



行政院原子能委員會核能研究所

國家中子與質子科學應用研究：
70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫
(111 年 01 月 ~ 114 年 12 月)

110 年 04 月

目錄

壹、基本資料	1
貳、計畫緣起	4
一、依據.....	8
二、未來環境預測說明.....	9
三、問題評析.....	21
四、社會參與及政策溝通情形.....	29
參、計畫目標	36
一、目標說明.....	36
二、績效指標、衡量標準及目標值.....	38
肆、現行相關政策及方案之檢討	40
伍、執行策略及方法	41
一、主要工作項目.....	41
二、分期(年)執行策略.....	49
三、執行步驟(方法)與分工.....	63
陸、期程與資源需求	69
一、計畫期程.....	69
二、經費來源及計算基準.....	69
三、經費需求(含分年經費)及與中程歲出概算額度配合情形.....	69
柒、預期效果及影響	71
捌、財務計畫	88
玖、附則	91
一、替選方案之分析及評估.....	91

二、風險管理.....	92
三、相關機關配合事項.....	107
四、中長程個案計畫自評檢核表及性別影響評估檢視表.....	108
五、參考文獻.....	122
六、儀器設備需求.....	129
七、原能會自評會議紀錄.....	146
八、其他補充資料-選擇方案及替代方案之成本效益分析.....	147

壹、基本資料

計畫名稱	國家中子與質子科學應用研究：70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫					
申請機關	行政院原子能委員會					
預定執行機關 (單位或機構)	核能研究所					
預定計畫 主持人	姓名	高梓木	職稱	研究員兼執行秘書		
	服務 機關	行政院原子能委員會核能研究所				
	電話	(03)471-1400 轉 2006	電子郵件	tmkao@iner.gov.tw		
資源投入	111	人事費	0	土地建築	20,750	
		材料費	1,300	儀器設備	190,935	
		其他經常支出	20,100	其他資本支出	950	
		經常門小計	21,400	資本門小計	212,635	
		經費合計(千元)		234,035		
		人力(人/年)		86		
	112	人事費	0	土地建築	236,610	
		材料費	1,600	儀器設備	204,500	
		其他經常支出	23,400	其他資本支出	1,150	
		經常門小計	25,000	資本門小計	442,260	
		經費合計(千元)		467,260		
		人力(人/年)		80		
	113	人事費	0	土地建築	262,390	
		材料費	1,600	儀器設備	58,500	
		其他經常支出	22,700	其他資本支出	1,950	
		經常門小計	24,300	資本門小計	322,840	
		經費合計(千元)		347,140		
		人力(人/年)		79		
	114	人事費	0	土地建築	96,850	
		材料費	1,600	儀器設備	347,100	
		其他經常支出	49,300	其他資本支出	1,450	
		經常門小計	50,900	資本門小計	445,400	
		經費合計(千元)		496,300		
		人力(人/年)		72		
全程期間	111年01月01日至114年12月31日					

計畫重點描述

蔡總統於(109)年 5 月 20 日就職演說時提出以 5+2 產業創新的既有基礎，打造「六大核心戰略產業」，使台灣成為未來全球經濟發展的關鍵力量。六大核心戰略產業中，包括「臺灣精準健康戰略產業」、「國防及戰略產業」、「民生及戰備產業」等三大產業，與原子能的應用息息相關。另行政院蘇院長於 109 年 8 月 27 日行政院科技會報「生醫產業創新推動方案成果」中指示：相關部會在「5+2 產業創新」基礎下，以「精準健康」為主軸，讓臺灣成為國際生醫創新研發樞紐，其中核醫藥物之生醫創新研發為「精準健康」的發展重點；此外，行政院 109 年 2 月 10 日政策指示：「積極推動我國太空科技發展」為未來台灣太空科技永續發展奠定良好基礎；並於 110 年 2 月 18 日第 3739 次院會提出「太空發展法草案」，為我國太空產業與活動首次立法，太空科技發展的重要性不言而喻；其中太空元件開發的抗輻射檢測技術，為我國太空科技自主關鍵技術及零組件開發的成敗關鍵之一。

為符合總統及上述政府科技發展政策指示，以及參考國際現況及發展趨勢，認為我國有必要建置一座國家級質子與中子科學應用之中型迴旋加速器。有鑒於我國目前已具備能量區間在 9.6 至 18 MeV 小型迴旋加速器 12 座、15-30 MeV 中型迴旋加速器 1 座(核能研究所)、70-230 MeV 高能質子迴旋加速器 2 座，還缺能量區間在 30-70 MeV 迴旋加速器，是我國基礎科學研發與產業應用的缺口。綜觀國際上，能量區間在 30-70 MeV 之迴旋加速器其應用極為多樣，從基礎科學到醫學、農業、工業、能源、太空、國防等領域均有相當多的應用實例，足顯見其多元性。

核能研究所擁有全國唯一一座 30 MeV 中型迴旋加速器，擁有大量的技術人才與多年的運轉經驗，對於原子能科技應用的技術研發，具有超過 50 年的累積經驗，對於建置國家 30-70 MeV 之迴旋加速器與未來的科研及運維，為國內不二選擇。本計畫規劃四年期(111~114 年)在核能研究所建置一座國家級 70 MeV 迴旋加速器，協助我國之基礎科研、生醫產業、太空及國防科技、半導體及材料產業等…發展與提供跨領域合作契機。

全程計畫工作重點包括：(一)輻射安全評估與系統可用度提升作業；(二)土木工程建造與廠用系統設計及建廠作業；(三)70 MeV 迴旋加速器本體暨射束線建置與人員訓練；(四)國家級核醫藥物同位素生產設施與太空元件質子照射平台建置及(五)中子影像、中子繞射等材料研究設施建置等。

預期可達成的效益，包括研製與生產醫用(診斷與治療)重要放射性同位素與核醫藥物，提供國內醫院需求；進行中子應用研究，推廣於半導體業、機械工業、原子能科技、航太工業、醫藥業、農業和國安工業等領域之應用與服務；建立專用的模擬太空輻射試驗之設施及標準度量技術，促成建立台灣太空產業供應鏈，使關鍵元件自主化，完善國內太空科技研究與產業發展所需基礎設施等。最終目標是擁有自主關鍵研發能力、技術與產品，提升我國重要科技

	與產業技術之國際競爭力。			
中英文 關鍵詞	迴旋加速器、核醫藥物、精準醫療、半導體、太空科技 cyclotron, radiopharmaceutical, precision medicine, semiconductor, space technologies			
計畫連絡人	姓名	樊修秀	職稱	簡任副研究員 兼副組長
	服務 機關	行政院原子能委員會核能研究所		
	電話	(03)471-1400 轉 7002	電子郵件	amanda@iner.gov.tw

貳、計畫緣起

(109)年全世界飽受 COVID-19(武漢肺炎)疫情滋擾、全球半導體產業及太空科技競爭日益激烈、嚴重威脅台灣國安…等時空環境背景下，核能研究所(以下簡稱核研所)提出「國家中子與質子科學應用研究：70 MeV (百萬電子伏特) 中型迴旋加速器建置」計畫，完成此迴旋加速器建置後，可以提供國內產學研界高能的中子與質子，應用於醫療、科學、工程、半導體科技、國防安全…等領域，有助改善當前國家所面對的競爭與威脅。

總統 109 年就職演說指出：將打造「六大核心戰略產業」，使台灣成為未來全球經濟的關鍵力量。其中第六項「民生及戰備產業」即與因應本次疫情及未來可能的國際風險，建立國內自主自足的供應能量密切相關。

又根據聯合國於 2015 年 9 月 25 日發布，「2030 Agenda for Sustainable Development」，強調科研創新是推動永續發展願景的核心關鍵，透過科學、技術與創新三項指標來落實永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)；以及聯合國跨機構任務小組(Inter-Agency Task Team, IATT)於 2019 年 6 月擬定的「Science, Technology and Innovation for SDGs Roadmaps, (STI for SDGs Roadmap)」，提出國家科研創新路線圖規劃方法論，乃以基礎、調適與整合盤點現有科研創新政策需求，建構符合 SDGs 的科研創新規範與政策監管標準，運用科技前瞻方法掌握未來發展趨勢，研擬對策並面對挑戰。

行政院原子能委員會(以下簡稱原能會)為我國原子能安全主管機關，積極推動原子能科技研究與創新，以增進民生福祉。透過「原子能科技國際發展趨勢及我國發展策略之研析」[1]，規劃研擬國家原子能科技應用研究策略藍圖，提供科學發展計畫之科研方針，作為未來原子能科技於民生應用研究發展之參考。從原子能科技層面尋求突破與創新，來解決我國所面臨的環境、經濟及能源…等議題，厚實原子能科技在民生應用，戮力貢

在(109)年初全球爆發 COVID-19 疫情時，國際航線受阻，導致國外產品無法正常輸入，以致短半衰期核醫藥物供應斷鏈，核研所緊急投入生產，供應國內醫療急迫所需之「氯化亞鉈(鉈-201)注射劑」與「檸檬酸鎳(鎳-67)注射劑」，造福 25,700 名病患(109.04.20~109.11.30)，暫解燃眉之急。而今 COVID-19 疫情仍在持續延燒，我國短半衰期核醫藥物供應的長期不確定性，威脅到國民健康安全，更突顯核研所核醫藥物自主穩定供應的重要性。

是以，本計畫提出建置一部新的迴旋加速器，進行質與量的全面提升，以確保國內短半衰期核醫藥物的供應無虞。同時，為極大化科研投資效益，將新迴旋加速器擴充用於質子與中子的科學發展與工業應用，配合蔡英文總統在 109 年就職演說「六大核心戰略產業」的「臺灣精準健康戰略產業」、「國防及戰略產業」、「民生及戰備產業」等三大產業，本計畫鎖定國安、太空、半導體等方面優先應用，設施功能與未來發展效益，如圖 2 所示。中子與質子等高能粒子涉及高強度放射性物質與輻射安全管制，一般民營公司難能獨立投資及營運，世界強國多由國家進行資本投資。放射性物質與輻射管制等原子能和平用途與科技發展，屬於核研所機構的本職業務，核研所的龍潭園區已屬於輻射作業管制區，是國內設立 70 MeV 中型迴旋加速器最適切的場址，核研所也是執行此計畫最恰當的機構。

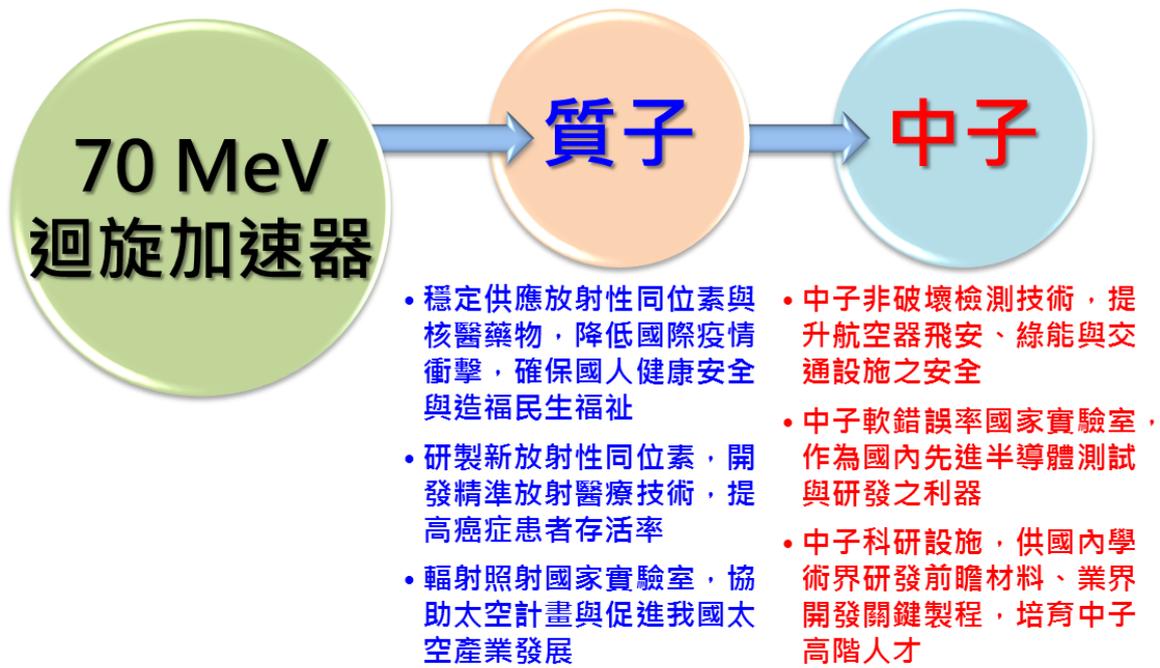


圖 2、設施功能與未來效益

一、依據

- (一) 契合蔡總統打造「六大核心戰略產業」，使台灣成為未來全球經濟的關鍵力量。本計畫助攻範疇含括「臺灣精準健康戰略產業」、「國防及戰略產業」、「民生及戰備產業」等三大產業。
- (二) 契合行政院蘇院長之「生醫產業創新推動方案成果」指示：相關部會在「5+2 產業創新」基礎下，以「精準健康」為主軸，讓臺灣成為國際生醫創新研發樞紐。
- (三) 契合 109 年第 11 次全國科學技術會議的「人才與價值創造」、「科研與前瞻」、「經濟與創新」及「安心社會與智慧生活」等四大議題，推動高科技研發創新及國家未來競爭力，加強培育科技人才，滿足未來產業人才需求；布局戰略科技，滿足未來科研能量的需求。
- (四) 契合行政院「積極推動我國太空科技發展」政策，促進我國太空活動及太空產業之發展，提高國民生活福祉，協助人類社會之永續和平發展，作為國土安全與監測自然環境的高科技工具；另因應全球外太空商業化發展的趨勢，推動外太空探索與科學創新計畫。此外，太空發展法草案於 110 年 2 月 18 日提報行政院第 3739 次院會，為我國太空活動之發展寫下歷史性的一刻，也為未來台灣太空科技永續發展奠定良好基礎。
- (五) 立法院 110 年度預算審查決議：為強化我國中子與質子科學應用研究，核研所應於經費核定後 4 年內完成建置 70 MeV 迴旋加速器。
- (六) 行政院原子能委員會 110 年度施政方針「...拓展原子能技術跨領域應用...」。

二、未來環境預測說明

(一) 疫情騷擾、國際航線受阻，短半衰期核醫藥物之供應斷鏈威脅

調查我國迴旋加速器結果，十二座小型迴旋加速器(9.6~18 MeV)，分屬醫學中心、區域醫院與生技公司。一座中型迴旋加速器(15-30 MeV)，核研所既有設施以及二座高能質子迴旋加速器 (70-230 MeV)，位於林口長庚醫院與高雄長庚醫院，如表 1 所示。不同能量迴旋加速器可產製不同的放射性核種。

表 1、國內迴旋加速器設施與與能量範圍(依設立時間排序)

序	使用單位	設備啟用年	(國家)廠牌	儀器型號	質子能量 (MeV)	氬核能量 (MeV)	電流 (μA)
1	台北榮總	1992	(Sweden) Scanditronix	MCI7F	17		80
2	核研所 (INER)	1993	(Canada) Triumf	TR30/15	15-30	15	200 (單射束) 500 (雙射束)
3	中山醫大附醫	1999	CTI	RDS111	11		65
4	新光醫院	2001	(USA) GE	MINT Trace	9.6		50
5	三總	2003	(Belgium) IBA	Cyclone 18/9	18		300
6	花蓮慈濟醫院	2003	(USA) GE	PET Trace	16.5	8.4	100
7	義大醫院	2005	(USA) GE	PET Trace	16.5	8.4	100
8	阮綜合醫院	2005	(Japan) Sumitomo	HM12S	12	6.0	
9	台大醫院	2005	(USA) GE	PET Trace	16.5	8.4	100
10	林口長庚	2007	(Japan) Sumitomo	HM12S	12	6.0	
11	林口長庚	2012	(USA) GE	PET Trace	16.5	8.4	100

序	使用單位	設備啟用年	(國家)廠牌	儀器型號	質子能量 (MeV)	氘核能量 (MeV)	電流 (μA)
12	林口長庚	2015	(Japan) Sumitomo	Proton Therapy System	70-230		<1
13	士宣生技股份有限公司	2017	(Japan) Sumitomo	HM12S	12	6.0	
14	高雄長庚	2018	(Japan) Sumitomo	Proton Therapy System	70-230		<1
15	臺灣新吉美碩股份有限公司	2019	(Belgium) IBA	Cyclone® KIUBE	18		100

備註：小型迴旋加速器(9.6~18 MeV)，可產製短半衰期核種，如碳-11(C-11)、氟-18(F-18)與氧-15(O-15)。中型迴旋加速器(15-30 MeV)，主要產製多項核種，如氟-18(F-18)、碘-123(I-123)、銦-111(In-11)、鎩-67(Ga-67)與鉈-201(Tl-201)。以及高能質子迴旋加速器 (70-230 MeV)，主要應用於質子治療。不同能量迴旋加速器可產製不同的放射性核種。

核研所擁有全國唯一的一座 30 MeV 中型迴旋加速器。在(109)年初全球爆發 COVID-19 疫情，國際航線受阻國外供藥短缺，以致短半衰期核醫藥物供應斷鏈，核研所緊急投入生產與供應國內醫療急迫所需之「氯化亞鉈(鉈-201)注射劑」與「檸檬酸鎩(鎩-67)注射劑」，雖貢獻於國家防疫能量與供應戰備資源，造福 25,700 名病患(109.04.20 ~ 109.11.30)，暫解燃眉之急，然而 COVID-19 疫情至今仍然持續延燒，挑戰既有全球供應鏈的生產布局，也增加全球供應鏈的不確定性。同樣地，核醫藥物供應鏈亦是充滿變數與不確定性，尤其是短半衰期核醫藥物「氯化亞鉈(鉈-201)注射劑」與「檸檬酸鎩(鎩-67)注射劑」，國內僅能由核研所自行產製供應，因此我國短半衰期核醫藥物之研究發展，需以戰略思考模式進行長遠布局永續經營。

(二)人口快速老化，高齡癌症患者人數增加，癌症治療需求遽增，造成沉重的醫療成本負擔

根據世界衛生組織(WHO) 2018 年的癌症數據估計，2018 年新增病例 1,810 萬例，死亡 960 萬例。此外，主要癌症發病率和人口增長

趨勢一致，根據癌症研究基金會(Cancer Research UK)預測，至 2040 年前，每年全球可能有 2,750 萬新癌症病例。美國國家癌症研究所(National Cancer Institute)報告指出，世界 60% 以上的新癌症病例都發生在亞洲、非洲、中美洲與南美洲，全世界 70% 癌症死亡發生在這些地區。

人口老化已是全球關切注目焦點與嚴重議題，國家發展委員會之中華民國人口推估(民國 109 年至 159 年)報告書(2020,08)指出：目前我國人口結構為燈籠型(中間大兩頭小)(民國 109)，且快速朝向倒金鐘型(上寬下窄)(民國 159 年)發展。臺灣早於 82 年就已經邁入高齡化社會，截至 107 年底 65 歲以上的老年人口已超過 343 萬人，占總人口 14.56%，推估至 112 年 65 歲以上老年人口的比率將超過 18%。我國於 107 年已進入超高齡社會，成為超高齡社會的一員，高齡化速度遠較歐、美、日等國為快。

根據我國癌症登記分析資料，老化是導致癌症發生的重要因素。因此隨著人口結構的變化，65 歲以上的癌症患者在 105 年達到 48,216 人，佔所有癌症發生人數 45.6%，65 歲以上癌症發生人數較 90 年成長 72.4%。根據 107 年死因統計，因惡性腫瘤死亡造成潛在生命年數損失(70 歲以下人口)約為 30.6 萬人年，平均生命年數損失約 12.4 人年。惡性腫瘤的治療造成沉重的醫療成本負擔以及惡性腫瘤死亡所造成生產力的損失等社會成本耗損，是無法估計的。

(三)精準醫療與智慧醫療時代來臨，醫療環境及醫藥技術丕變

今日全球醫療衛生快速的發展，從基因檢測、個人化治療、標靶治療到免疫治療，癌症醫療有著顯著突破。2015 年時任美國總統歐巴馬於國情諮議文提出，規劃推動短中長期「精準醫療」(Precision Medicine)計畫國家政策，主軸是「世代的人體基因組資料

庫蒐集及研究」，範圍從個人化醫療到標靶治療等都屬於精準醫療的概念。以及英國領先推動「十萬基因體計畫(100,000 Genomes Project)」、美國推出「精準醫療計畫(Precision Medicine Initiative)」、「登月計畫(MoonShot Project)」及「21世紀醫療法案(21st Century Cures Act)」，均將「精準醫療」列為國家發展的重點，全球生醫界亦積極投入研究與發展，其主要內涵就是準確地瞭解疾病的發生與進展，藉由有效地探究疾病的因果，結合醫學的科學研究及跨領域科技，讓疾病的預防與診療能夠更為精準。

精準醫療最終目標是「癌症治療」，可分為4個面向(4P)，包括預防(Preventive)、預測(Predictive)、個人化(Personalize)、參與式(Participatory)。根據世界衛生組織(WHO) 2018年的癌症數據，全球癌症負擔據估計，2018年新增病例1,810萬例，死亡960萬例。此外，如果最近主要癌症發病率和人口增長趨勢一致，英國癌症研究基金會(Cancer Research UK)預測：到2040年之前，每年全球可能有2,750萬新癌症病例。另外，根據我國衛生福利部統計資料，由死亡率進行排序，108年惡性腫瘤癌症續居十大死因首位，且從71年起已連續35年高居國人死因首位。

