]. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>, World Bank Group, “GDP”，擷取日期109年8月6日。
- [46]. <https://cnpp.iaea.org/pages/index.htm>, “Country Nuclear Power Profiles (CNNP)” Database, IAEA，擷取日期109年8月6日。
- [47]. <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles.aspx>, “Country Profiles”, World Nuclear Association (WNA)，擷取日期109年8月6日。
- [48]. 三菱總合研究所，2019，平成30 年度核能の利用状況等に関する調査(諸外國における核能政策等動向調査)調査報告書。經濟産業省(METI)委託研究報告。
- [49]. <https://infcis.iaea.org/NFCIS/About.cshtml>, “Nuclear Fuel Cycle Information System (NFCIS)” Database, IAEA，擷取日期109年8月6日。
- [50]. <https://www.iaea.org/topics/nuclear-safety-conventions/convention-nuclear-safety/documents>, “Convention on Nuclear Safety” Documents Database, IAEA，擷取日期109年8月6日。
- [51]. <http://www.barc.gov.in/index.html>，擷取日期109年10月6日。
- [52]. <https://www.iaea.org/search/google/India>，擷取日期109年10月6日。
- [53]. <https://www.iaea.org/resources/databases/spent-fuel-and-radioactive-wa>

ste-information-system-sris, “Spent Fuel and Radioactive Waste Information System (SRIS)” Database, IAEA, 擷取日期109年8月6日。

[54]. <http://www.batan.go.id/index.php/id/>, 擷取日期109年10月6日。

[55]. <https://www.iaea.org/search/google/Indonesia>, 擷取日期109年10月6日。

[56]. LAPORAN TAHUNAN Annual Report, Malaysian Nuclear Agency, Ministry Of Energy, Science, Technology, Environmental and Climate Change (MESTECC), 2019.

[57]. <http://www.nuclearmalaysia.gov.my/new/index.php>, 擷取日期109年10月6日。

[58]. <https://www.iaea.org/search/google/Malaysia>, 擷取日期109年10月6日。

[59]. National Report on the Implementation of Obligations under the Convention on Nuclear Safety, Singapore, 2015.

[60]. <https://www.a-star.edu.sg/>, 擷取日期109年10月6日。

[61]. <https://www.iaea.org/search/google/Singapore>, 擷取日期109年10月6日。

[62]. <https://www.tint.or.th/main/index.php/th/>, 擷取日期109年10月6日。

[63]. 胡聖嬌，廖美秀，楊邦宏，丁建鑫，姚珊汎，Benjapa Khiewvan, Yuthana Saengsuda, 鄭澄意，黃文盛，泰國核醫發展近況，核子醫學暨分子影像雜誌 33卷1期，p.1-9，2020.

[64]. Marta Pérez Cusó, Brimble and Doner, UNCTAD Science, Technology and Innovation Policy Review: Thailand, 2015.

[65]. <https://www.iaea.org/search/google/Thailand>, 擷取日期109年10月6日。

- [66]. <http://vaea.gov.vn/>，擷取日期109年10月6日。
- [67]. <https://vinatom.gov.vn>，擷取日期109年10月6日。
- [68]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/viet-nams-atomic-energy-institute-vinatom-signs-new-collaborating-centre-agreement-with-the-iaea>，擷取日期109年10月6日。
- [69]. 2019年新南向政策執行進展_上網版，行政院經貿談判辦公室，2020。
- [70]. 李淑宏，2019年南向6國政經情況及2020年展望，工業技術研究院IEK產業情報網，2020。
- [71]. 李淑宏、林家毅、陳仲瑜、陳玲君、黃于真，2020年2月東協印度6國重點產經新聞，工業技術研究院IEK產業情報網，2020。
- [72]. 蕭亞璇，2020年後疫時代東南亞與印度石化產業發展，工業技術研究院IEK產業情報網，2020。
- [73]. https://ieknet.iek.org.tw/ieknews/news_detail.aspx?actiontype=ieknews&indu_idno=11&nsl_id=6e6e7341d7704fd19ec006f50aa51134，IMF：今年亞洲經濟估萎縮2.2%，擷取日期109年11月6日。
- [74]. 馬利艷、林家毅、廖志堅、黃于真、李淑宏，IEK-新南向6國電子產業地圖，工業技術研究院IEK產業情報網，2019。
- [75]. <https://nsp.mohw.org.tw/mp-1.html>，醫衛新南向產業鏈結，擷取日期109年10月6日。
- [76]. <https://investtaiwan.nat.gov.tw/doesNewSouthward?country=SG&menuNum=98>，新加坡投資環境簡介-經濟環境-(五)生物製藥業，擷取日期109年10月6日。
- [77]. <https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=203>，核能電廠基本資

料，擷取日期109年10月6日。

- [78]. <https://www.varian.com/zh-hant/node/4225>放療發展，擷取日期109年10月6日。
- [79]. <https://ptcog.ch/>, Particle Therapy Centers，擷取日期109年11月6日。
- [80]. <https://goodins.life/ci/26265/protonknife-ci>, 質子刀、重粒子刀搶佔放射房，挑戰你的防癌保障，擷取日期109年11月6日。
- [81]. <https://n.yam.com/Article/20190923798777>, 全球粒子設備密度最高，台灣打造國際質子治療示範點，擷取日期109年11月6日。
- [82]. 108年游離輻射應用與管理統計，原子能委員會，2020。
- [83]. 108年醫療機構現況及醫院醫療服務量統計，衛生福利部，2020。
- [84]. 輻射醫療曝露品質保證標準，民國108年05月30日行政院原子能委員會會輻字第 10800055011號令、衛生福利部衛部醫字第1080012672號令會銜修正發布。
- [85]. 原子能委員會108年年報，原子能委員會，2020。
- [86]. 原子能委員會104年年報，原子能委員會，2016。
- [87]. <https://www.iner.gov.tw/articledetail/radapplication/309.html>, 新藥篩選分子影像平台讓標靶藥物看的見，擷取日期109年11月6日。
- [88]. <https://www.iner.gov.tw/articledetail/radapplication/316.html>, 低侵入性之診斷利器—核醫藥物，擷取日期109年11月6日。
- [89]. 行政院原子能委員會核能研究所110年度「原子能系統工程跨域整合發展計畫(第二期)(1/4)」，核能研究所，2020。
- [90]. 衛福部食品輻射照射處理標準，中華民國102年08月20日衛生福利部部授食字第 1021350146 號令修正發布。
- [91]. 黃丞裕、陳冠因，鈷-60輻射照射於生物可分解性材料之改質研究，

核能研究所，INER-13470，2017.

- [92]. <https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world-54675012>, 日本福島核電
站污水入海計劃引發的擔憂，擷取日期109年11月6日.
- [93]. 原子能委員會106年年報，原子能委員會，2018.
- [94]. 陳信宏主編，創新成長夥伴：台灣與新南向國家，中華經濟研究
院，2019.
- [95]. 郭大維，疫後新機會-診斷與監測類醫材發展新商機，工業技術研
究院IEK產業情報網，2020.

行政院原子能委員會委託研究計畫

「原子能民生應用與新南向政策願景規劃」分包計畫說明

分包計畫名稱	分包金額(元)	占計畫比例	工作項目
原子能科技醫學農業工業等應用之資料研析	340,000	48.57%	1.收集原子能科技於醫學農業工業等應用之資料。 2.收集原子能科技在醫學臨床應用的統計資料，包括有放射診斷、核醫治療設備、核醫藥物等。