癌症治療方式主要可分為手術切除、化療、放射線治療、免疫治療、單株抗體治療或其他方法…等。其中放射線治療在癌症治療上，一直扮演著重要角色，透過與手術切除及化學治療的有效搭配，可提供癌症病患有效的疾病控制。放射線治療作用原理主要放射線粒子的物理劑量分佈或輻射生物特性而決定，可分為體外(遠隔)治療與體內(近接)治療。體外(遠隔)治療包括放射線(X光 or gamma-ray)治療，質子治療(proton therapy)、重粒子治療(heavy ion therapy)與硼中子捕獲(Boron Neutron Capture Therapy；BNCT)治療。無論手術治療

或是放射治療均屬於局部治療，目前癌症治療約 50%病患需放射治療來協助控制癌症。面臨「精準醫療」時代來臨，未來與癌症相關的「檢測」、「診斷」、「治療」與「監測」產業發展，精準放射醫療如何因應將是挑戰。

依據「個人化醫療聯盟的 2017 年度報告」指出，在各種疾病中，無效藥物的比例高達 38%到 75%，全球醫療朝向個人化、精準醫療之趨勢以提高藥效及疾病治癒率。精準放射醫療在診斷方面，國際藥廠積極開發放射影像診斷劑，其優勢在於放射影像能進行病人全身性的篩檢、病程監測以及預後評估等。其餘診斷方式如即時聚合酶鏈反應(Real-time polymerase chain reaction, Real-time PCR)、免疫組織化學染色法 (immunohistochemistry, IHC) 及螢光原位雜合 (Fluorescence in situ Hybridization, FISH) 等，皆須經過侵入式的生物檢體採樣進行區域性的檢測，才能進行分析，且不能提供治療中或治療後的即時資訊。搭配精準放射醫療之使用可提高藥物之客觀緩解率(Objective Response Rate, ORR)，顯示其重要性[3]。

此外，美國食品藥品監督管理局(FDA)為確保將探索之藥物轉化為產品成功的機會，早在 2004 年便提出革命性的新政策「關鍵途徑」(Critical Path)。具體實施項目包括改善藥物發展的工具套組(Toolkits)，其中影像評估技術被認為是最具突破研發瓶頸的潛力方法之一。核醫分子影像可運用於新藥開發的各個階段，包括從臨床前藥物篩選、開發到後段各期臨床試驗，有助於減少時間及金錢的流失率[4]。

精準放射醫療無論在新藥開發、臨床試驗及病人全身性的篩檢、病程監測以及預後評估等皆是國際大廠積極發展之趨勢。精準放射醫療在治療方面，2011 年由美國國家研究委員會(United States National Research Council)提出精準醫療概念，基於個體間基因差異

性、社會環境和生活型態等不同提供病患個人化的預防與治療措施，所開啟的個人化醫療革命也帶動放射免疫治療 (Radioimmunotherapy, RIT) [5]及胜肽受體放射性治療(Peptide Receptor Radionuclide Therapy, PRRT)等精準放射醫療治療的快速發展[6]。

新一代放射精準醫療除使用 gamma-核種(γ)及 beta-核種(β)外，alpha-核種(α)近年來已是前瞻性發展的治療新藥領域，美洲與亞太等世界先進國家皆積極研發具有商業化潛力的新核種如銅-225(Ac-225) [7-11]、銅-67(Cu-67) [12, 13]、錫-117m(Sn-117m) [14, 15]與鋇-82(Sr-82)[16]應用於腫瘤治療與診斷、減輕骨痛和骨轉移治療與心臟造影 [14, 15, 17-20]，然而，環顧國內放射精準醫療之進程，若欲與世界同步的水準，勢必要有穩定同位素之供應，故迴旋加速器之建置、維運及提昇性能是極為核心及關鍵的一環。在美國能源部 (Department of Energy, DOE) 在 2010 年提出的 Accelerators for America's Future 報告中在 Accelerator for Medicine and Biology 章節中詳述迴旋加速器對核醫製藥的重要性，並推動新一代 30~40 MeV 可調能量、多種加速粒子、高電流的商用迴旋加速器設施[21]。

(四) 太空產業快速發展，我國應善用資通訊與半導體優勢，積極參與國際太空市場，必須建構太空級關鍵電子零組件輻射環境驗證測試之設施

「衛星」是下一代各國競逐的科技產業，隨著衛星發射成本持續下降，諸多國家積極進行多項衛星發射計畫。以美國為例，新興衛星運營商如 SpaceX，已計畫在未來幾年內大量發射低軌道衛星，提供全球衛星通訊服務。SpaceX 已向聯邦通信委員會 (Federal Communications Commission, FCC) 申請，發射低軌道(LEO) 4,425 顆，並將在 2027 年前完成部署，而其衛星網路服務(Starlink)已在 2020 年 10 月在美國公開測試[22]。由 SpaceX 引領的新一代太空競賽正在逐

漸加速，依照 2020 年美國太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)報告[23]，目前全球有 81 個國家主動投入太空產業，雇用了超過百萬名員工，各國政府總投入超過了 850 億美元，全球太空經濟產值超過 4,000 億美元，根據摩根士丹利(Morgan Stanley)最新預測[24]，到 2040 年，太空產業鏈經濟規模將達到 1 兆美元，所以，世界各國莫不積極搶進太空領域。

台灣在福衛系列衛星計畫框架下，同時發展太空技術並衍伸國內太空產業，我國國家太空中心更宣布第 3 期國家太空計畫，自 2019 年至 2028 年止，將投入 251 億元，建立台灣衛星完整供應鏈，進軍全球太空產業。台灣具有半導體設計與製造、感測元件、衛星框體包裝、衛星模組設計、天線模組等設計能力與技術，業者可參與其中以帶動更多市場空間，未來可承接低軌道衛星的訂單，從設計、製作到組裝等，結合台灣優勢產業，帶動國內太空產業發展，進而進軍國際太空市場，是第三期國家太空科技長程發展計畫的重要目標。依據美國衛星工業協會(Satellites Industry Association, SIA)2020 年報告[25]，2019 年全球太空產業總值達 3,660 億美元，而衛星製造產業的產值已達到 125 億美元的規模，如圖 3 所示，這一區塊也是台灣最適合切入的部分。

The Satellite Industry in Context

(2019 revenues worldwide, in billions of U.S. dollars)

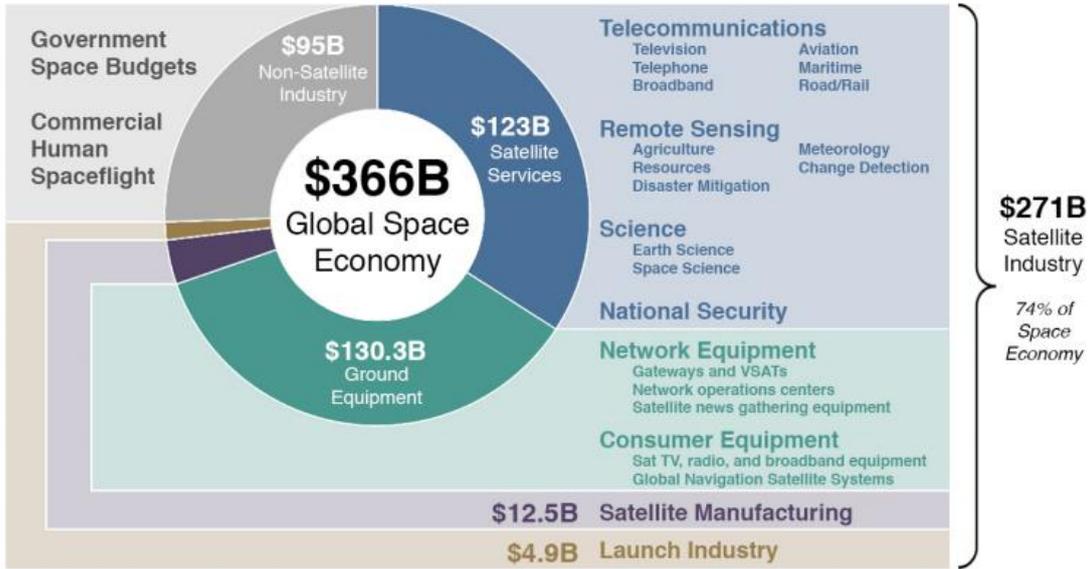


圖 3、2019 年全球太空產業總值

從國家戰略層級來看，台灣已成為美國印太戰略重要一員，太空與衛星相關的技術，與現代國防發展息息相關，為確保國家安全，不可忽視。然而，協助本土電子元件廠商技術升級，以及推動台灣半導體產業強國邁向太空級耐輻射電子元件供應國，必須整合台灣輻射驗證與分析能量，滿足電子元件之輻射驗證與測試需求。

2020 年 7 月，國家實驗研究院國家太空中心與輻射測試/分析單位，包括中央研究院物理研究所、國立清華大學原子科學技術發展中心、長庚大學/林口長庚醫院放射醫學研究院、長庚醫療財團法人林口長庚紀念醫院、宜特科技股份有限公司以及核研所，共同組成「台灣太空輻射環境驗測聯盟」[26]，率先整合台灣輻射驗證與分析能量，將有助於我國廠商發展耐輻射電子產品，搶占國際市場。但是，台灣高能質子輻射驗證場域，獨缺 30-70 MeV 能量範圍，核研所建立 70 MeV 迴旋加速器，可滿足質子束驗證全域需求，提升我國太

空電子元件輻射驗證能量，完善國內太空科技研究與產業發展所需基礎設施，有效支援國內太空產業發展。

(五) 尖端中子研發基礎設施成為國際經濟國家重要戰略資產，競爭激烈，必須持續全方面不斷投資研發

中子與同步輻射光是探討自然界微結構的兩樣利器[27]，目前國內已建有同步輻射中心，於民國 82 年台灣光源開始啟用，到目前已廣泛被應用於學界與業界，但國內目前尚欠缺可方便應用於業界之中子源。少了一項可探討微結構的利器。

中子與物質的作用機制與同步輻射光不同，中子在穿透物體時，與 X 射線的被吸收特性顯著不同，中子不帶電，它能輕易穿透物質的電子層與原子核發生反應，其衰減係數大小取決於原子核與中子發生的核反應機率(中子截面積)，故可利用中子束穿透物體時的衰減情形/分佈，從而檢測某些物體的內部結構性質或是物質的散佈情形[28, 29]，利用中子可觀測到同步輻射光看不清楚甚至看不到的微結構。

中子源與同步輻射的光子(X 射線)源都是學術研究的重要工具，世界各國如美國、歐盟、中國、日本、澳洲、韓國、印度、印尼…等，都積極投資中子設施的建設與開發[24, 25]。中國在廣東省東莞市建成第一台散裂中子源 (China Spallation Neutron Source, CSNS)，第一期投資 23 億元人民幣(約 100 億新台幣)，已於 2019 年完工試運轉與正式對外提供服務，成為世界四大脈衝散裂中子源之一[30]。歐盟國家亦共同出資興建歐洲散裂中子源 (European Spallation Source, ESS)，於 2014 年開工興建，預計於 2024 年可正式對外提供服務[31]。美國在 2017 年亦再投資 2 億美元預算進行其 Spallation Neutron Source (SNS) 的質子源功率昇級從 1.4 MW 到 2.8 MW [32]。世界目前大型中子源發

展趨勢以加速器式中子源為主(主要科技大國)，如圖 4 所示，相對於研究用反應爐，其優點為安全性高，產生極少量放射性物質，未來可再昇級提高中子效性能。

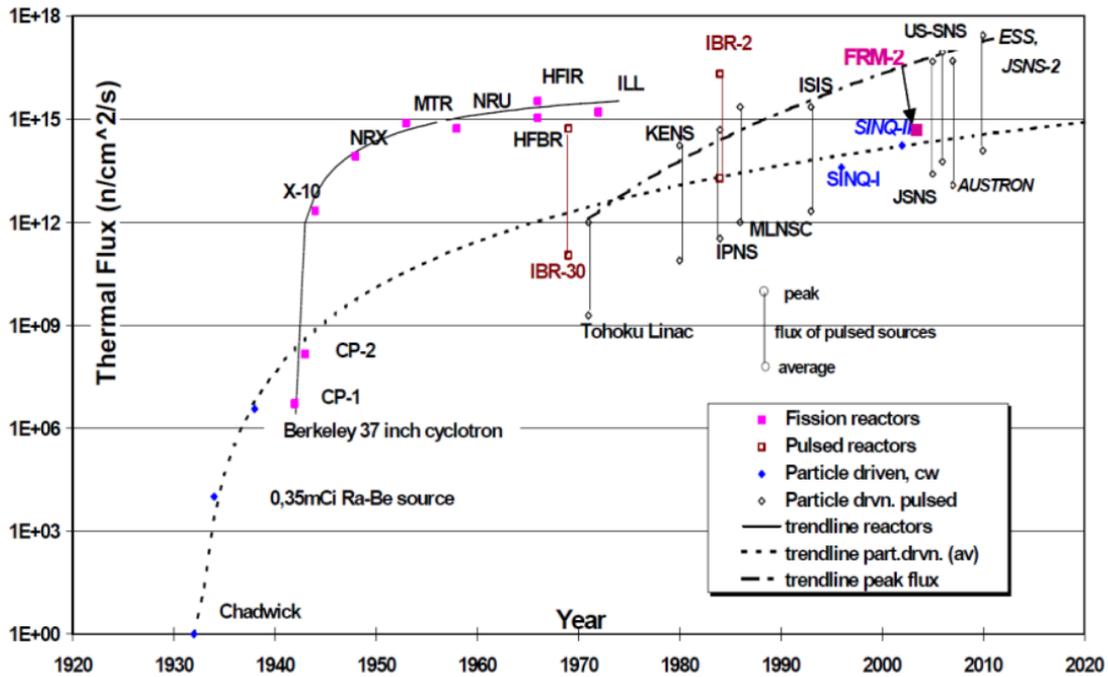


圖 4、國際中子源發展歷史軌跡[33]

近年來，主要科技大國如歐、美、日、中等國，鑑於主要大型中子源設施因為利用中子工具研發之熱門故申請計畫眾多踴躍，已不敷需求，目前亦有利用小型加速器為中子源之計畫及設施建立在進行中，國際間相關學術研究機構亦成立小型加速器中子源(Compact Accelerator Neutron Source)聯盟推廣及交流中子技術[34]，圖 5 為日本的中子源分布圖，其中有 2 個小型中子源是以迴旋加速器增設而成，此類迴旋加速器中子源方式正是本計畫擬建置的。

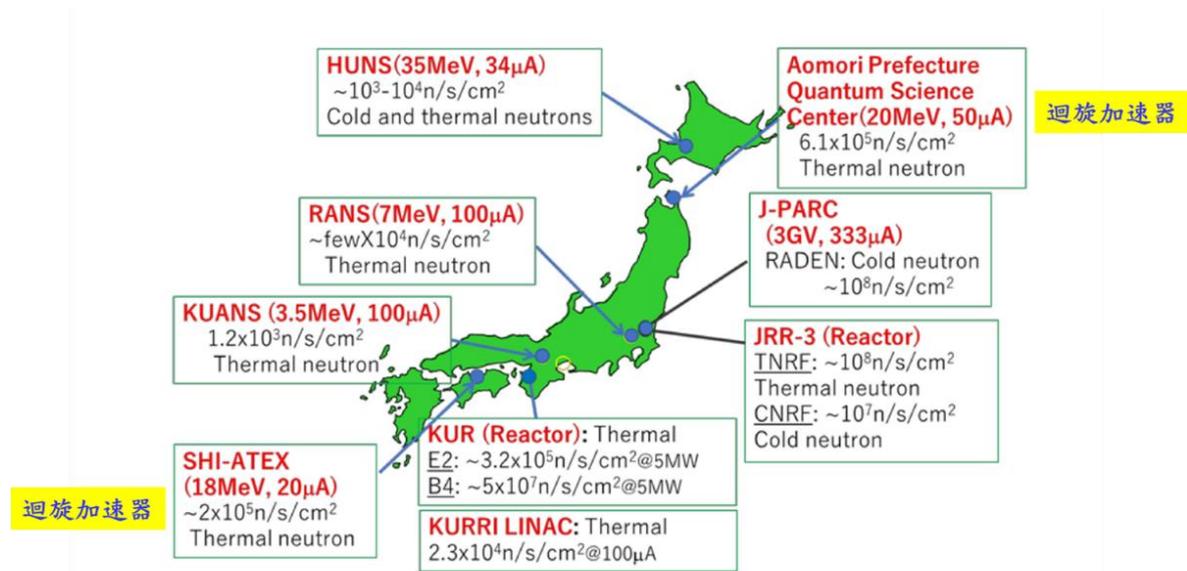


圖 5、日本的中子源分布圖[35]

中子科技的應用在航太工業、飛機製造工業、農業、醫學、國防工業及原子能科技…等領域都得到了廣泛的應用。澳洲科研單位 ANSTO 憑藉具有中子的研究優勢，結合大學與其他研發單位，選定智慧機械中的新興主題 3D 列印，以研發優化從原料到製程、再到產品的全套產線 know-how。其他應用的新興領域還包含了超導電纜的研發與波音公司合作的航太元件開發[36, 37]。除了前述的領域外，在材料的非破壞性檢驗中，中子照相與 X 射線照相兩者可作為相互輔助，應用於重要的民生安全議題，像是大橋的防蝕與除垢、大型金屬管線焊接課題、與電廠使用渦輪葉片劣化檢測與飛航安全，還有交通基礎建設中的鐵軌檢測等[38-40]。

(六) 國內中子領域專業人才發展遲緩，中子高科技研發與工業升級應用機會日漸流失

中子源是一高科技研發的重要基礎設施，已為世界各國的共識，莫不積極投入中子設施的建設與開發。美國物理學會(American Physical Society, APS) 亦覺得美國投入中子研發的經費不足，更於

2018 年提出”Neutron for the Nation”說帖希望美國政府能加碼投資中子研發，特別是中子源設施的開發[41]。近年來國際中子科技發展日新月異，日本不斷利用中子發現新材料與開創檢測新技術，促進了材料產品的高值化與工業製程的精進，維護經濟強國的地位及未來發展。

國內僅存的清大 THOR 反應爐中子源設施老化[42]，而國外中子研究設施申請及使用皆不易，導致我國不易吸引科技人才投入中子研究領域，造成國內中子專業人才成長不易，對我國科技發展與工業成長均是個威脅。臺灣中子科學學會鑑於此趨勢，在 2020 年中子例行年會上討論並向科技部提出一中子專業人才培育計畫[43]，其中更對國內缺乏中子儀器科學家(Instrument Scientist)的培養感到憂心。由於光子(X 射線)與中子對材料檢測具互補的特性，目前同步輻射已在國內建立良好的光子(X 射線)研究基礎環境，核研所若能藉 70 MeV 中型迴旋加速器的建置，在國內建立一相應的中子源設施，開創提供中子應用的首試平台，則對國內前瞻性材料的研究，可由點擴展至面，不僅可提昇產業競爭力，同時也可建立我國研究特色。

三、問題評析

(一) 迴旋加速器設備機齡偏高，造成維護成本遽增與供應失靈的風險

核研所擁有全國唯一一座中型迴旋加速器，短半衰期核醫藥物「氯化亞鉈(鉈-201)注射劑」與「檸檬酸鎳(鎳-67)注射劑」在國內僅能由核研所自行產製供應。但這座中型迴旋加速器的運轉已超過28年，(109)年因全球爆發 COVID-19 疫情，國際航線受阻導致國外供藥短缺，以致短半衰期核醫藥物供應斷鏈，核研所臨危受命緊急投入生產與供應國內醫療急迫所需，貢獻於國家防疫能量與供應戰備資源，解一時燃眉之急。然而目前 COVID-19 疫情仍然持續延燒，繼續挑戰既有全球供應鏈的生產布局，也增加全球供應鏈的不確定性。因此我國自製短半衰期核醫藥物之研究發展與永續經營，需以戰略思考模式進行長遠布局。但設備機齡偏高，核醫藥物生產及供應數量逐年下降，對於國人治療用藥造成十分不利影響，實有必要建置另一座新的迴旋加速器，維持藥品質與量的穩定，善盡政府回應國人醫療需求之責任。

(二) 癌症仍持續為國人死因第一位，亟待建立精準放射醫療技術

我國惡性腫瘤(癌症)續居十大死因首位，且從71年起已連續35年高居國人死因首位。放射線治療在癌症治療上，一直扮演著重要角色，目前癌症治療約50%病患需放射治療來協助控制癌症，再透過與手術切除及化學治療的有效搭配，可提供癌症病患有效的疾病控制。無論手術治療或放射治療均屬於局部治療，近期的癌症治療朝向精準有效的治療方式。面臨「精準醫療」時代來臨，未來與癌症相關的「檢測」、「診斷」、「治療」與「監測」產業發展。標靶 α 射線治療法(targeted alpha therapy, TAT)的核醫藥物開發是當今全球學術界和商業研究的重點活躍領域。精準放射醫療的標靶 α 射線治療法(TAT)是利用

放射性同位素及其衰變產物所釋放的 α 粒子，殺死身體內的癌細胞 [1,2]，因線性能量轉移(LET)能量很高以及組織中 α 粒子射程範圍短(大約數個細胞的直徑)，為最有效的細胞毒性藥物之一，大幅減少或不存在對標靶癌細胞周圍正常組織的非特異性照射，大大提高標靶治療的安全性。可發射 α 粒子放射性同位素，如鈾-225、錒-211(At-211)、鉍-213(Bi-213)與釷-227(Th-227)等[1-5]。但是目前國內尚無任何機構可研製前述放射性同位素。

(三) 半導體製程線寬越來越窄，面臨的環境背景輻射威脅日增

半導體製造業乃當前我國最先進核心重要產業，隨著半導體製程技術的演進，半導體的線寬也越來越細。根據 2019 年 12 月科技產業資訊室彙整，以及從台積電、英特爾...等半導體產業大廠資訊，認知到未來 5 年內半導體產業仍會持續努力實現製程微縮的目標。到 2025 年台積電(TSMC)將自當前 7 奈米製程進步到 2 奈米製程，英特爾也將進入到 3 奈米製程，如圖 6 為台積電 IC 元件製程技術發展趨勢。隨著製程的微縮與全球各地精密產業對電子產品的泛用性提升，電子產品的穩定度與精確度將更顯重要。

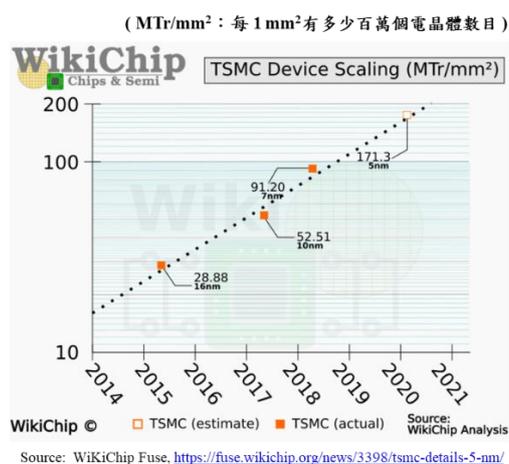


圖 6、台積電 IC 元件製程技術發展趨勢[44]

地球隨處都存在宇宙背景輻射，地表主要以中子為主，電子產品拓展到外太空或高原等環境嚴苛地區時，輻射效應造成的電子產品故障率將顯著提升。隨著未來產品製程逐步微縮，半導體元件對宇宙背景輻射將會越發敏感，聯合國的國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)於2016年發布「輻射粒子對通訊系統影響」的ITU K.124標準，並在隨後3年內陸續發布了多達5項標準[45]，顯示輻射威脅通訊系統中的半導體元件無法不予重視。

輻射的威脅包括高能質子與中子，國內在2019年開始有少數實驗室可提供高能質子輻射照射測試，但缺乏一個公正機構驗證以及在國內缺少中子測試實驗室。

中子為電中性，不易屏蔽防護，來自宇宙背景高能中子(>1 MeV)甚至可以穿透數公尺厚的混凝土。近年來由中子引發半導體元件的軟錯誤率(Soft Error Rate, SER)問題倍受重視，因為在現今半導體積體電路進入奈米製程。圖7為記憶體軟錯誤率與半導體製程線寬之關係，可發現半導體製程技術的線寬越細，半導體元件產生軟錯誤率之次數呈指數增加。軟錯誤率不僅損壞非常重要數據，亦有可能損壞實體電子裝置，許多重度依賴數據完整性和高可靠度的產業例如金融服務、國防設施、醫療保健、複雜計算等應用對半導體元件軟錯誤率極端敏感。目前國內尚無針對半導體元件軟錯誤率檢測的實驗室，半導體廠的元件目前都需要送到國外檢測，研發時程長且地理受制，隨著製程微縮，可預測未來半導體產業對輻射照射測試服務的需求將大幅成長。國內有必要建立本土的輻射檢測實驗室，提高時效性與自主性，鞏固我國半導體業全球領先實力。

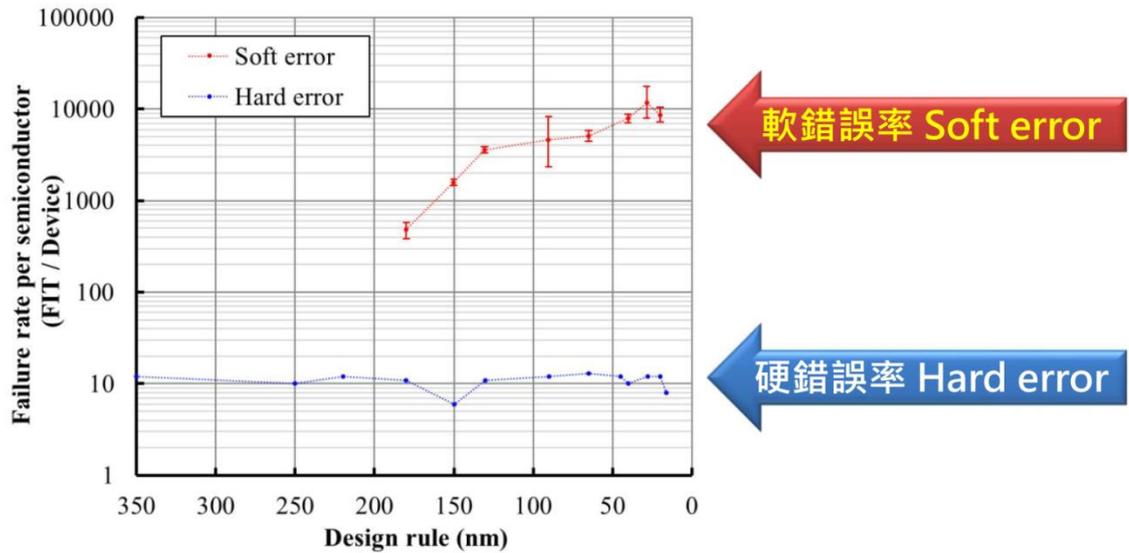


圖 7、記憶體軟錯誤率與半導體設計線寬之關係[46-48]

全世界軟錯誤率的主要研發是在美國，初期是以衛星太空領域的電子元件為主要研究標的，再逐漸延伸到地表輻射相關研究。美國在 1990 年已擁有許多設施如洛斯阿拉莫斯國家實驗室(LANL)、哈佛大學、東北質子治療中心、印第安納迴旋加速器設施、加州戴維斯分校的 Crocker 核能實驗室、波音公司的輻射效應實驗室、德州儀器公司、伊士曼柯達研究中心、陶氏化學公司、美國海軍研究院、美國國家標準局 NIST...等[46, 47]。

最近 5 年日本、韓國、義大利、大陸等國均投入許多資源，建立專業實驗室以量測軟錯誤率[45]。例如日本政府與日本電信電話公司 NTT (類似我國的中華電信公司)自 2016 年起，投資超過 2 億台幣，陸續與 Shi-Atex 公司(迴旋加速器中子源)及北海道大學(線性加速器中子源 HUNS)合作，建置通訊電子設備的中子軟錯誤率分析實驗室。韓國原子能研究所(KAERI)於 2019 年開始，利用其既有的 RFT-30 迴旋加速器，增設一條新的中子射束，提供韓國企業進行軟錯誤率測試。義大利萊尼亞羅國家實驗室 INFN-LNL 近年開始建置一套全新的 30-70 MeV 迴旋加速器，作為太空輻射、中子軟錯誤率、中子應用與高能粒

子研發的基礎設施。大陸也在近 5 年內，陸續成立國家級的軟錯誤率實驗室。

世界各國，特別是半導體領域的發展國，莫不投入資源建置中子軟錯誤率測試的專業實驗室，進行基礎研究，並服務半導體電子與通訊產業，以提高產業的競爭力。

鑑此，本計畫提出建置中子源及中子軟錯誤率實驗室，做為我國半導體元件與通訊產品的開發與輻射驗證之用。

(四) 太空科技發展快速，大量衛星受到宇宙射線輻射影響與威脅

衛星應用的電子元件必須承受太空中高能量的輻射環境場域，故太空輻射試驗與環境測試是不可或缺之工作。太空中宇宙射線輻射的主要粒子散布與高度之關係如圖 8，在衛星層面的宇宙射線應用研究，其主要輻射種類是高能質子、重離子等。

衛星在太空軌道，除承受日夜極端溫差變化，宇宙射線輻射干擾與高能粒子撞擊，都可能造成系統功能失常，輕者重新開機就可恢復正常，嚴重時可能造成元件損壞，無法繼續執行任務。到目前為止，SpaceX 星鏈網絡中大約有 3% 的衛星似乎已經失效，變成太空垃圾。提升衛星可靠度，減少太空垃圾，將是未來的挑戰。

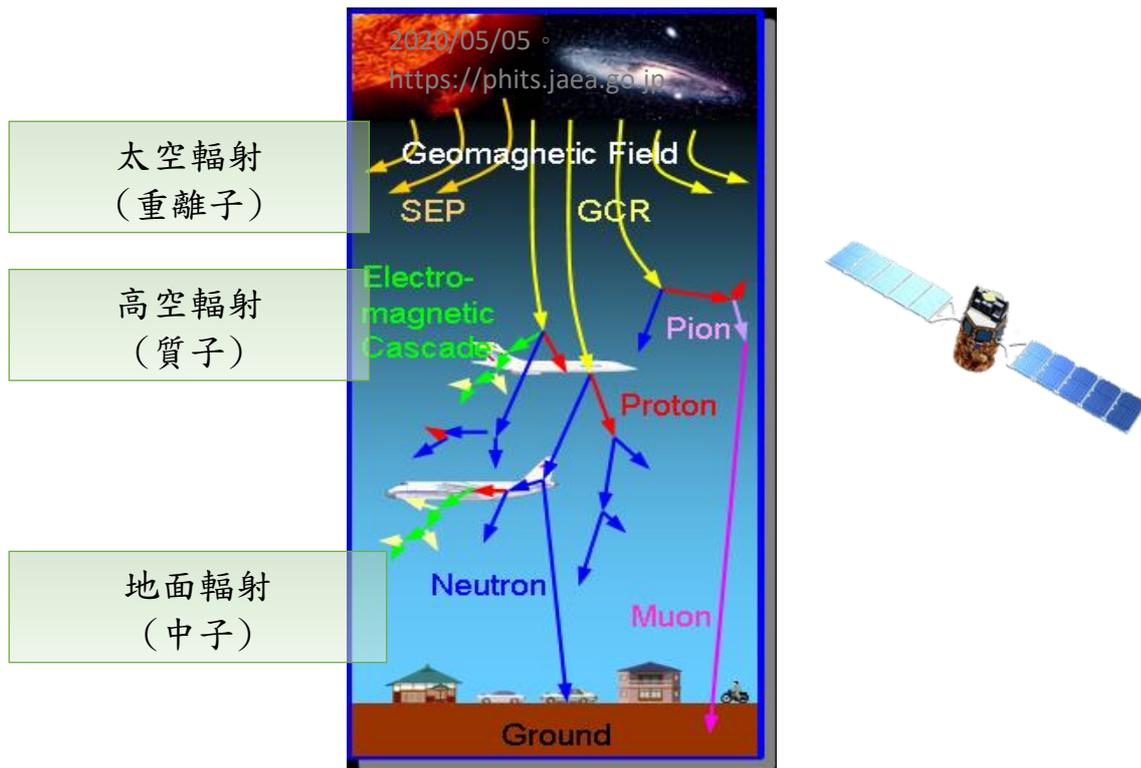


圖 8、宇宙射線輻射分佈

目前衛星應用主流方向是低軌道衛星區域，如國內福爾摩沙衛星八號計畫，其設計軌道高度為 561 公里[49]，宇宙射線威脅近九成是高能質子。研究團隊根據軌道高度與任務壽命，計算衛星在執行任務期間受到輻射照射累積劑量與高能粒子撞擊機率，再利用實驗室質子束做短時間高密度撞擊，模擬太空環境執行輻射照射，測試商規零件是否滿足航太應用。

太空輻射對電子元件主要產生兩種效應，第一種稱為單事件效應 (Single Event Effects, SEE)，是高能質子的單一撞擊事件造成電子元件異常或損壞；另一種則是總劑量效應 (Total Dose Effect, TDE)，即高能質子對電子零件產生很小游離效應，造成微量影響，累積起來超過一定劑量時，亦會造成電子零件的異常、性能降低或損壞，因而減短電子元件使用壽命。

國內衛星元件高能質子輻射測試方面，並無專責實驗室，現行方案是由各研發單位，如太空中中心、中科院等，自行借用質子束照射場域，測試篩選所需元件，但受限於國內現有質子束照射設施多為醫療用途，使輻射測試能量無法擴大。而元件製造商方面，雖有心投入太空產業，惟因台灣相關實驗室稀少，導致元件驗證流程冗長，成本高昂，且對相關驗證規範、測試方法不了解，也無專責實驗室可詢問，使各家製造商，難以參與太空元件供應鏈。

因此，本計畫規劃質子照射實驗室建置，可因應太空元件高能質子輻射測試需求，提升我國太空電子元件輻射驗證能量，提供國內廠商驗證需求，完善國內太空科技研究與產業發展所需基礎設施，支援國內太空產業發展。

(五) 高端材料產品之中子研發與工業升級應用機會日漸流失

中子科技發展可謂是國際科技領域的重要指標之一，世界上實力強大的國家均有大型的中子源建設，供尖端材料研究並促進工業升級發展，例如美國、日本、英國、歐盟、韓國…等。

中子不同 X-射線，特別適用於低原子序元素、磁場分佈及材料內部應力與結構的研究。新的檢測技術開發，通常能促進新的材料及科技發展，開啟新的商機，目前世界各大工業國均積極投入資源進行研究。國外研究機構已有運用中子特性，進行燃料電池組件開發、鋰電池充放電時的電池芯評估、超導體材料特性研究、電動機磁場分佈、厚件管路及汽車組件的應力量測…等。我國應積極建置大型的中子源，善加利用中子此一特殊的有利工具，促進我國在新能源、儲能、儲氫、電動汽車…等新興領域的科技發展與工業發展。

(六) 國內中子與質子領域專業核能人才缺乏，喪失競爭力

國內目前只剩下一個中子源，清大 THOR 研究型反應爐中子源，於民國 50 年臨界啟用至今已一甲子。科技部國家同步輻射中心有設立中子小組，並在澳洲投資興建一部冷中子三軸散射儀(SIKA)優先提供國內中子方面科研使用。但是國內中子源設施老化，與國外投資的中子研究設施，遠水救不了近火，以致於我國中子專業人才不易培養及成長。

核研所為國內原子能科技發展專業機構，擁有許多輻射研究專業人才，過去二十多年，協助核能電廠設備維護更換備品需求，累積了相當多的核能設備輻射驗證專業與經驗。隨著國內能源發展環境變遷，有必要維持國內輻射設備驗證專業人才，並帶領年輕科技人員，朝向核醫藥物、太空輻射驗證與中子檢測技術等相關領域發展，避免國內原子能科技專業人才流失殆盡。

四、社會參與及政策溝通情形

(一) 專業及民間交流

核研所 30 MeV 迴旋加速器於民國 82 年開始運轉，主要用於核醫藥物的研發與生產。核研所運用此迴旋加速器已建立 PICS/GMP 核醫製藥中心，擁有完整的核醫藥物研發能量，並與國內各大醫院配合，支援供應國內心臟、腫瘤、甲狀腺、神經/精神、腦血流造影等核醫藥物，近二十餘年供應國內民眾達 125 萬人次。

在(109)年因全球爆發 COVID-19 疫情，國際航線受阻導致國外供藥短缺，以致短半衰期核醫藥物供應斷鏈，核研所臨危受命緊急投入生產與供應國內醫療急迫所需之「氯化亞鉈(鉈-201)注射劑」與「檸檬酸鎳(鎳-67)注射劑」，造福 25,700 名病患 (109.04.20 ~ 109.11.30)，在國家防疫能量與供應戰備資源上作出貢獻。但該中型迴旋加速器迄今已運轉逾 28 年，設備零件老化導致運轉可靠度降低，為使核醫藥物供應更為穩定充裕，同時加速推進我國於原子能民生應用之研究發展任務，應儘速興建新型迴旋加速器。

許多新型核醫藥物國內醫界需求增加，例如應用於腫瘤治療與診斷、減輕骨痛和骨轉移治療與心臟造影的新核種如鈾-225、銅-67、錫-117m 與銦-82(Sr-82)等。然而這些核種研製之質子束能量需大於 30 MeV，目前國內無法提供，只能依賴國外進口，本計畫擬建置的 70 MeV 迴旋加速器以補上此一能量缺口。

另在配合行政院「積極推動我國太空科技發展」政策上，因台灣人造衛星的太空元件耐輻射驗證與篩選，過去都需要送到國外專業機構進行測試，耗時費錢又影響研發步調與進度。核研所目前與太空中心長期合作，利用核研所的 30 MeV 中型迴旋加速器質子束作為太空

輻射測試源，已有多次協助電子元件耐輻射測試之實績，依核研所紀錄資料，僅 109 年即協助測試達 19 次。太空中心亦於 108 年分別與林口長庚醫院及核研所簽訂合作協議，進行電子元件輻射效應測試[50, 51]。為配合政府推動國內太空產業，109 年 7 月 21 日太空中心舉行太空輻射環境驗證聯盟會議共同簽署合作備忘錄[52]，成員包含核研所、長庚醫院、長庚大學、清大原科中心、中研院物理所、宜特公司等，以大幅節省太空元件的開發時間和成本。

我國現階段發射的衛星皆屬於低軌道衛星，太空輻射環境主要包含質子、電子與重離子，以低地球軌道而言，係以質子為主，大約占 95%。依照 AIAA S111A 國際規範要求至少採用兩階段不同質子能量照射測試，但經評估國內目前短缺能量範圍在 30-70 MeV 的質子源。本計畫擬建置的 70 MeV 迴旋加速器可以提供能量範圍 30-70 MeV 的質子，涵蓋了太空輻射環境驗證的缺口，可以讓我國太空計畫更臻周全完善。

在健全國內尖端基礎科研設施方面，鑑於中子分析設施為重要基礎科研設施，國家科學委員會(簡稱國科會，科技部前身)在 94 年與澳洲核子與科學技術組織(Australian Nuclear Science and Technology Organization, ANSTO)簽定中子束應用研究雙邊協議。在此協議下，台灣在澳洲 OPAL 研究用核反應爐興建一座冷中子三軸散射儀(SIKA)，已於 104 年開始服務台灣與其他國家的用戶。另在 102 年奉國科會交辦之指示，由國家同步輻射研究中心(NSRRC)成立中子小組承接後續之 SIKA 的運轉及維護工作，統一協助國內各領域研究團隊前往澳洲及世界其他中子設施執行中子實驗。台灣中子科學學會(簡稱中子學會)則配合進行中子應用研究推廣及用戶培育業務。核研所鑑於中子對國家科研基礎研究的重要性，於民國 104 年加入中子學會成為團體會員，

積極參與中子學會運作及活動舉辦。在民國 108 年與中子學會共同承辦第三屆亞洲及大洋洲中子散射國際會議(AOCNS 2019)，為推廣國內中子科學與國際交流努力。

目前依據同步輻射研究中心(NSRRC)中子小組所提供之國內最新中子研究相關統計資料[43]，圖 9 為在 2015~2019 年間國內中子計畫申請及執行總件數統計，五年間申請核准總件數為 198 件，其中申請 ANSTO 件數為 141 件，比例占 71.2%。

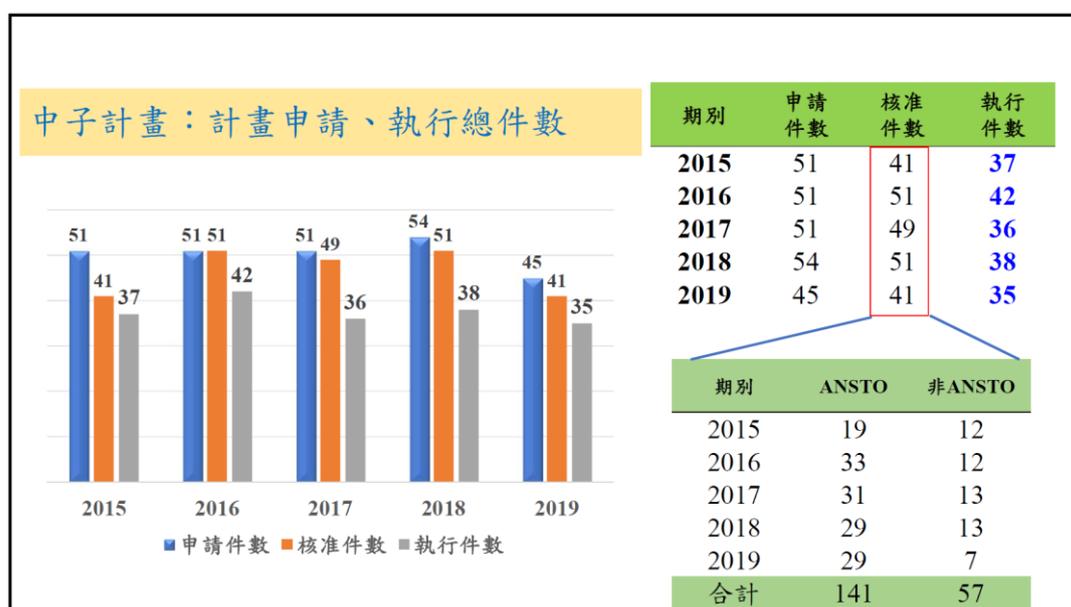
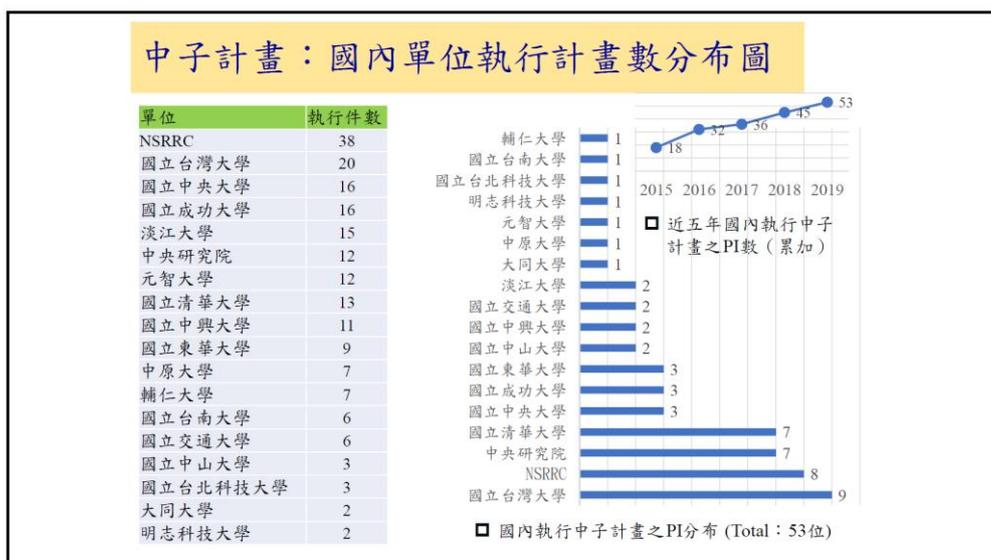


圖 9、2015-2019 年間國內中子計畫申請、執行總件數統計[43]

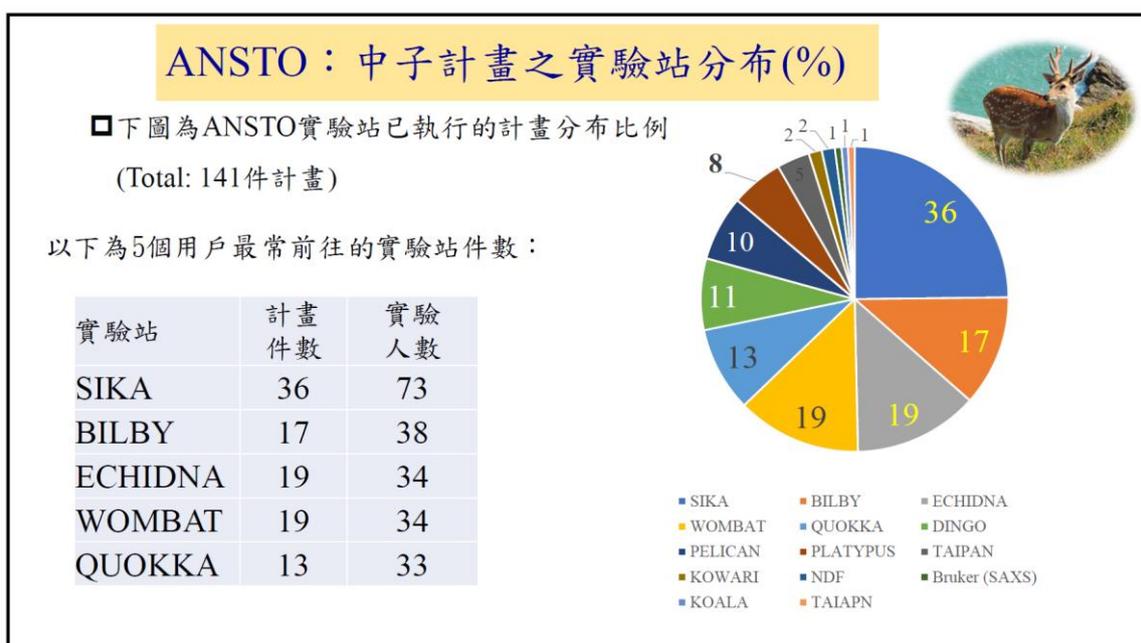
圖 10 則為這 5 年間國內單位執行中子計畫及主要研究員(Prime Investigator, PI)之分布圖，國內執行中子計畫單位之前 5 名分別是 NSRRC、國立台灣大學、國立中央大學、國立成功大學、淡江大學。

圖 11 中值得注意的是主要研究員(Prime Investigator, PI)之累加人數統計，近 4 年來新增的 PI 每年不達 10 位，顯示國內加入中子研究的新學者不多。



**圖 10、2015-2019 年間國內單位執行中子計畫
及主要研究員(PI)之分布圖[43]**

圖 11 為這 5 年間國內中子計畫使用 ANSTO 之實驗站分布統計，其中以我國興建的冷中子三軸散射儀(SIKA) 使用件數及人數為最高，顯見自有中子設施對吸引國內學者投入中子研究領域之效益。



**圖 11、2015-2019 年國內中子計畫使用 ANSTO
之實驗站分布統計[43]**

總體而言，國內中子研究風氣確有因在澳洲冷中子三軸散射儀(SIKA)運作有所提昇，但目前成長趨勢有變緩的跡象，基本原因還是國內沒有中子束實驗設施，學者對中子研究不易熟悉深入探討，另亦受限於國外中子源機構對學界申請利用其中子設施量測採不收費方式，因而非常熱門，故申請計畫眾多踴躍、競爭激烈，審查通過率在一半左右，均限制了國內中子科學及應用之後續發展。核研所在國內多個會議場合，均有學者表達期望國內亦能有一中子束研究設施。

(二) 公部門及跨部會協調

核研所於 109 年 4 月初提出增設第二台迴旋加速器的構想，展現原子能科技民生與跨域應用，並契合國家重要政策理念，獲得原能會的肯定支持。

另為配合行政院「積極推動我國太空科技發展」政策，促進我國太空活動及太空產業之發展，提高國民生活福祉，協助人類社會之永續和平發展，以及因應全球外太空商業化發展的趨勢，為未來台灣太空科技永續發展奠定良好基礎。核研所協助本土電子廠商技術升級，推動台灣由半導體產業大國邁向太空級輻射電子元件供應國，行政院已於 109 年 1 月核定第三期「太空科技長程發展計畫」，計畫起訖時程自 108 年至 117 年，共計 10 年。國研院太空中心 109 年 7 月與林口長庚醫院、長庚大學三方簽訂合作協議後，即可使用林口長庚醫院 200 MeV 高能質子設備進行單事件效應測試，太空中心成立「台灣太空輻射環境驗測聯盟」，核研所為其中成員之一，核研所 30 MeV 加速器主要是執行衛星元件的太空輻射劑量累積效應測試，國家太空中心人員到核研所進行照射測試已有數年，太空中心與與中研院研究人員於核研所進行測試。核研所於 109 年 7 月 21 日於太空中心共同簽署合作備忘錄，如圖 12 所示，向完備我國太空環境檢測能量邁進一大步。同年

11 月與核研所結盟，以核研所 30 MeV 迴旋加速器進行電子元件輻射劑量累積效應測試。如此可建立更完整的國內輻射測試環境，以支援太空計畫發展。該中心主任針對核研所研擬增設第二台 30~70 MeV 迴旋加速器建置計畫表達正向支持。



圖 12、國研院太空中心林俊良主任(右)與核研所陳長盈所長
共同簽屬合作備忘錄

此外，國家實驗研究院吳光鐘院長為瞭解核研所於太空科技之研發能量，於 109 年 7 月 24 日來所參訪太空太陽電池實驗室與迴旋加速器實驗室，對於核研所研擬質子照射設備之拓展表示期待。

109 年 9 月立法院第 10 屆第 2 會期開議後，陸續有吳思瑤、林奕華、黃國書、張廖萬堅等多位立法委員詢問核研所建置第二台迴旋加速器之事宜，經核研所說明相關規劃與效益後，獲得立法委員支持與肯定。109 年 11 月 9 日立法院審查原能會及所屬機關預算時，針對核研所建置第二台迴旋加速器議題，立法委員做出主決議，請核研所盡速進行第二台迴旋加速器之需求評估，並於經費到位後 4 年內建置完畢。

核研所於 109 年 12 月 21 日原能會 109 年第 8 次委員會議之「核研所核醫藥物研發與未來規劃」報告指出，核研所擁有臨床前 GLP 認證實驗室、迴旋加速器與 PIC/S GMP 核醫製藥中心等核心設施，以及具備從研發創意發想、臨床前實驗、臨床試驗到產品上市及推動技轉等各實戰經驗，已具備完整的上、中及下游的核醫產業鏈。其中，核研所針對未來規劃研擬增設第二台 30~70 MeV 迴旋加速器建置計畫進行說明，獲得與會部會(包括科技部、經濟部、衛福部、國發會)及出席委員之肯定與支持，核研所未來將可透過核醫專業設備及技術，可串連北中南等國家生醫機構，朝向建置龍潭核醫藥物研究園區的目標邁進。經濟部並於 110 年 1 月 15 日回函針對原能會 109 年第 8 次委員會議結論，與相關部會攜手合作部分提出建議，有關計畫所需科研經費部分可向行政院科技會報辦公室提出申請；工程建設經費部分則可向國家發展委員會提出申請。本計畫期望透過部會合作，共同推動我國中子與質子研究迴旋加速器之建置及相關研究，以及新核種研製與核醫藥物研究，完善藥物開發平台，加速放射醫療創新研究，具體提升我國原子能科技民生應用能力與國際競爭力。

參、計畫目標

一、目標說明

核研所 70 MeV 迴旋加速器建置計畫，四年預估總經費為新台幣 1,544,735 千元，區分先期計畫(概念設計)與本期計畫(設施/設備建置)二階段推動，超前規劃後續未來延續計畫，計畫關聯圖如

圖 13 所示。

先期作業(概念設計)：核研所已擬訂「建置我國中子與質子科學研究 70 MeV 迴旋加速器之概念設計」，於 110 年 1 月向行政院國家科學技術發展基金申請補助計畫據以辦理，執行期間預計自 110 年 5 月至 111 年 4 月，為期一年完成需求評估與概念設計工作。

本期計畫(設施/設備建置)：預計將俟經費預算到位與簽訂採購合約後(不包括所有管制單位之審查時程與核備作業時程)，以 4 年為期完成建置工作，相關作業包括：(一)建置迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室：3 年之原廠製作與運送加速器本體與射束線相關設施與設備以及 1 年之原廠進行現場安裝測試與專業人員訓練等；(二)完成質子照射驗證分析國家實驗室建置，包括質子照射模擬分析平台與質子束射線量化分析平台建置以及質子射束(含準直器)建置與運轉測試，達到質子束通量量化量測，可於 10^9 至 10^{13} $\text{p}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ 間調變；(三)完成中子應用研究國家實驗室，包括建立中子產率 $\geq 10^{15}$ n/s 之中子源、快中子照相設施建置之鋼材檢測厚度 ≥ 5 cm 與熱中子照相設施建置，符合 ASTM 標準；(四)土木工程建造與廠用系統設計及建廠試運轉作業，以及(五)輻射安全評估與系統可用度提升作業等。

計畫期別		先期計畫	本期計畫				未來延續計畫					
年分		110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室		前期規劃	採購	製作		安裝驗收	試運轉	正式營運				
		規劃設計					TI-201測試與生產	新核醫藥物研發				
質子照射驗證分析國家實驗室		規劃設計		採購	安裝驗收	質子照射平台	太空環境質子照射平台		高能質子科研平台			
中子應用研究國家實驗室	中子源	規劃設計	中子靶站設計	中子緩速器設計	採購製作	安裝測試	冷中子靶站與緩速器					
	快中子技術	規劃設計	中子屏蔽設計	採購製作		快中子照相	軟錯誤率	模擬環境快中子測試平台				
	熱中子技術	規劃設計	中子束設計	採購製作		熱中子繞射	熱中子斷層影像		熱中子散射			
	冷中子技術							冷中子照相	冷中子散射			
土木工程與機電工程		廠址評估	工程設計 專案管理規劃採購	工程發包 與施工	土建施工	機電消防						
輻射安全操作許可		輻安評估	通過輻安審查			通過 試運轉審查	取得 許可證					

圖 13、先期計畫、本期計畫與未來延續計畫關聯圖

(本期計畫預計將俟經費預算到位與簽訂採購合約後開始執行，為期 4 年)

二、績效指標、衡量標準及目標值

本計畫預計完成項目與目標包括：建置我國第一套 70 MeV 迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室，並通過輻射相關法規取得許可證，確保核醫藥物國內生產穩定性，並研發新核醫藥物；建置質子照射驗證分析國家實驗室與建置中子應用研究國家實驗室等。相關衡量標準及目標值，如表 2 所示。

表 2、績效指標、衡量標準及目標值

序	本計畫績效指標	衡量標準及目標值
1	符合輻射相關法規	1-1 完成輻射安全評估報告，並經主管機管審查通過。 1-2 完成試運轉計畫書，並經主管機管審查同意試運轉。
2	完成「迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室」建置	2-1 完成 70 MeV 迴旋加速器之安裝、測試。 2-2 完成 4 條射束線安裝與測試。 2-3 完成醫用放射性同位素研究靶室 1 間。
3	完成「質子照射驗證分析國家實驗室」建置	3-1 完成建置質子照射設施 1 間。 3-2 完成質子束通量量化量測，並可於 10^9 至 10^{13} $\text{p}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ 間調變。 3-3 完成建置質子束射程(能量)評估與劑量量測系統。
4	完成「中子應用研究國家實驗室」建置	4-1 建立中子源，中子產率 $\geq 10^{15}$ n/s。 4-2 完成快中子照相設施建置，鋼材檢測厚度 ≥ 5 cm。 4-3 完成熱中子照相設施建置，符合 ASTM 標準。 4-4 完成中子繞射設施建置，熱中子通率 $\geq 10^6$ n/cm ² ·s。
5	完成「土木建築與劑量評估」	5-1 完成館舍新建、輻射防護屏蔽、公用設施等之建置。 5-2 中心建築物周邊最近道路的輻射劑量率小於 1.0 $\mu\text{Sv/h}$ 。

肆、現行相關政策及方案之檢討

與本計畫相關之重要政策與方案，其與本計畫之關係及內涵如下：

- 一、癌症仍持續為國人死因第一位，亟待建立精準放射醫療技術，目前國內尚無治療性放射性同位素開發計畫或產品。
- 二、疫情騷擾、國際航線受阻，短半衰期核醫藥物之供應斷鏈威脅，目前國內尚無第二台迴旋加速器可作為備援。
- 三、行政院 109 年 2 月 10 日政策指示：「積極推動我國太空科技發展」為未來台灣太空科技永續發展奠定良好基礎，其中太空元件開發的耐輻射驗證，為我國太空科技自主及零組件開發的關鍵技術。國家太空中心因此推動「台灣太空輻射環境驗測聯盟」成立，力求完善國內驗測能量，但在輻射照射測試方面，我國目前僅有少數實驗室可提供輻射照射測試，且缺少 30 MeV 至 70 MeV 之驗證能量。為因應未來太空產業發展，籌建 70 MeV 迴旋加速器提供 30 MeV 至 70 MeV 應用服務，並建立專業質子照射之科學研究設施，可彌補國內所欠缺之高能質子輻射檢測缺口，完善國內太空科技研究與產業發展所需基礎設施。
- 四、我國尚無具有中子束服務之科學研究設施或基地。原先國內學術界需使用此服務者，均需申請澳洲 ANSTO 及世界其他中子設施執行中子實驗，費時又容易受國際不可抗力等因素影響，未來直接向核研所申請提供此服務，更即時有效且能提升國內學術競爭力與培養相關領域的人才。

伍、執行策略及方法

一、主要工作項目

依據未來環境預測、現有問題及對現行政策不足之檢討，核研所參考國際作法，擬定我國中子與質子科學研究 70 MeV 迴旋加速器建置計畫與執行策略，針對國際科研創新的趨勢、設置迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室、質子照射驗證分析國家實驗室與中子應用研究國家實驗室，並同步建立專業技術以及運用的能力、秉持以國家永續發展為中心思想與理念，以策略為指引，發展新一世代的創新科學研究環境，開創國家科技發展達到另一高峰。

本計畫人力係以編制員工、聘僱人員及替代役(截至 110 年 1 月 19 日止)為基礎，共計 88 人，男性共 58 人(占 66%)，女性共 30 人(占 34%)。此外，本計畫參與決策之一級與二級單位主管(含所長、副所長、組長與副組長等)共 20 人，男性人數為 15 人，女性人數為 5 人，男女性別比例為 3：1。本計畫政策研擬與決策規劃、服務提供者以及受益者等對象及於任一性別，無涉及性別偏見，努力逐年減少性別落差，隨時調整與確認男女性別比例達到至少 3：1 之標準。(性別影響評估，請參見第 113-120 頁)。

本計畫組織係以專業功能分工為基礎，以矩陣管理方式運作，計有(1)迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室。(2)質子照射驗證分析國家實驗室。(3)中子應用研究國家實驗室。(4)土木工程建造以及(5)系統工程(包括輻射安全評估、系統可用度提升)等，70 MeV 迴旋加速器建置計畫之工作關聯圖，如圖 14 所示，工作分組之主要工作內容規劃，分述如下。

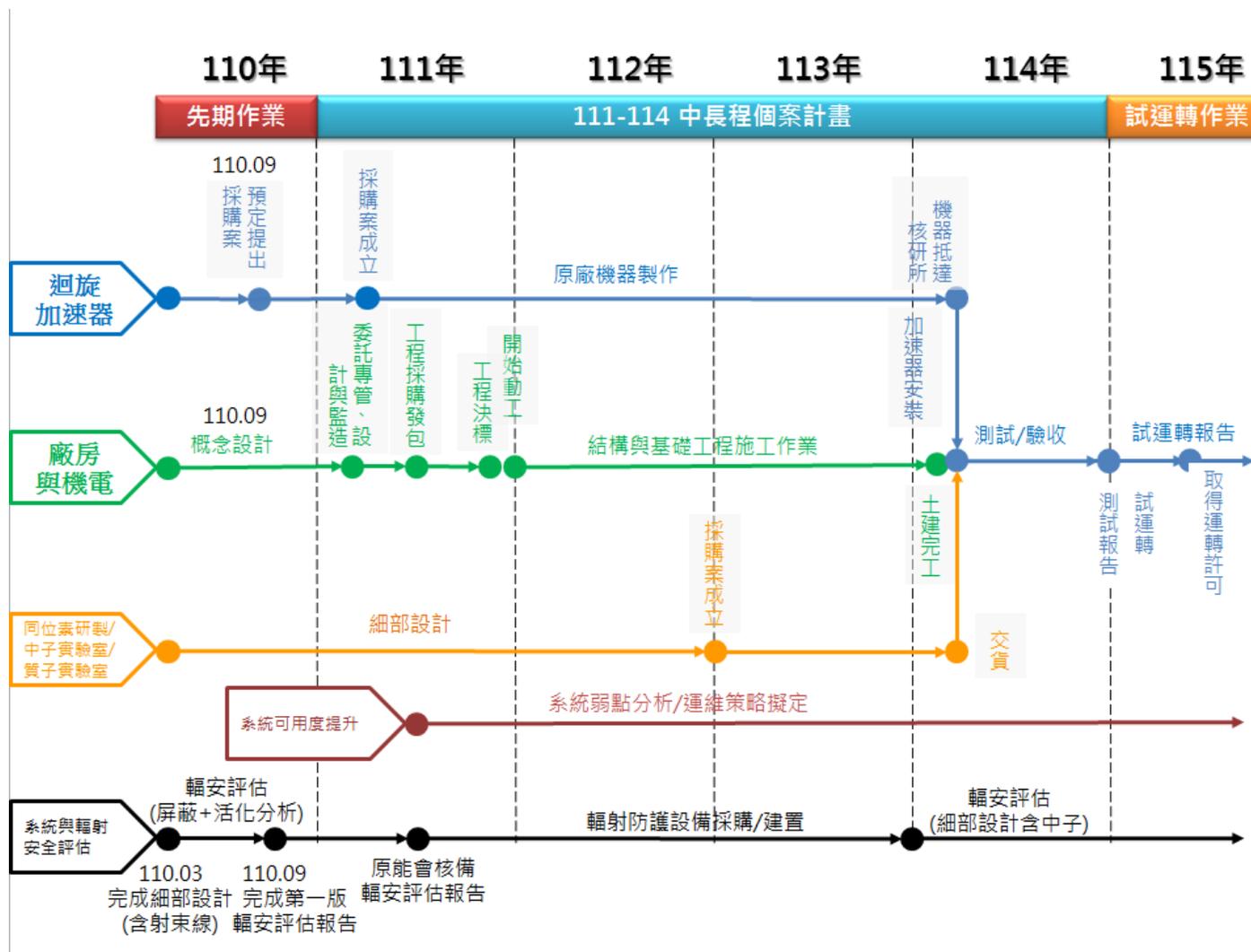


圖 14、70 MeV 迴旋加速器建置計畫之工作關聯圖

(將俟經費預算到位與簽訂採購合約後開始執行，為期 4 年)

1. 迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室

1.1 70 MeV 迴旋加速器本體與射束線

- 1.1.1 迴旋加速器廠家資料獲得與評選：收集國外 70 MeV 質子迴旋加速器製造廠家，並請其提供所生產加速器規格和報價資料。組成評選小組訂定廠家資格條件，評選合格廠家。
- 1.1.2 迴旋加速器規格訂定，廠商資料獲得及其商品評鑑：依據計畫需求訂定加速器基本規格需求，並參考比對廠家所提供加速器規格資料，由評選小組評鑑選出合格之加速器。
- 1.1.3 迴旋加速器採購案成立(規格審查、開標、訂約)：按經評選廠家和加速器規格建立購案，由核研所研支單位按政府採購法進行規格審查、開標、訂約作業。
- 1.1.4 迴旋加速器及靶系統運轉人員之駐廠訓練、現場安裝測試：選派未來加速器運轉人員赴原廠接受駐廠訓練，並於加速器現場安裝期間協助廠家安裝及測試事項，並同時接受加速器運轉訓練。

1.2 放射性同位素研製國家實驗室

- 1.2.1 固體靶規格訂定及廠家評選：依據計畫需求訂定固體靶基本規格需求，收集國外固體靶製造廠家，並請其提供所生產固體靶規格和報價資料。組成評選小組訂定廠家資格條件，評選合格廠家。
- 1.2.2 固體靶採購案成立(規格審查、開標、訂約)：按經評選廠家和固體靶規格建立購案，由核研所研支單位按政府採購法進行規格審查、開標、訂約作業。

1.2.3 固體靶運轉人員之駐廠訓練、現場安裝測試：選派未來固體靶運轉人員赴原廠接受駐廠訓練，並於固體靶現場安裝期間協助廠家安裝及測試事項，並同時接受固體靶運轉訓練。

2. 質子照射驗證分析國家實驗室

2.1 質子照射模擬分析平台建置：依據迴旋加速器規格，設計質子照射分析平台，研發質子照射模擬技術。

2.2 質子束射線量化分析平台建置：依據迴旋加速器規格與質子照射模擬資訊，參照歐洲太空元件委員會(ESCC) 25100 標準，完成質子束射線量化設備與分析平台架設。

2.3 其他附屬設施(輻射監測、控制等) 建置：依據迴旋加速器規格，建置相關輻射監測等設備，並配合質子射束、模擬技術與量化分析平台架設相關控制設備。

2.4 質子射束(含準直器) 建置與運轉測試：依據迴旋加速器規格，設計射束準直器等相關設施，使質子束能正常輸出。整合質子照射模擬分析平台、質子束射線量化分析平台與周邊附屬設施，執行質子射束運轉測試。

3. 中子應用研究國家實驗室

3.1 中子源靶站：中子源靶站及中子照射設施的規格訂定與採購、運轉人員之培訓、中子靶站及設施的場地整建及週邊系統建立，中子靶站及設施的安裝含輻防屏蔽作為，試運轉報告審核，遠端中控及輻防偵測系統建置，中子靶站及設施的驗收測試等。

3.2 中子影像分析平台：概念設計與模擬、工程設計與屏蔽設計、中子影像分析平台採購與建置測試與試運轉操作分析能力建立與中子影像分析平台操作分析能力建立。

3.3 中子繞射分析平台：概念設計與模擬、工程設計與屏蔽設計、中子繞射分析平台採購與建置測試與試運轉操作分析能力建立與中子繞射分析平台操作分析能力建立。

4. 土木工程建造

4.1 館舍土木工程評估及新建作業

4.1.1 新建館舍概念設計：依據使用需求，包含中子、質子、加速器以及辦公室等，進行概念設計與空間規劃。

4.1.2 管理、規劃設計與監造：委託專業工程專案管理公司協助整體工程執行之營建管理。為響應節能減碳之目標及實踐綠建築政策，以及基於館舍屬公共建築物，依法設置無障礙設施。本館舍之規劃設計與施工之監造將委託建築師/顧問公司，後續透過所委託顧問公司之設計文件，以完成土建工程之招標文件。

4.1.3 地基施工：依據招標文件完成發包評選廠商工作，即開始展開主體工程施工，依序進行工址地盤改良、地下室及基礎工程，並配合迴旋加速器安裝需設置的地下室空間、以及輻射屏蔽要求，施作足夠深度之地基。

4.1.4 上部結構施工(屏蔽牆、屏蔽屋頂)：完成地基施工後，逐步完成屏蔽牆與屏蔽屋頂，設計規格已達到巨積混凝土等級，施工過程將謹慎品管，使能達到預期功能。

4.1.5 建築裝修施工：完成主體工程後，將進行屏蔽門、進出口、停車場及門窗、粉刷等建築裝修工程。

4.2 廠用系統設計及建廠試運轉作業

- 4.2.1 廠用公用設施之設計及相關系統評估：依據招標文件完成發包評選廠商工作，執行公用設施之設計及相關系統評估，設計將視各空間性質分區配置。
- 4.2.2 電/水/氣/消防/通風過濾/避雷系統之配置規劃：與前述土木工程統一進行發包評選廠商工作，並配合前述土木工程施工程序執行本項目，其執行工項包括電氣設備、弱電設備、給排水設備、消防設備、空調設備、避雷針系統等，各系統將視各空間性質分區配置水、電、氣、消防、通風以及相關設備等。
- 4.2.3 運轉廢棄物之處理規劃及設計：參照核研所低放射性廢棄物處理廠之運轉經驗及廢液處理能力為基礎，建置本設施之放射性廢液儲運系統，以建立安全有效之廢料暫存方法及管理制度。
- 4.2.4 氣液排放自動活度監測系統規劃設計與驗證：完成氣液排放核種之線上即時監測系統設計、自動化活度分析設備配置、作業規劃與平行比對。

5. 系統工程

5.1 輻射安全評估

依據 70 MeV 質子迴旋加速器設施場所之設計與應用規劃，針對 70 MeV 質子迴旋加速器產生之射束進行輻射源項的計算，並依據輻射源項產生之位置與種類初步評估設施場所整體屏蔽（如牆面、天花板等結構物）之輻射防護效應，並以保守合理方式，進行關鍵位置之輻射劑量率計算，以符合國內相關輻射防護法規之要求，維持環境及工作人員之輻射安全。

- 5.1.1 輻射屏蔽分析：70 MeV 質子迴旋加速器運轉時，會產生諸多高能輻射粒子及其二次粒子。這些高能輻射粒子會對周遭環境以及設施內的工作人員造成輻射劑量，因此需要進行適當的屏蔽設計以降低設施場所整體對周圍環境的輻射影響，並維護工作人員的輻射安全。
- 5.1.2 活化產物評估：迴旋加速器照射時，加速器室受質子撞擊的元件會被活化並產生二次中子，這些二次中子放射出來後會活化周圍的物件，藉由活化分析評估各材料受活化程度，以作為工作人員劑量計算之依據。
- 5.1.3 人員劑量評估及輻防措施規劃：加速器照射時主要會產生中子和加馬輻射；照射停止時，仍會有受中子活化產生之殘餘加馬輻射存在而造成人員劑量。依據各項工作人員作業特性評估所接受之劑量，並配合輻射防護措施以維持工作人員之輻射安全。
- 5.1.4 所界環境輻射劑量評估：根據迴旋加速器所在館舍位置、照射室屏蔽牆外之輻射劑量率、以及放射性氣體排放情形，選擇適當之評估方法對核研所外各關鍵點進行所外民眾劑量評估，保障民眾之輻射安全。

5.2 系統可用度提升

系統可用度提升小組將運用量化風險評估(Probabilistic Risk Assessment, PRA)相關方法[53,54]，進行系統弱點分析，建構可用度提升策略，作為迴旋加速器維護排程管控之依據，並擬定適當之運維策略提供決策人員參考。PRA 方法可整合設備可靠度程序，如圖 15 所示，與其他數據分析技術，並透過量測性能指標，檢討

維護成效，達到可用度提升的目的。

5.2.1 迴旋加速器廠商運維策略研析：訪談目前國內迴旋加速器應用機構及代理廠商執行經驗，蒐集運轉維護數據和系統設計相關文件，以利研析迴旋加速器原廠設計各系統與設備之維護保養計畫。

5.2.2 迴旋加速器試運轉資料蒐集與系統弱點分析：解析迴旋加速器各系統組件及關聯性，並彙整迴旋加速器小組提供之試運轉數據，進行系統弱點分析。

5.2.3 迴旋加速器運維策略擬定：依據迴旋加速器廠商運維策略研析結果，以及迴旋加速器試運轉系統弱點分析，考量新建置迴旋加速器未來的應用規劃，與廠商共同調校並擬定初始的運維策略。

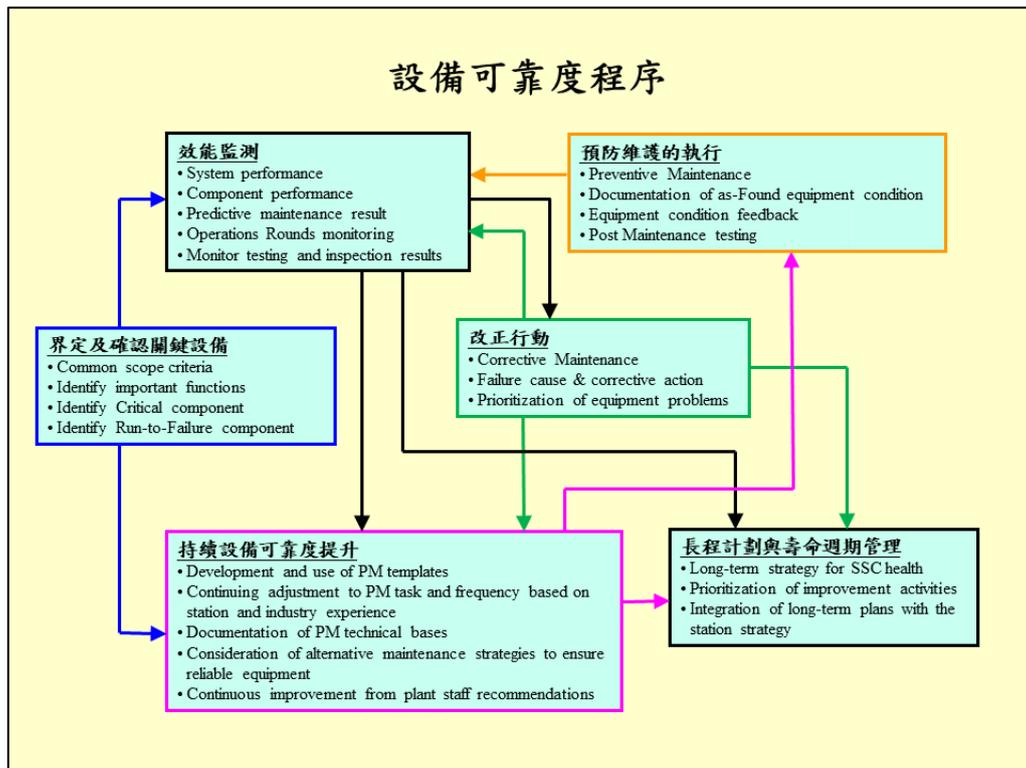


圖 15、設備可靠度程序

(備註：SSC: Structure, System, Component; PM: Preventive Maintenance)

二、分期(年)執行策略

本計畫主要工作分為(1)迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室。(2)質子照射驗證分析國家實驗室。(3)中子應用研究國家實驗室。(4)土木工程建造以及(5)系統工程等，其分年執行策略分述如後。

1. 迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室(表 3)

1.1 70 MeV 迴旋加速器本體與射束線

(110 年為概念設計期與 115 年為試運轉期)

110-111 年

- 迴旋加速器廠商資料獲得與評選。
- 迴旋加速器規格訂定。
- 迴旋加速器採購案成立(規格審查、開標、訂約)。
- 迴旋加速器廠商與核研所就廠房輻射屏蔽和機電設施細部規劃設計。
- 迴旋加速器原廠製造開始。

111-114 年

- 迴旋加速器原廠製造。
- 迴旋加速器運轉人員駐廠訓練。

114 年

- 迴旋加速器原廠製造完成。
- 迴旋加速器交運至核研所。
- 迴旋加速器現場安裝測試。

(備註：預計 115 年 6 月完成驗收)。

- 迴旋加速器運轉人員現場訓練。

1.2 放射性同位素研製國家實驗室

針對國內需求甚盛之鈹-201 核醫藥物建立生產設施，其它具有潛力之醫用放射性同位素研製設施將於下期計畫建立。鈹-201 醫用同位素生產設施固體靶系統分年工作如下：(115 年為試運轉期)

111 年

- 固體靶系統廠商資料獲得與評選。
- 固體靶系統規格訂定。
- 固體靶系統採購案成立(規格審查、開標、訂約)。

111-114 年

- 固體靶系統原廠製造。
- 固體靶運轉人員駐廠訓練。
- 同位素生產鉛室設施建立。

114 年

- 固體靶系統原廠製造完成交運至核研所。
- 固體靶系統現場安裝測試。(配合加速器時程)
- 固體靶運轉人員現場訓練。

(備註：預計 115 年 6 月完成驗收)。

表 3、建置迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室之分年策略

迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室	工作項目	起	訖	111		112		113		114	
70 MeV 迴旋加速器本體 與射束線	迴旋加速器廠商資料獲得與評選	110/01	110/12								
	迴旋加速器規格訂定	110/07	110/12								
	迴旋加速器採購案成立(規格審查、開標)	111/01	111/03	■							
	規格規定與採購訂約	111/04	111/06	■							
	迴旋加速器原廠製造	111/07	114/06		■	■	■	■	■	■	■
	迴旋加速器交運本所現場安裝，測試及驗收	114/07	115/06								→
	加速器操作與應用，赴國外研究機構受訓	111/07	113/06		■	■	■	■			
	迴旋加速器原廠運轉人員駐廠訓練	113/07	114/06					■	■	■	
	技術人員之獲得與培訓	112/01	114/12			■	■	■	■	■	■
放射性同位素研製國家實驗室	固體靶之採購簽約與廠家製造	111/04	114/06		■	■	■	■	■	■	
	固體靶交運本所現場安裝，測試及驗收	114/07	115/06								→
	同位素生產鉛室設施建立	114/07	114/12								■

2. 質子照射驗證分析國家實驗室 (表 4)

建置太空專用質子照射驗證分析設施，包含實驗室相關品保文件、測試程序、設備、人員等，分年主要工作項目如下：

111 年

- 建置質子照射模擬分析平台設備與質子束射線量化分析平台設備，並開始發展質子照射模擬技術。
- 建置射束穩定性即時監測及射束定位系統(軸向定位、水平向定位、雷射定位)。

112 年

- 發展質子照射模擬技術與質子束射線量化技術，並於核研所 30 MeV 迴旋加速器進行質子照射模擬技術測試驗證，其照射平面之劑量均勻度應符合歐洲航太元件協調委員會(European Space Components Coordination, ESCC)標準規範 25100。並依測試驗證進度建置相關附屬設施設備。
- 建置質子束射程(能量)評估與量測系統。

113 年

- 完成質子束射線量化技術，並於核研所 30 MeV 迴旋加速器進行測試驗證，依不同入射角度，計算其照射劑量，建立測試方法與程序，與輻射相關國際法規鏈結。
- 質子束劑量與劑量分布評估與量測系統建置。
- 依據 70 MeV 迴旋加速器規格，建置相關質子射束與準直器設備。

114 年

- 整合質子照射模擬分析平台、質子束射線量化分析平台與周邊附屬設施，執行質子射束運轉測試，確認各功能平台均可互相配合正常運轉，可遠端回饋相關測試數據，建立實驗室相關品保文件、測試程序等。
- 質子束參考點劑量、劑量分布、射程(能量)驗證，與射束標準化。

(備註：搭配迴旋加速器安裝，預計 115 年完成驗收)。

表 4、建置質子照射驗證分析國家實驗室之分年策略

質子照射驗證分析國家實驗室	工作項目	起	訖	111		112		113		114	
質子照射實驗室建置	質子照射模擬分析平台建置	111/01	112/12	■		■					
	質子束射線量化分析平台建置	111/07	113/06		■		■				
	其他附屬設施(輻射監測、控制等)建置	112/01	114/12			■		■			
	質子射束(含準直器)建置與運轉測試	113/01	114/12				■		■		

3. 中子應用研究國家實驗室 (表 5)

建置中子源靶站及中子束分析設施如中子軟錯誤率測試平台、中子影像分析平台、中子繞射分析平台等，包含場地規劃，概念設計及模擬、細部及工程設計、輻防規劃評估報告審核、設施的採購及測試、人員培訓等，分年主要工作項目如下：

111 年

- 中子源靶站及各中子照射分析平台的場地規劃、空間安排。
- 中子源靶站及各中子照射分析平台的概念設計與模擬。
- 中子源靶站及各中子照射分析平台的輻防評估報告撰寫及送審。

112 年

- 中子源靶站及各中子照射分析平台的細部及工程設計。
- 中子源靶站及各中子照射分析平台的輻防評估報告審核。
- 中子源靶站及各中子照射分析平台的購案規格訂定與廠商洽詢及評鑑。

113 年

- 中子源靶站及各中子照射分析平台的購案辦理。
- 中子源靶站及各中子照射分析平台的運轉人員培訓。
- 中子源靶站及設施的場地整建及週邊支援系統建立。

114 年

- 中子源靶站及各中子照射分析平台的安裝含輻防屏蔽作為。
- 中子源靶站及各中子照射分析平台的試運轉報告撰寫及送審。
- 中子源靶站及各中子照射分析平台的遠端中控及輻防偵測系統建置。

(備註：搭配迴旋加速器安裝，預計 115 年完成驗收)。

表 5、建置中子應用研究國家實驗室之分年策略

中子應用研究 國家實驗室	工作項目	起	訖	111		112		113		114	
靶站及準直器	需求討論與概念設計	110/01	111/04	■							
	赴國外研究機構學習靶站及準直器設計	111/04	112/04	■	■						
	細部工程設計	111/09	112/12		■	■					
	採購案申請、開標及合約訂立	112/04	113/06			■	■				
	靶站及準直器建置	113/06	114/06						■	■	
	運轉測試	114/04	114/12								■
中子應用儀器	概念設計與供應商調查	110/01	111/04	■							
	赴國外研究機構學習繞射及影像分析	111/04	112/04	■	■						
	儀器規格確定	112/04	112/10			■					
	採購案申請、開標及合約訂立	112/10	113/04				■				
	儀器製作與安裝	113/04	114/04					■	■		
	運轉測試	114/04	114/12								■

4. 土木工程建造 (表 6)

111 年

- 進行建造流程細部規劃，委託工程專案管理公司簽約。
- 依據迴旋加速器主體與各試驗室空間配置需求初步設計，委託建築師/顧問公司進行簽約、細部設計、地質調查與完成規劃設計工作。
- 依工程設計規劃，進行工程招標文件準備與完成工程採購發包工作。
- 開工前相關執照取得。

112 年

- 依據地質調查與土壤承载力評估結果，進行建築基地之地盤改良。
- 建築地基開挖、基礎工程與屏蔽地基施作。
- 迴旋加速器地下室空間整建完工。
- 上部結構工程開始施工。

113 年

- 迴旋加速器之支撐基座施工。
- 巨積混凝土工法施作，輻射屏蔽牆、屏蔽樓板與屏蔽屋頂施工。
- 辦公室、公共空間與無障礙設施完成。

114 年

- 屏蔽門、建物出入口與其周邊設施及停車場施工。
- 其他建築室內裝修工程施工，並取得相關使用執照與標章。

(備註：搭配迴旋加速器安裝，預計 115 年完成驗收)。

4.1 廠用系統設計及建廠試運轉作業

111 年

- 委託建築師/顧問公司簽約、設計工作完成、招標文件完成。
- 開工前相關執照通過。

112 年

- 公共設施興建。
- 電氣設備、弱電設備、空調設備、避雷針系統等興建。

113 年

- 公共設施興建。
- 給排水設備、消防設備等興建。
- 完成液體廢料儲運系統設計及建置。
- 完成氣液排放核種之線上即時監測系統設計與作業規劃。

114 年

- 完成設備與系統測試與運轉。
- 完成液體廢料儲運系統試運轉。
- 完成氣液排放自動活度監測線上自動化分析設備建置。
- 完成氣液排放自動活度監測試運轉調校與初步測試。
- 完成廠用系統設計及建廠試運轉作業與驗收。

(備註：搭配迴旋加速器安裝，預計 115 年完成驗收)。

表 6、土木工程建造之分年策略

土木工程建造	工作項目	起	訖	111		112		113		114	
土木工程評估及新建作業	規劃、設計與地質調查	111/01	111/12	████████							
	地盤改良工程	112/01	112/04			██					
	下部結構(基礎)工程	112/04	112/10			██████					
	上部結構工程	112/11	113/11					████████			
	建築裝修工程	113/12	114/06							██████	
廠用系統設計及 建廠試運轉作業	通風、空調	113/06	114/06						████████		
	電器、儀控、機械設備	113/12	114/06							██████	
	水、氣、輻防、消防	113/01	114/06					████████			
	廢棄物管理及周邊系統	114/01	114/06							██████	
	公共設施	112/06	114/06					████████			
	測試、調整及試運轉	114/01	114/12							██████	

5. 系統工程 (表 7)

5.1 輻射安全評估

主要目標為完成 70 MeV 迴旋加速器整體輻射安全評估，確保符合國內相關輻射防護法規之要求，維持環境及工作人員之輻射安全，分年主要工作項目如下：

111 年

- 以預設的 70 MeV 迴旋加速器及其相關的射束靶站配置與劑量要求，進行加速器屏蔽分析，作為屏蔽建置厚度之基礎。

112 年

- 進行迴旋加速器屏蔽與核醫製藥靶站之屏蔽驗證與分析。
- 針對受中子活化組件，建立固體活化分析評估方法以及案例驗證。

113 年

- 進行氣體及固體活化驗證與分析，以及分析結果後處理。
- 根據輻射屏蔽分析結果，配合作業類別及人力需求進行人員劑量評估。

114 年

- 依據本計畫迴旋加速器照射條件，進行人員劑量評估及環境劑量影響評估。

5.2 系統可用度提升

此次將 PRA 技術用於國家中子與質子科學應用研究 70 MeV 中型迴旋加速器建置之系統可用度提升，目的是強化系統弱點，提高維護有效性，將大部分人力與物力集中於重要關鍵系統與設

備，藉以降低維護成本，並研擬運維策略，提高迴旋加速器應用產能，分年工作項目如下。

111 年

- 訪談目前國內迴旋加速器應用機構及代理廠商執行經驗。
- 蒐集運轉維護數據和系統設計相關文件。

112 年

- 研析迴旋加速器原廠設計各系統與設備之維護保養計畫。
- 解析迴旋加速器各系統組件及關聯性。

113 年

- 依據迴旋加速器廠商運維策略研析結果，進行系統弱點分析。

114 年

- 彙整迴旋加速器系統運轉數據，進行系統弱點分析。
- 考量新建置迴旋加速器未來的應用規劃，與廠商共同調校，擬定初始的運維策略。

表 7、系統工程之分年策略

系統工程	工作項目	起	訖	111	112	113	114
輻射安全評估	輻射屏蔽分析	111/01	112/12	■			
	活化產物評估	112/01	113/12		■		
	人員劑量評估與輻防措施規劃	113/01	114/12			■	
	所界環境輻射劑量評估	113/01	114/12			■	
系統可用度提升	迴旋加速器廠商運維策略研析	114/01	114/12	■			
	迴旋加速器試運轉資料蒐集與系統弱點分析	114/01	114/12		■		
	迴旋加速器運維策略擬定	114/01	114/12			■	

三、執行步驟(方法)與分工

1. 迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室

迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室工作，分為 70 MeV 迴旋加速器和放射性同位素研製國家實驗室(照射靶站與鉛室)二部分，迴旋加速器包括加速器主體和射束線，放射性同位素研製國家實驗室(照射靶站與鉛室)應用於研製生產放射性同位素。迴旋加速器與照射靶站之界面為射束線終端，迴旋加速器與中子照射設施或質子照射設施之界面亦為射束線終端。

1.1 70 MeV 迴旋加速器本體與射束線

- 1.1.1 迴旋加速器廠商資料獲得與評選。
- 1.1.2 迴旋加速器規格訂定和購案成立。
- 1.1.3 迴旋加速器原廠製造。
- 1.1.4 迴旋加速器運轉人員駐廠訓練。
- 1.1.5 迴旋加速器交運至核研所。
- 1.1.6 迴旋加速器及射束線現場安裝測試。
- 1.1.7 迴旋加速器運轉人員現場訓練。
- 1.1.8 完成驗收。

1.2 放射性同位素照射靶站與鉛室

- 1.2.1 固體靶系統廠商資料獲得與評選。
- 1.2.2 固體靶系統規格訂定和購案成立。
- 1.2.3 固體靶系統原廠製造。
- 1.2.4 固體靶運轉人員駐廠訓練。

- 1.2.5 同位素生產鉛室設施建立。
- 1.2.6 固體靶系統交運至核研所。
- 1.2.7 固體靶系統現場安裝測試。
- 1.2.8 固體靶運轉人員現場訓練。
- 1.2.9 完成驗收。

2. 質子照射驗證分析國家實驗室

2.1 質子照射模擬分析平台建置

- 2.1.1 依據現有 30 MeV 迴旋加速器規格，發展質子照射模擬技術，並建置相關設備。
- 2.1.2 模擬質子束照射試驗，規劃元件照射試驗過程，並以現有 30 MeV 迴旋加速器環境施行驗證。
- 2.1.3 70 MeV 質子射束建置完成後，配合進行運轉測試。

2.2 質子束射線量化分析平台建置

- 2.2.1 在質子照射模擬分析基礎上，設計與建置相關設備，用以量測質子射束能量、強度與粒子分布狀態(通量或劑量等)。
- 2.2.2 70 MeV 質子射束建置完成後，配合進行運轉測試。

2.3 其他附屬設施(輻射監測、控制等)建置

- 2.3.1 配合質子照射模擬分析與質子束射線量化技術，完善質子照射設施周邊設備。
- 2.3.2 建置輻射監測設備，確保人員安全。
- 2.3.3 建置測試控制設備，提升測試準確度與時效性。
- 2.3.4 建置多維度智慧掃描平台，拓展應用層面等。

2.4 質子射束(含準直器) 建置與運轉測試

2.4.1 依據迴旋加速器規格，設計相關準直器等設施。

2.4.2 整合質子照射模擬分析與質子束射線量化技術，完善質子射束線。

2.4.3 連結周邊附屬設備平台施行運轉測試，使質子射束劑量可追溯國際標準，應用於質子射束測試技術服務。

3. 中子應用研究國家實驗室

3.1 中子源靶站技術

3.1.1 概念設計與模擬、工程設計與屏蔽設計(輻防報告)。

3.1.2 中子源靶站採購(規格訂立、審查、開標)。

3.1.3 中子源靶建置、測試與試運轉。

3.2 中子照射研究設施

3.2.1 中子影像分析技術平台

(1) 中子影像分析平台概念設計與模擬、工程設計與屏蔽設計。

(2) 中子影像分析平台採購(規格訂立、審查、開標)。

(3) 中子影像分析平台建置、測試與試運轉。

(4) 中子影像分析平台操作分析能力建立。

3.2.2 中子繞射分析技術平台

(1) 中子繞射分析平台概念設計與模擬、工程設計與屏蔽設計。

(2) 中子繞射分析平台採購(規格訂立、審查、開標)。

(3) 中子繞射分析平台建置、測試與試運轉。

(4) 中子繞射分析平台操作分析能力建立。

4. 土木工程建造

完成館舍之新建工程，包含地盤改良、下部結構(基礎)工程、上部結構(屏蔽結構)工程、建築裝修、通風空調、儀電、機械設備、消防與公共設施等，並為響應節能減碳之目標及實踐綠建築政策，以及基於館舍屬公共建築物，依法設置無障礙設施。依據規劃與需求委由工程專案管理公司協助整體工程之營建管理，並於後續委託專業顧問公司或建築師進行設計與監造。

4.1 館舍土木工程評估及新建施作

4.1.1 委託工程專案管理公司協助整體工程之營建管理

4.1.2 委託工程顧問公司或建築師進行建築之規劃設計與後續施工之監造工作。

4.1.3 工址地質調查、工址地盤改良與下部結構(基礎)施工

4.1.4 上部結構施工、屏蔽結構施作以及建築內部裝修。

4.1.5 建築物外部基礎公共設施施作。

4.2 廠用系統設計及建廠試運轉作業

4.2.1 廠用公用設施之設計及相關系統評估：視各空間性質分區配置，進行相關系統評估及公用設施之設計。

4.2.2 電/水/氣/消防/通風過濾/避雷系統之配置規劃：配合土木工程施工期程，執行電氣設備、弱電設備、給排水設備、消防設備、空調設備、避雷針系統等，各系統視各空間性質分區進行配置。

4.2.3 運轉廢棄物之處理規劃及設計：配合核研所低放射性廢棄物

處理廠之作業，規劃本設施內放射性廢料之管理、儲存、運送方法，提出液體放射性廢料儲存運送系統之基本設計，完成該系統之建置與試運轉。

4.2.4 氣液排放自動活度監測系統規劃設計與驗證：完成氣液排放核種之線上即時監測系統設計、自動化活度分析設備配置、作業規劃與平行比對。

5. 系統工程

5.1 輻射安全評估

5.1.1 輻射屏蔽分析：參考 NCRP 144 號報告[55]及 ORNL/RSIC-45 報告 [56]之評估模式來計算中子及加馬輻射所造成的輻射劑量率，初步計算 70 MeV 質子加速器設施所需屏蔽厚度後，以蒙地卡羅計算機程式進行驗證，確保工作人員與一般民眾所接受之輻射劑量符合法規規範。

5.1.2 活化產物評估：根據空間中的中子通量分布資訊，判斷並選取合適代表性中子通量資訊後，參考 NCRP 144 號報告[57]及使用相關計算機程式對可能活化之材料進行活化產物評估。

5.1.3 人員劑量評估及輻防措施規劃：依據各項作業之作業特性與曝露來源、作業位置輻射劑量率、停留時間進行計算，確保輻射作業人員所接受之劑量，可符合游離輻射防護安全標準之規範。

5.1.4 所界環境輻射劑量評估：根據迴旋加速器所在館舍位置、照射室屏蔽牆外之輻射劑量率，以及放射性氣體排放活度濃度和大氣擴散係數，結合決定論法及蒙地卡羅法相關計算機程式，對核研所外各關鍵點進行所外民眾劑量評估，保障民眾

之輻射安全。

5.2 系統可用度提升

系統可用度提升依工作屬性，區分為系統分析、數據分析、運維策略分析三個群組，進行迴旋加速器廠商運維策略研析、迴旋加速器試運轉資料蒐集與系統弱點分析、迴旋加速器運維策略擬定。各群組執掌如下：

5.2.1 系統分析群組：

- (1) 訪談目前國內迴旋加速器應用機構及代理廠商執行經驗
- (2) 蒐集國內迴旋加速器系統設計相關文件。
- (3) 解析迴旋加速器各系統組件及關聯性。
- (4) 進行系統弱點分析。

5.2.2 數據分析群組：

- (1) 訪談目前國內迴旋加速器應用機構及代理廠商執行經驗。
- (2) 國內目前迴旋加速器運轉數據之蒐集與分析。
- (3) 迴旋加速器運轉數據之蒐集與分析。

5.2.3 運維策略分析群組：

- (1) 蒐集目前國內迴旋加速器應用機構及代理廠商執行經驗。
- (2) 整合系統分析群組與數據分析群組分析結果。
- (3) 研析迴旋加速器原廠設計各系統與設備之維護保養計畫。
- (4) 考量新建置迴旋加速器未來應用，研擬定初始運維策略。

陸、期程與資源需求

一、計畫期程

本計畫期程由 111 年至 114 年，共計 4 年。

二、經費來源及計算基準

本計畫屬於科技發展計畫，應以行政院專案申請預算支應，執行工作(4 年)所需經費為 1,544,735 千元。其計算基準係依估算未來各建置所需經費進行編列，經費將視實際情形修正。

三、經費需求(含分年經費)及與中程歲出概算額度配合情形

本計畫四年預估總經費為新台幣 1,544,735 千元(經費編列詳見表 8)；

本計畫業列為原能會重要施政計畫，將依計畫經費需求及核定經費辦理預算編列，且原能會以攸關民眾權益計畫項目作為優先考量。

(一) 本計畫 111 年至 114 年預估總經費為新台幣 1,544,735 千元，其中資本門 1,423,135 千元(占 92.1%)，經常門 121,600 千元(占 7.9%)。(70 MeV 迴旋加速器本體與射束線之預估經費，請參見附錄一、儀器設備需求與送審彙總表(第 129~145 頁)。

(二) 預算分年經費需求，如表 8 所示：

1. 111 年度：共計 234,035 千元，其中資本門 212,635 千元(占 91%)，經常門 21,400 千元(占 9%)。

2. 112 年度：共計 467,260 千元，其中資本門 442,260 千元(占 95%)，經常門 25,000 千元(占 5%)。

3. 113 年度：共計 347,140 千元，其中資本門 322,840 千元(占 93%)，經常門 24,300 千元(占 7%)。

4. 114 年度：共計 496,300 千元，其中資本門 445,400 千元(占 90%)，經常門 50,900 千元(占 10%)。

表 8、各子項計畫之分年經費規劃表

年份	111		112		113		114		小計 (千元)
組別 項目	經常門	資本門	經常門	資本門	經常門	資本門	經常門	資本門	
(一) 迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室	3,000	179,000	4,000	179,000	4,500	0	32,500	275,600	677,600
(二) 質子照射驗證分析國家實驗室	3,600	10,100	7,000	15,000	5,800	16,300	4,400	6,800	69,000
(三) 中子應用研究國家實驗室	5,000	2,500	5,000	11,500	5,000	44,000	5,000	66,000	144,000
(四) 土木工程建造(土建與機電)	6,300	20,900	4,500	236,760	4,500	262,540	4,500	97,000	637,000
(五) 系統工程(輻防)	3,000	135	3,000	0	3,000	0	3,000	0	12,135
(五) 系統工程(PRA)	500	0	1,500	0	1,500	0	1,500	0	5,000
小計	21,400	212,635	25,000	442,260	24,300	322,840	50,900	445,400	1,544,735
經費百分比	9%	91%	5%	95%	7%	93%	10%	90%	
合計(經常門+資本門)	234,035		467,260		347,140		496,300		
總預算(111~114)	1,544,735								

柒、預期效果及影響

一、投入成本

本計畫由行政院專案預算支應經費：將計畫各項工作之建設、執行費用列為成本，四年所需成本共計 1,544,735 千元。

二、預期效果及影響

核研所 70 MeV 中型迴旋加速器建立，一方面可引進新穎迴旋加速器技術，充份研製與生產醫用(診斷與治療)重要放射性同位素與核醫藥物，提供國內醫院需求，以及可串連北中南等國家生醫機構，朝向建置龍潭核醫藥物研究園區的目標邁進。同時亦可利用此設施從事中子應用，推廣在半導體業、機械工業、原子能科技、航太工業、醫藥業、農業和國安工業等領域之應用與服務，建立專用的模擬太空輻射試驗之設施及標準度量技術，培育輻射驗證人才，彌補解決台灣太空元件輻射驗證設施能量不足的技術缺口，進而促成建立台灣太空產業供應鏈，促進關鍵元件自主化，完善國內太空科技研究與產業發展所需基礎設施。我國工業與經濟正邁向先進國家之現階段，自應及早掌握方向籌建設施，確立技術，急起直追，迎頭趕上先進國家，造福我們的社會大眾。

(一) 佈局精準放射醫療產業，進軍全球生技醫藥市場

精準醫療被已開發國家認定必須持續積極實施，在精準醫療眾多領域中，「個人化癌症治療」被業內視為未來最大的市場，根據 Persistence Market Research 的預測，全球精準醫學市場從 2016 到 2024 年，將持續維持 14.7% 的複合年均成長率 (compound annual growth rate, CAGR)，預測在 2024 年可達到 1,700 億美元的市場值。

其中，放射精準醫療亦是精準醫療當中重要的領域之一，市

場價值也不斷提升中。全球性核醫學放射性同位素市場於 2019 年估價為 103.528 億美元，預計到 2025 年將達到 201.43 億美元，並於 2019-2025 期間顯示複合年增長率(CAGR)為 11.7%。推動該市場研究的關鍵因素是：(1)癌症和心臟病日益漸增的發病率，(2)日漸擴張的核醫學、單光子斷層掃描(SPECT)與正子斷層造影(PET)的應用以及(3)病患對於醫療健保的意識逐漸抬頭...等。

依據 Mordor Intelligence 2019 年的研究報告” Global Nuclear Medicine Radioisotopes Market”資料顯示[58]，全球診斷用核醫藥物之放射性同位素於醫學應用領域之市場收入百分比，依序為心臟學(42.6%)、腫瘤(26.9%)、神經學等造影診斷，如圖 16 所示。

核醫學放射性同位素市場
(2019 全球收入百分比)

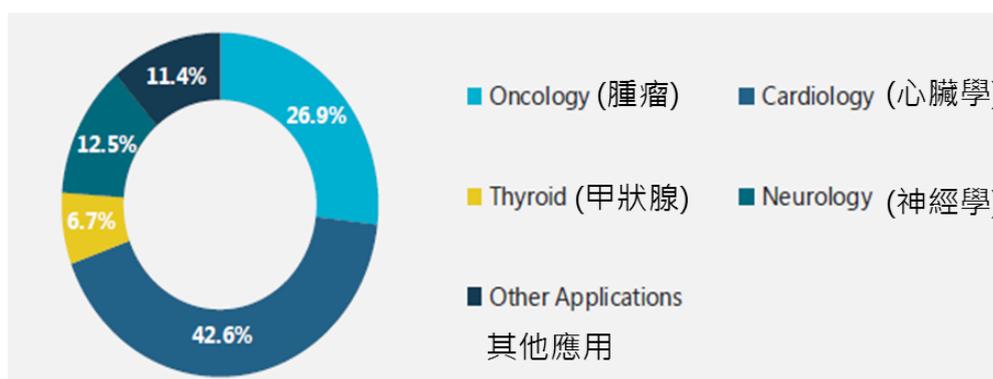


圖 16、核醫學放射性同位素市場 (依醫學應用領域分類)

另外，從放射性同位素類型來看，市場收入百分比依序為鎇-99m(Tc-99m)(76.3%)占多數，氟-18(F-18)(14%)、鐳-223(Ra-223)、鉈-201(Tl-201)(2.2%)、鉀-82(Rb-82)與碘-123(I-123)(0.3%)等等，如圖 17 所示。

核醫學放射性同位素市場
2019全球收入百分比

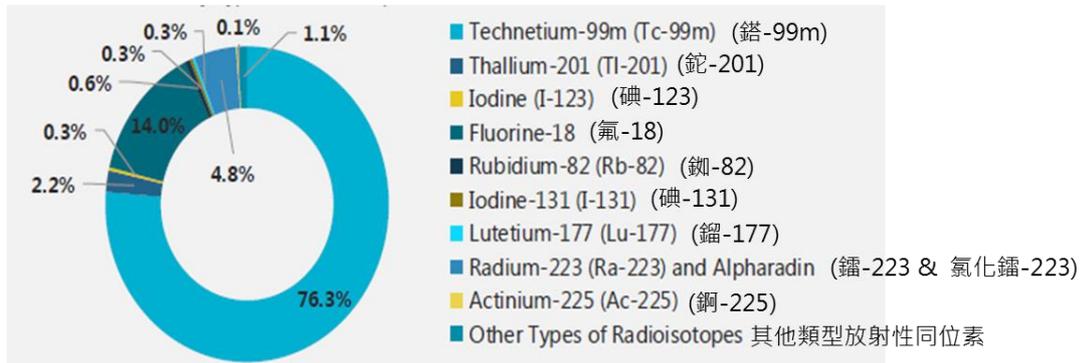


圖 17、核醫學放射性同位素市場 (依放射性同位素分類)

其中，鉍-201 是國內目前僅能由核研所之 30 MeV 中型迴旋加速器產製的放射性同位素，經由平面或單光子電腦斷層掃描儀 (SPECT) 擷取讀值，可應用在心肌灌注成像 (MPI) 來診斷和定位心肌梗塞、與運動壓力測試結合並輔助於缺血性心臟病 (動脈粥樣硬化性冠狀動脈疾病) 的診斷以及適用於血清鈣和甲狀旁腺激素水平偏高的患者，進行甲狀旁腺功能亢進部位的定位顯影。2017-2025 期間鉍-201 複合年增長率 (CAGR) 約 14.64 %，預估至 2025 年市場產值為 5.15 億美元，如圖 19 所示。

2017- 2025年 鈾-201 (Tl-201) 之全球營業收入(百萬美元)

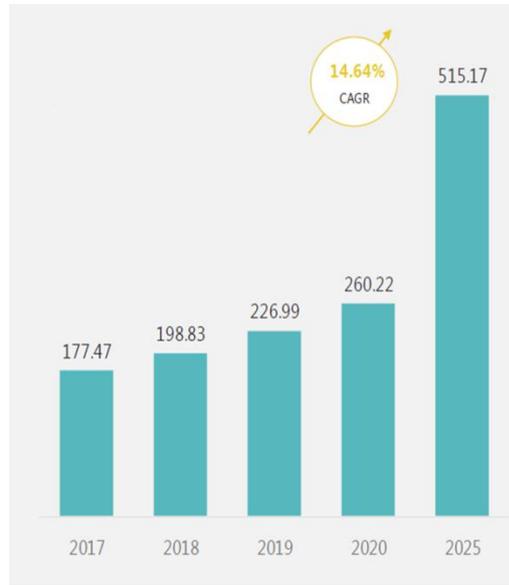


圖 18、2017-2025 全球營業收入：鈾-201

從全球市場收入百分比顯示，放射精準醫療之治療用放射性同位素具有商業化潛力。例如鈾-225。鈾-225 是一放射 α 的長半衰期 (半衰期 10 天)核種，由於過去 Th-229 發生器的供應量有限 [每年供應 1-2 居里(Ci)]，隨著需求預測的增長，因此促使開發以迴旋加速器替代之生產方法。2018 年的研究報告中指出已經用 Ac-225-DOTATOC 和 Ac-225-PSMA-617 治療了 38 例神經內分泌腫瘤患者和 200 例前列腺癌患者。在 α 粒子療法方面的相關經驗，逐步證明了在臨床意義上癌症緩解率和緩解深度。此外，Actinium Pharmaceuticals Inc.公司開發鈾-225 與抗體結合的放射性藥物，治療急性骨髓性白血病的藥物目前正在進行臨床二期階段。在臨床研究上，與 Astellas Pharma Inc 公司進行長期合作。其產品 Actimab-A 備受公司關注，預計在未來將獲准上市。鈾-225 是一個逐漸受到矚目的治療用核種，預估市場規模將大幅增長。2017-2025 期間鈾-225 複合年增長率(CAGR)約 14.48 %，預估至 2025 年市場產值為 0.346 億美元，如圖 19 所示。

2017- 2025年 鈾-225 (Ac-225) 之全球營業收入(百萬美元)

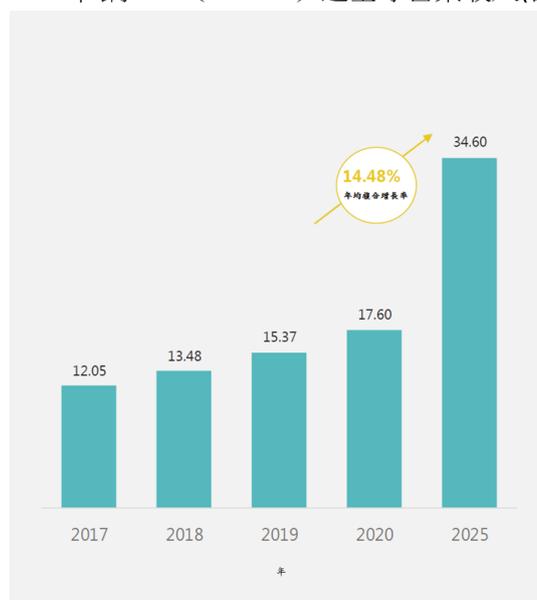


圖 19、2017-2025 全球營業收入：鈾-225

除鈾-225 外，銅-67、錫-117m 與銨-82(Sr-82)應用於腫瘤治療與診斷、減輕骨痛和骨轉移治療與心臟造影。銅-67 放射性同位素的物理性質，適合應用於放射免疫療法(Radioimmunotherapy, RIT)，因銅-67 放射性同位素(半衰期 61.83 小時)可發射 β^- 粒子，射程平均範圍 0.2 公分，非常合適於治療直徑 5 毫米的腫瘤，並同時具有 91~184 keV (千電子伏特)能量，適合於治療前診斷加馬成像。目前銅-67 標誌抗體應用於臨床研究，對於淋巴瘤，結腸癌和膀胱癌中癌症患者的治療效果，優於使用放射性碘標誌抗體，具有更高的腫瘤吸收率和最佳的腫瘤/血液比率。錫 117m 是一雙功能放射性同位素，兼具診斷與治療效用。錫-117m 放射性同位素可透過反應器內錫-116m 或錫 -117g 發生中子活化反應來產製。但是，缺點在於需要長照射時間(約 2~3 週)以及需增加額外的電磁質量分離的步驟，方可獲得到 100-1000 Ci/g 低比活度的放射性同位素(居里/克 Ci/g 等級)。所以，目前全球最常用的產製方式以

帶電粒子，如質子、氘核或是 α 粒子，來獲得高比活度的錫-117m 放射性同位素。主要有兩條途徑。第一條途徑，透過 $\text{Sb-nat}(p, x) \text{Sn-117m}$ 核反應產製錫-117 m，由俄羅斯科學院核能研究所開始發展，預期可獲得 1 kCi/g (千居里/克) 高比活度產物，第二條途徑，透過以 67.4 MeV 迴旋加速器發射 α 粒子束，轟擊 鎘-116 (Cd-116) 靶材，發生 $\text{Cd-nat}(\alpha, x) \text{Sn-117m}$ 核反應來產製，例如法國南特 ARRONAX 迴旋加速器。由於錫 117m (半衰期 14.0 天) 的化學和核子特性，釋出能量 159 keV 的 gamma 射線(約 86%)，是一種具有潛力，可應用於治療骨癌和其他疾病的放射性核種。錫-117m 氧化錫複合物 (Stannic complexes)，尤其是錫-117m(4+) DTPA 可有效減輕從轉移性癌症所造成骨骼的疼痛，且不會引起骨髓相關的不良反應。然而以目前的反應器所產生 420 Ci/g 比活度的錫-117m，是無法做為治療骨轉移的治療劑量，且對於放射免疫療法而言，活度極低。因此，可以透過質子照射，經由 $\text{Sb-nat}(p, 2p3n$ 或 $p, 2p5n)$ Sn-117m 核反應產製。現今已以高達 42 MeV 照射生產錫 -117m，但缺少高能量數據。

(二) 結合放射性核種與 CRISPR-Cas9 基因編輯技術，開創精準醫療研究新領域

加州大學伯克利分校 Jennifer A. Doudna 教授和法國微生物學專家 Emmanuelle Charpentier 博士榮獲(2020)年度諾貝爾化學獎殊榮，她們的發現是 CRISPR/Cas9 基因編輯系統，CRISPR/Cas9 基因編輯系統是一種簡單廉價的基因改造工具，CRISPR 利用 RNA 片段引導辨認可疑的 DNA 片段，並消除吻合序列的目標。可高精度地改變動物、植物和微生物的 DNA，透過編程基因密碼，可做為癌症與遺傳性疾病的新治療方法，展開醫學與生命科學研

究領域的新篇章。

這種 RNA 引導的成簇的規律間隔的短回文重複序列 (CRISPR/Cas)²² 基因組編輯技術步驟，分為四步驟：(1) STEP 1：sgRNA 由 CRISPR crRNA (crRNA) 與 trans-activating crRNA (tracrRNA) 兩片段組成。crRNA 序列：可辨識標的 (target) DNA。tracrRNA 序列：可與 Cas9 蛋白結合。(2) STEP 2：形成 sgRNA 與 Cas9 複合體。複合體具有 DNA 內核酶(DNA endonuclease)活性。(3) STEP 3：造成標的位置之雙股 DNA 斷裂 (double-stranded DNA cleavage)。(4) STEP 4：藉由非同源性末端接合(non-homologous end joining; NHEJ)方式，進行 DNA 修補。如圖 20 所示。

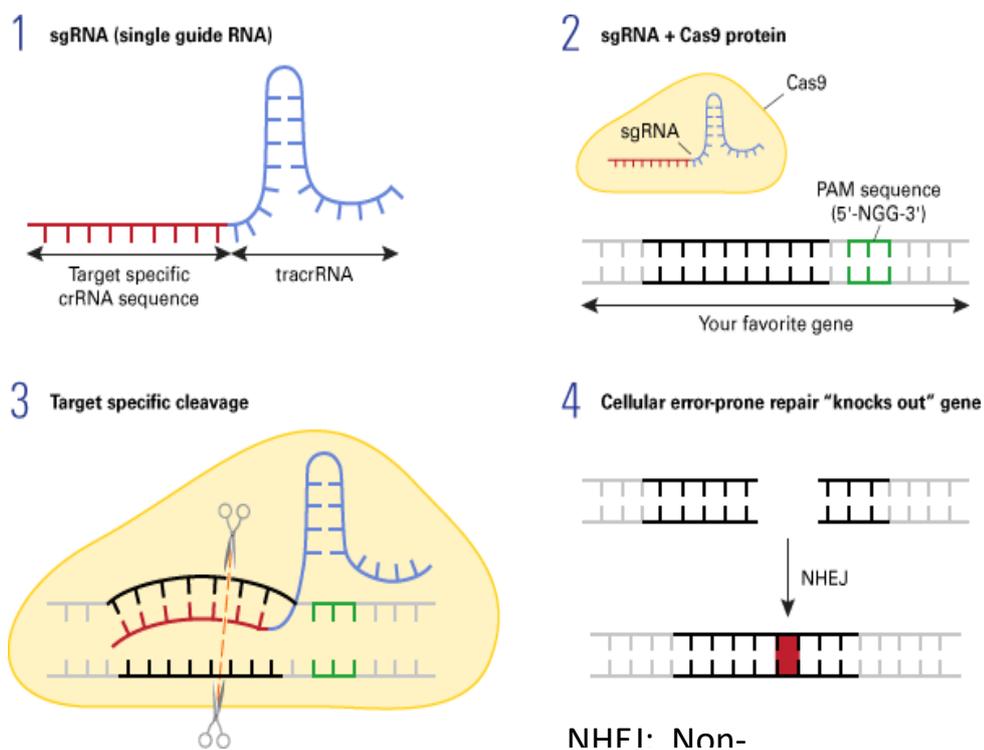


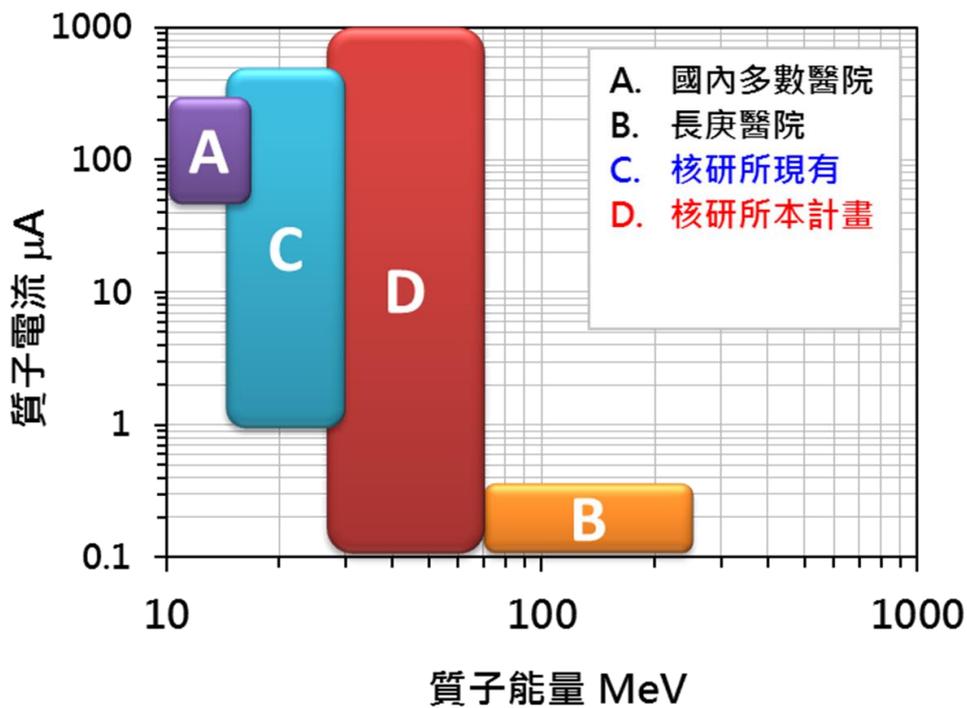
圖 20、CRISPR/Cas 基因組編輯技術步驟

但這項基因編輯技術的關鍵點，在於所設計的 sgRNA，必須可有效標靶在基因序列位置，降低脫靶情形(off-Targeting Effect)。所以，核研所可利用已具備的多種放射性同位素以及放射性標誌

技術，評估開發放射性核種標誌 CRISPR-Cas9 技術，期望可以精準追蹤基因編輯之效用。

(三) 持續穩定供應我國的重要的鈾-201 放射性同位素暨核醫藥物，並開發核醫新藥造福民生健康福祉

有別於國內醫學中心、區域醫院與生技公司之小型迴旋加速器十二座(9.6~18 MeV)以及高能質子迴旋加速器二座(70-230 MeV)(表 1)，不同的質子能量所可產生的放射性同位素以及應用層面不同(註：核醫藥物生產與質子能量具選擇性。電流越大、質子數量越多、核醫藥物生產越具經濟規)，本計畫所建置 70 MeV 迴旋加速器與國內現況之互補性，如圖 21 所示。



迴旋加速器 擁有單位	質子能量, 質子電流	說明
A. 多數醫院	< 20 MeV, < 300 μ A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 能量低，無法生產銨化物核醫藥物。
B. 長庚醫院	70~230 MeV, < 0.3 μ A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 電流低，難以用於核醫藥物生產規模。
C. 核研所 (現有)	15~30 MeV, < 500 μ A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 機齡已達 28 年。 ▪ 大電流，適合核醫藥物生產。 ▪ 可產製診斷用放射性同位素。
D. 核研所 (本計畫)	28~70 MeV, < 1,000 μ A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 大電流適合核醫藥物生產。 ▪ 可產製診斷用放射性同位素。 ▪ 可產製治療用放射性同位素。 ▪ 可完善國內迴旋加速器各式應用。

圖 21、70 MeV 迴旋加速器與國內其他迴旋加速器之互補性

特別是(109)年因全球爆發 COVID-19 疫情，國際航線受阻導致國外供藥短缺，以致短半衰期核醫藥物供應斷鏈，核醫藥物供應鏈充滿變數與不確定性，雖核研所緊急生產，貢獻於國家防疫能量與供應戰備資源，暫解燃眉之急，然而，COVID-19 疫情持續延燒，挑戰既有全球供應鏈的生產布局以及對我國診療醫療的重大衝擊，因此，我國自製短半衰期核醫藥物之研究發展與永續經營，需以戰略思考模式進行長遠布局。目前，核研所為我國唯一「氯化亞銨(銨-201)注射劑」及「檸檬酸銻(銻-67)注射劑」核醫藥物供應單位，平時供應量約占國內市場 2 成，核研所受命可擴大生產 2~4 成，供應量最高達到 6 成，若全年全功率生產可達 8 成。

故新建置計畫，將可穩定供應銨-201 放射性同位素以及製成核醫藥物，造福與嘉惠國人，善盡政府回應國人醫療需求之責任。此外，放射精準醫療的技術建立及新藥開發的技術價值鏈皆迫切需要 70 MeV 中型迴旋加速器之建置，以提供穩定及多樣的放射

性同位素核種，作為診斷及治療核醫新藥開發之所需，並能提供/提升國內新藥開發之技術價值與能量。

(四) 建立 70 MeV 質子照射設施，協助推動我國太空產業快速發展，搶占國際太空市場大餅

太空中輻射主要來自宇宙射線的高能粒子和太陽閃焰釋出的 X 射線與加馬射線等，而宇宙射線的高能粒子中，質子大約占 90%。這些高能粒子如果撞擊到衛星電子元件，除了會影響元件的正常運作，亦可能造成損壞，使衛星無法執行任務。因此，太空級電子元件包括電池組件必須經過嚴格的抗輻射測試，以確保產品不受到高能粒子影響而造成訊號錯誤或失效。雖然電子元件都有降低輻射影響的保護設計，但必須在地面時即通過類似太空環境的嚴苛測試驗證，進而在透過測試中了解零件在太空輻射環境下的特性，挑選出具抗輻射能力的電子元件或者是在使用過程中加入保護機制，提高任務成功的可靠度，才能保證衛星在太空中正確執行任務不出錯。

維持衛星系統運作的能源主要來自太空太陽電池，衛星系統之太空太陽電池在面臨太空環境宇宙帶電粒子衝擊影響下，亦可能會造成真能源系統失效，且太空技術具有軍事戰略意義，國外研究數據僅能參考借鑒。太空太陽電池輻射照射測試技術自主研發是重要根基。國際太空太陽電池主要驗證法規可依循 AIAA S111A 或 ECSS-E-ST-20-08C 方式施行檢測，太空環境對太陽電池影響主要有輻射、高/低溫環境衝擊、紫外線、機器震動、碎片撞擊等危害。我國現階段發射的衛星皆屬於低軌道衛星，其輻射環帶主要由質子(0.1~400 MeV)與高能電子(電子 0.1~7 MeV)組成，其中質子輻射占 90%。參照 AIAA S111A 規範要求至少採用兩階

段不同質子能量照射測試。ECSS-E-ST-20-08C 則可依需求自訂質子能量照射測試。核研所的中型迴旋加速器質子束亦可作為太空輻射測試源，核研所已與太空中心有長期合作，有協助電子元件抗輻射測試之實績。

同時依歐洲太空元件委員會(ESCC) 的標準作業程序文件，太空元件的單事件效應(Single Event Effects, SEE)的輻射測量，需以 20-200 MeV 能量的質子模擬宇宙射線。目前在國內核研所現有的 30 MeV 迴旋加速器可以提供 20-30 MeV 能量範圍的質子，長庚醫學可以提供 70-230 MeV，目前短缺能量範圍 30-70 MeV 的質子。本計畫擬建置的 70 MeV 迴旋加速器可以提供能量範圍 28-70 MeV 的質子，涵蓋了太空輻射環境驗證的缺口，提昇國內太空技術能量，增加太空元件國內自製率，可以讓我國太空計畫更臻完善，而配合國內的 IC 製造及機械加工等台灣優勢產業強項，建立自主的太空產業，進軍全球太空市場。

核研所已為「台灣太空輻射環境驗測聯盟」成員之一，核研所現有的 30 MeV 迴旋加速器加上本計畫擬建置的 70 MeV 迴旋加速器，可滿足我國廠商太空電子零組件／元件之輻射驗證與測試需求，將有助於我國廠商發展抗輻射電子產品，推動台灣由半導體產業大國邁向太空級輻射電子元件供應國，搶占國際市場。

近年來抗輻射電子產品市場快速成長，各種零組件/元件已經在太空、軍事、醫療以及核能的設備上，根據美國 Verified 公司市場研究報告顯示，抗輻射電子元件市場在 2019 年約有 10.5 億美元的營收，到了 2027 年預期可以達到 15.3 億美元的規模。

(五) 促進太空科技、電子與半導體產業發展，增加我國科研競爭力

1. 中子軟錯誤率測試國家實驗室

當完成建立中子軟錯誤率測試國家實驗室後，可做為測試與研發的平台，供我國生產製造之半導體元件快速測試服務，以便提升高科技設備內訊號傳輸的正確性與自我修復錯誤訊號的標準。可預期的是原本將送至國外實驗檢測的元件均可於國內就近分析，使業界能夠樂於使用核研所服務，並加速我國產業升級與競爭力。本計畫第二期建置的中子軟錯誤率測試實驗室(國內首座)，提供半導體業 IC 設計與製造進行驗證。另本計畫的中子源，未來可以延伸發展中子嬗變(transmutation)植入技術，用於半導體的精準摻雜，其均勻度遠優於現行的離子佈植技術。

2. 質子照射驗證分析國家實驗室

結合輻射專業技術，完成國內太空專用質子照射驗證分析設施，將可做為太空元件測試與研發的平台，拓展我國資通訊與半導體設計製造優勢應用於國防航太領域，逐步由國內百億元衛星產業，槓桿接軌國際兆元產值太空產業市場。

精進核研所游離輻射國家標準，建立質子照射能量 30 MeV 與 70 MeV 劑量標準與校正技術，有利於在太空產業國際化連結中，以追溯國際之標準化質子射束，提供產業之元件輻射效應分析、模擬驗證、劑量校正等多用途的輻射測試場域，發展我國太空輻射檢測標準技術。

拓展核研所零組件輻射驗證技術應用，建立太空元件質子照射驗證技術與品保系統，並結合學研單位與廠家，開發相關儀器與設備，以支持國防太空產業發展。另外，藉由質子照射驗證設施與技術能量建置，經由產、學、研多元交流擴展，可培育基礎操作、中端技術與高端科研人員，完善質子照射驗證測試能量，有助於太空產業鏈結與深根。

3. 中子影像分析平台

本計畫擬建置快中子及熱中子的影像設施與分析整合平台，期望能提供不同於 X 光影像的靜態及動態影像資訊，運用於新能源、電池儲能、儲氫材料、農業、材料冶金、機械設計及製造、核醫、考古等領域之研究，並協助國內產業界研發新技術，用於物件內部結構檢測、散熱導管內水—氣兩相分布、飛機渦輪葉片瑕疵檢測、多孔材料是否有滲漏和裂縫等重大瑕疵的非破壞性檢測分析，同時運用動態影像技術觀測內部機件的運作情形，可用於精密機械設計及製作。

此平台建置經驗亦為未來建置移動式中子源的影像分析設施的基石，如歐洲和日本等國家已在大型車船碼頭和海關配置了相關移動式中子源設施用來攔截軍火與毒品走私等案例，亦為核研所未來能預期提供給國內海關安檢上的效益。質化效益為建置此快中子及熱中子的影像設施與分析整合平台，而設施定位為學界研究及業界技術開發的中子影像分析支援平台，在量化效益則可提升國家 5+2 產業技術發展。

4. 中子繞射分析平台

當成功建置完中子散射設施（含中子繞射分析平台）後，成為國內唯一可以執行中子繞射分析處所，能夠提供學術界在凝聚態物理、高分子化學、生物工程、生命科學、奈米材料科學等領域之中子分析資訊，用來研究物質晶格結構、殘留應力測量，可運用於材料老劣化、金屬疲勞、氫化、腐蝕等資訊。中子繞射是目前唯一可以實際偵測材料內部殘留應力的方法，可用於業界進行鋼構焊接和加工過後所在意的內部殘留應力量測，避免金屬疲勞等潛在危害因子；或是冶金時整體合金的相變變化，預測該材

料的強韌度的轉變。其質化效益是成為國內目前唯一可以執行中子繞射分析設施，設施定位為提供學界研究及業界技術開發所需的中子繞射分析平台，量化效益可補足國內學研所欠缺的唯一中子繞射分析需求。

(六) 高價值尖端產品品質驗證，提升我國產品出口競爭力

就中子技術的應用來看，核研所建置的快/熱中子束及規劃中的冷中子射束等中子源分析儀器設施，其所對應所建立之中子檢測與分析技術，可用於中子影像[59]、中子活化、中子繞射、電子元件軟錯誤率檢測等工業應用，協助國內業界發展尖端材料及組件等，開發高價值產品與進行品質驗證，提升我國產品出口競爭力。中長期可支援量子材料與元件檢測、量子位元元件開發等新興科技之發展，為我國科技開發出新枝幹。下面簡略說明本計畫擬建置的中子源分析儀器設施可對下列產業提供之協助：

1. 在智慧農業上，藉由中子影像技術可觀測植物之根系發展及水份吸收差異，協助前瞻育種技術發展。
2. 在醫藥及醫材發展上，藉由中子繞射技術可協助鑑定醫藥結構，開發天然植物藥應用於老化疾病的治療保健及發展利基藥品，促成傳統製藥廠升級，同時也可藉由分析植入醫材與細胞癒合情形，協助國內相關產業發展醫材相關應用，提升醫材價值[60, 61]。
3. 在綠能科技產業推動上，透過中子繞射技術量測殘留應力，可提升離岸風機塔架的焊接技術發展[62]，避免銲接缺陷發生；運用能量選擇中子影像技術，則能協助觀測儲能設備充放電特性，改善儲能設備的效能；在節電技術上，則可運用其可觀測磁場特性，協助電動機(馬達)的改良，以上儲能及磁場觀

測能力更可用於未來以電驅動的電動車運輸產業發展上。

4. 在循環性高值化材料技術方面，可以協助探測高分子材料的結構與鍵結，協助確認反應程序及反應特性，促進高值化新材料與環保低碳新材料開發，加強循環製程所需的關鍵材料與技術發展。
5. 在先進結構材料發展上，中子繞射技術可以進行相關材料結構分析[63]及殘留應力量測[64]，配合相關熱處理及機械測試設備，可協助相關製程特性分析(結構變化、內部應力)，進而促進國內先進材料發展。
6. 在5G及AI的發展上，相關技術發展皆須有強大的運算能力，散熱組件(特別是熱管)的效能則是影響運算能力的重要因素，中子影像技術則能協助確認熱管內部的流體分佈，提供散熱組件的改良設計與製作，提昇效能。
7. 在國防產業發展上，主要為材料、機械、自動化(晶片)...等項目的整合，協助國防相關飛行器、船艦、戰甲車等設備製作所需的技術研發，透過中子的相關檢測技術可以協助其相關設備發展，促進國防產業發展。

(七) 深植科研基礎設施，培養科學研究人才，強化我國科學探索能量

在支持基礎科學研究上，中子已是目前研究原子尺度的系統最強而有力的工具之一，但中子是唯一能有效檢測微量摻雜、磁性、輕原子的獨特探索技術，在能源及生醫的新型功能性材料、中子斷層影像(neutron tomography)[65]、結構材料殘餘應力分析等有其不可取代性，值得國內積極推展。如中子散射設施，則能夠提供給凝聚態物理、高分子化學、生物工程、生命科學、奈米材料科學等領域之學術界，用來研究物質結構、磁結構、動態特

性、殘留應力測量、金屬疲勞、氫化、腐蝕、形變等資訊。至於業界部分，則著重於材料之殘留應力測量、金屬疲勞等潛在危害因子，亦為業界進行鋼構焊接和加工過後所注意的事情；或是冶金時合金的相變分布，亦可預測該材料的強韌度與脆弱處。另中子照相設施與中子影像分析平台建置能提供於冶金、機械製造、核醫、考古等領域，檢測該物件內部結構、散熱導管內水—氣兩相分布、飛機飛行檢測、多孔材料是否有滲漏和裂縫等重大瑕疵的非破壞性檢測分析。

世界先進國家對中子源是一重要的高科技研發設施已有共識，故皆積極投入各類型中子源設施的建置與開發，提供尖端材料研究並促進我國工業升級發展，因此中子科技發展可謂是國家科技領先度的重要指標之一。國內因為清大 THOR 反應爐中子源設施老化，而國外中子研究設施申請及使用皆不易，導致我國不易吸引科技人才投入中子研究領域，造成國內中子專業人才日漸凋零，對我國未來科技發展與工業成長均是個威脅。我國現今極為欠缺中子源設施，相關中子繞射、結構材料殘留應力分析等研究數據仍須仰賴國外中子源機構執行，國內學界可獲得技術資源較少，且所需實驗成本較高。核研所建置相關中子源儀器平台後，使國內學術界需使用此中子研究者的多一選項，可以協助國內相關大專院校學術機構執行初步的中子分析，強化我國中子基礎技術能力，培育中子科技人才，促進我國中子科技發展。

另迴旋加速器是利用高能質子束照射金屬靶材產生中子，質子停止照射時即無中子產生，操控容易且安全，沒有傳統核反應器之核廢料與核擴散問題。本計畫目前所規劃的中子源歸屬於中型的加速器中子源，這樣的規劃是在技術建立及實際應用與經濟

成本間取得最佳效益平衡。

國內外專家均建議政府應重視科學基礎設施與科技人才培育，核研所擬藉此 70 MeV 中型迴旋加速器中子源設施分析平台的建置，作為國內學術界基礎研發及業界應用平台，使國內學術界需使用此中子研究者的多一選項，吸引國內學界投入中子研究，有助提升國內學術競爭力與培養中子科學相關領域的人才。中型的加速器中子源亦可用於中子專業人員培訓，進行原理的驗證實驗或是研究方法的設備開發，強化我國科學探索能量，而這部分的成長則需要經驗及時間累積。

中子源是中子研究的基礎，本計畫希望能兼顧中子應用的實用性及中子源技術的汲取累積，有利未來之擴充發展。例如瑞士的大型散裂中子源機構 SINQ 是以一台中型迴旋加速器未來可串接另一台高能量 600 MeV 迴旋加速器，藉提高質子束能量方式以進一步提升產出中子通量，進而增加後端之中子束分析儀器種類及數量，本計畫未來亦可仿此作為一發展國家長期科技戰略目標尖端大型散裂中子源之基礎設施。

是以，研擬建置我國中子與質子科學研究 70 MeV 迴旋加速器為本計畫主要目標，同步設置放射性同位素研製靶室、中子應用研究靶室與質子應用研究靶室，建立專業技術和運用實證的能力、秉持以國家永續發展為中心思想與理念，以策略為指引，發展新世代創新科學研究，開創國家科技發展達到另一高峰。

捌、財務計畫

一、基本假設與參數設定

本計畫為基礎科學研究設施之建置計畫，其建置經費需求無法由原能會或所屬核研所科技預算額度內納編，必須向行政院專案申請預算支應。未來完成設施建置後，可藉由核醫藥物供應、研發成果應用(技術移轉、技術服務)、實驗室服務收費等，產生部分自償性收入。

二、成本項目

本計畫共計有五個子項計畫，預估總經費為新臺幣 1,544,735 千元，各子項計畫之分年經費需求，如表 8 所示。

(一) 迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室：677,600 千元。

(二) 質子照射驗證分析國家實驗室：69,000 千元。

(三) 中子應用國家實驗室：144,000 千元。

(四) 土木工程建造：637,000 千元。

(五) 系統工程：17,135 千元。

三、收入項目

本計畫於建設時期，完全由政府核撥專款經費支應，無其他實質收入。但建置完畢與啟動使用後，預期各子項計畫可產生收入與衍生效益，說明如下。

(一) 迴旋加速器暨放射性同位素研製國家實驗室：經試運轉測試符合規範與正式運轉後，即可投入鈹-201 放射性同位素產製作業，預估每年應可達 50,000~60,000 千元收入。

(二) 質子照射驗證分析國家實驗室：初期服務收入有限，待太空產業趨於成熟，驗證需求增加，預計每年應可達百萬元收入。

(三) 中子應用研究國家實驗室：熱中子影像及繞射分析平台初期以培養國內學界中子研究人力經驗及能力，並進一步開發相關業界應用分析技術為目的，雖然相關服務收入有限，待相關分析應用成熟後，預估每年約有百萬元收入。

四、現金流量分析

本計畫預估總經費為新臺幣 1,544,735 千元，四年建置期間之經費需求額度分別為 111 年 234,035 千元、112 年 467,260 千元、113 年 347,140 千元與 114 年 496,300 千元。

五、自償率分析

(一) 直接費用收入：本計畫於建置階段，並無相關費用收取對象與相關費用收入，財務自償可行性低。建置期間由政府科技預算支應，建置完成後可藉由核醫藥物供應、研發成果應用(技術移轉、技術服務)、實驗室服務收費等，產生部分自償性收入。部分自償性收入來源包括核醫藥物銷售金額、中子與質子照射驗證分析服務金額。

(二) 自償率小於 1：建置期間依據各工程施作成本，本計畫因無其他實質收入，故自償率小於 1，需仰賴政府專案經費支應。

六、創新財務分析

本計畫為我國中子與質子科學研究 70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫之專案計畫，若建置完成，可吸引產學研醫界積極投入基礎研究與創新衍生發展各類商品，創造多元就業人力，可創造就業機會等新興職業，皆有助於新的經濟循環，及扶植新產業與企業成長。建置國家中子與質子科學研究 30-70 MeV 中型迴旋加速器有其必要性、急迫性與需求性，可補足我國的研發能量缺口，預期可與現有

15-30 MeV 迴旋加速器互補需求，可完整研製應用於腫瘤治療與診斷的新核種與核醫藥物。此外，亦可發展成為我國國防、太空科技、半導體與電子產業等自主關鍵技術之核心基礎設施，提供跨領域合作的契機，提升我國重要科技與產業技術之國際競爭力。

七、財務效益分析

本計畫申請由公部門進行投資，以達到基礎科學研究設施之科研創新效益，本計畫為建置我國中子與質子科學研究能量，極大促進國家重要科學技術與產業經濟，且所投資興建的 70 MeV 中型迴旋加速器具備相關技術人才與運維經驗，整體計畫完成之可行性極高。

玖、附則

一、替選方案之分析及評估

本計畫為建置我國中子與質子科學研究 70 MeV 中型迴旋加速器，其設施建置的廠址方案主要為新建廠址(新土木工程建造)，地點位於同位素組加速器館(052 館)旁(面積 0.56 公頃)，替選方案為改建廠址方案，地點位於放射性化學實驗室(016 館) (面積 0.29 公頃)。新建廠址(新土木工程建造)設計監造與建造方案，並為響應節能減碳之目標及實踐綠建築政策以及基於館舍屬公共建築物，依法設置無障礙設施等。新建廠址(新土木工程建造)方案與改建廠址方案之分析及評估。

方案 考量點	新建廠址 (052 館旁空地)	改建廠址 (016 館)
放射性同位素運送之便利性	與現有加速器與核醫製藥中心距離短，可建立通道與之串聯，運送放射性同位素之便利性、搭配性與互補性佳	與現有加速器與核醫製藥中心距離長，運送放射性同位素，需跨越中科院土地，便利性、搭配性與互補性差
環評需求性	環評需求較高	環評需求較低 (但書：若改建程度過大，可能被認定為新建)
設計規劃性	依實驗目的與研究需求，可進行新整廠配置規劃與設計，規劃設計性佳	因為 016 館為既有建築，實驗室為既有隔間，限制較多，無法依實驗目的與研究需求，進行館舍配置設計，規劃設計性差
輻防評估作業時程	為新建案，可進行整廠規劃，輻防評估作業容易	需先完成館舍除役，之後必須通過輻防審核，方可進行土木工程建造作業，需時較長
館場活化	無	有
經費估算	1544,735 千元	1547,735 千元 (含拆除、除汙、整備等作業)

另可配合國內現有加速器設施，具有互補性、獨特性及經濟性。故本計畫新建廠址(新土木工程建造)方案為最具效益之可行性方案。本計畫依據預算法第 34 條：「重要公共工程建設及重大施政計畫，應先行製作選擇方案及替代方案之成本效益分析報告…」之規定，已併同於計畫書 P.148-153 「其他補充資料」中詳細說明。

二、風險管理

本計畫將透過各項管考機制及作業準則，確保計畫持續推動而無執行風險，以達成建置國家中子與質子科學研究 70 MeV 中型迴旋加速器之計畫目標。

(一) 背景資料

1. 計畫概述

依據本計畫內容，確定計畫目標、計畫期程及經費需求(含分年經費)等風險管理背景資料(如下表)，並審視本計畫與周圍環境間之關係，包括政治、社會、經濟、科技、自然環境等對本計畫之影響，以及本計畫之現行相關政策及方案、執行策略及方法、所需資源、經費來源、計算基準及各類利害關係人之意向變動。

計畫目標	<p>計畫總目標為完成我國中子與質子科學研究 70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫之專案計畫。</p> <p>執行策略為：</p> <p>(1)依照未來研究需求，彙整相關基本資料，並尋訪有能力製造迴旋加速器廠商，依採購法及相關規定辦理採購，並定期監督、抽查製造狀況。</p> <p>(2)依照研究及輻防等設計需求，調查相關基本資料，並依設計完成工程建造。</p> <p>(3)完成中型迴旋加速器安裝及驗收測試。</p>
計畫期程	111 年至 114 年
計畫經費	1,544,735 千元

2. 計畫風險類別代碼表

為完成本計畫風險管理作業，並利於後續步驟中簡易呈現所發掘之計畫風險項目，核研所按歷年輻射管制區管理及核設施除役之運作經驗，綜析各類具體影響本計畫執行之潛在風險，歸類建立計畫風險類別及其代碼如下表。

代碼	計畫風險類別
A	規劃設計
B	招標訂約
C	施工履約
D	驗收作業
E	人力需求
F	天然因素

(二) 辨識風險

核研所辨識出各項潛在影響本計畫目標、期程及經費達成之風險項目，據以研析其發生之可能情境、現有風險對策及可能影響層面，並綜整如下表。

計畫現有風險辨識一覽表

風險項目	風險情境	現有風險對策	可能影響層面
A1： 規劃設計 未完善	本計畫執行規劃設計等作業時，限於學養、經驗或調查資料之侷限性，以致設計有所缺失或疏漏。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 要求具相應資格、經驗之工程顧問公司辦理設計。 2. 盡量完備設計所需相關資料。 3. 設計過程中定期要求報告及檢討。 4. 除所內專業人審查外，並邀請所外專家學者進行外審。 	<p>期程 經費</p>
A2： 建築執照 延遲取得	因建築執照核准時程冗長，導致後續工程時程延遲。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 預先了解取得建築執照過程中可能遭遇之困難，及所有可能取得建照之途徑。 2. 先行備齊各項相關資料，並盡早開始相關申請作業。 3. 邀請具經驗之建築師，提供相關建議。 	<p>期程 經費</p>
B1： 無法達到 採購目標	依「政府採購法」與核研所採購相關規定辦理迴旋加速器設備採購與廠房新建工程採購，因價格、能力等問題，導致無法如期完成決標作業。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 公開徵求與詢價階段，確實了解相關廠商投標意願。 2. 確實了解預算相關價格，避免預算估計過低或過高。 3. 若數次無法決標，確實檢討原因，針對問題進行調整。 	<p>期程 經費</p>
C1： 迴旋加速器 製造過程 延宕	迴旋加速器製造過程，因品管、人力、材料供應等問題，導致製造時程延宕。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請承攬廠商提供製造時程進度規劃，並提供進度落後時因應措施。 2. 設定履約里程碑，明確訂定相關罰則。 3. 依廠商製造時程進度，定時及不定時抽查製造狀況。 4. 發現進度落後，及時採取因應措施，並確實執行。 	<p>期程 經費</p>
C2：	本計畫執行施工履約時，承	<ol style="list-style-type: none"> 1. 定期召開工地會議檢討工進。 	<p>期程</p>

風險項目	風險情境	現有風險對策	可能影響層面
施工履約過程延宕	攬廠商可能因人力調配、天候因素、材料供應或職安事故等，影響工進導致工期延宕。	<ol style="list-style-type: none"> 2. 設定履約群組，遇有臨時狀況，即刻處理。 3. 工期落後達5%以上，要求提出趕工計畫並落實執行。 4. 嚴格執行職安管理規定。 	經費
D1： 驗收作業未如預期	因設備製造瑕疵或工程施工缺失，導致驗收作業未能順利完成。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 履約過程確實落實相關查驗機制，若有不符情形，確實要求改善。 2. 分階段查驗測試相關功能，確認符合契約規定，並作為驗收佐證。 	期程 經費
E1： 專業人力缺口	核研所熟悉履約管理之資深人員陸續離退，專業技術人力之培養未能適時補足，導致專業技術人力缺口。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 慎選委託技術服務廠商。 2. 藉由相關工作培養同仁專業能力。 3. 借助所外專家學者之專業能力。 	期程 經費
F1： 地質或管線狀況與調查資料出現重大差異	地質調查僅能抽樣調查，管線舊有資料亦多所缺漏，實際執行時有一定機會出現重大差異。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 舊有管線資料盡量收集完整，並釐清有疑義處。 2. 地質鑽探及分析盡量縝密，尤其對於施工關鍵處適當增加鑽探點。 	期程 經費

(三) 評估風險

針對所辨識出之各項風險，透過「分析風險」及「評量風險」兩步驟，進行本計畫風險評估。

1. 分析風險

為具體篩選出重要風險，核研所依計畫期程，設定風險發生之可能年限，綜整建立如下「計畫風險可能性評量標準表」及「計畫風險影響程度評量標準表」。

計畫風險可能性評量標準表

等級(L)	可能性	詳細描述
3	非常可能	4年內大部分的情況下發生
2	可能	4年內有些情況下會發生
1	不太可能	4年內只在特殊的情況下發生

計畫風險影響程度評量標準表

等級(I)	影響程度	期程	目標	經費
3	嚴重	期程延長3年(含)以上	目標未達成 >30%	經費增加 >40%
2	中度	期程延長1年(含)以上，未達3年	目標未達成 10%~30%	經費增加 10%~40%
1	輕微	期程延長未達1年	目標未達成 <10%	經費增加 <10%

核研所所辨識之各項風險，依據前述2種評量標準表及其現有風險對策，分析各項風險發生之可能性及影響程度，客觀評定計畫現有風險等級及風險值如下「計畫現有風險等級及風險值一覽表」。

計畫現有風險等級及風險值一覽表

風險項目	風險情境	現有風險對策	可能影響層面	現有風險等級		現有風險值 (R)=(L)x(I)
				可能性 (L)	影響程度(I)	
A1： 規劃設計未完善	本計畫執行規劃設計等作業時，限於學養、經驗或調查資料之侷限性，以致設計有所缺失或疏漏。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 要求具相應資格、經驗之工程顧問公司辦理設計。 2. 盡量完備設計所需相關資料。 3. 設計過程中定期要求報告及檢討。 4. 除所內專業人審查外，並邀請所外專家學者進行外審。 	期程經費	1	2	2
A2： 建築執照延遲取得	因建築執照核准時程冗長，導致後續工程時程延遲。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 預先了解取得建築執照過程中可能遭遇之困難，及所有可能取得建照之途徑。 2. 先行備齊各項相關資料，並盡早開始相關申請作業。 3. 邀請具經驗之建築師，提供相關建議。 	期程經費	2	1	2
B1： 無法達到採購目標	依「政府採購法」與核研所採購相關規定辦理迴旋加速器設備採購與廠房新建工程採購，因價格、能力等問題，導致無法如期完成決標作業。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 公開徵求與詢價階段，確實了解相關廠商投標意願。 2. 確實了解預算相關價格，避免預算估計過低或過高。 3. 若數次無法決標，確實檢討原因，針對問題進行調整。 	期程經費	1	2	2

風險項目	風險情境	現有風險對策	可能影響層面	現有風險等級		現有風險值 (R)=(L)x(I)
				可能性 (L)	影響程度(I)	
C1： 迴旋加速器製造過程延宕	迴旋加速器製造過程，因品管、人力、材料供應等問題，導致製造時程延宕。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請承攬廠商提供製造時程進度規劃，並提供進度落後時因應措施。 2. 設定履約里程碑，明確訂定相關罰則。 3. 依廠商製造時程進度，定時及不定時抽查製造狀況。 4. 發現進度落後，及時採取因應措施，並確實執行。 	期程經費	1	2	2
C2： 施工履約過程延宕	本計畫執行施工履約時，承攬廠商可能因人力調配、天候因素、材料供應或職安事故等，影響工進導致工期延宕。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 定期召開工地會議檢討工進。 2. 設定履約群組，遇有臨時狀況，即刻處理。 3. 工期落後達 5%以上，要求提出趕工計畫並落實執行。 4. 嚴格執行職安管理規定。 	期程經費	1	2	2
D1： 驗收作業未如預期	因設備製造瑕疵或工程施工缺失，導致驗收作業未能順利完成。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 履約過程確實落實相關查驗機制，若有不符情形，確實要求改善。 2. 分階段查驗測試相關功能，確認符合契約規定，並作為驗收佐證。 	期程經費	1	2	2
E1： 專業人力缺口	核研所熟悉履約管理之資深人員陸續離退，專業技術人力之	<ol style="list-style-type: none"> 1. 慎選委託技術服務廠商。 2. 藉由相關工作培養同仁專業能力。 3. 借助所外專家學者之專業能力。 	期程經費	2	1	2

風險項目	風險情境	現有風險對策	可能影響層面	現有風險等級		現有風險值 (R)=(L)x(I)
				可能性 (L)	影響程度(I)	
	培養未能適時補足，導致專業技術人力缺口。					
F1： 地質或管線狀況與調查資料出現重大差異	地質調查僅能抽樣調查，管線舊有資料亦多所缺漏，實際執行時有一定機會出現重大差異。	<ol style="list-style-type: none"> 1.舊有管線資料盡量收集完整，並釐清有疑義處。 2.地質鑽探及分析盡量縝密，尤其對於施工關鍵處適當增加鑽探點。 	期程經費	2	2	4

2. 評量風險

核研所依據前述 2 種評量標準表，並決定以風險值 $R=2$ 以下之低度風險為風險容忍度，超過此限度之風險，均予以處理(如下圖)。

計畫風險判斷基準及其風險容忍度

嚴重 (3)	R=3 中度風險	R=6 高度風險	R=9 極度風險
中度 (2)	R=2 低度風險	R=4 中度風險	R=6 高度風險
輕微 (1)	R=1 低度風險	R=2 低度風險	R=3 中度風險
影響程度 可能性	不太可能 (1)	可能 (2)	非常可能 (3)

極度風險(R=9)：需立即採取處理行動消除或降低其風險。

高度風險(R=6)：需研擬對策消除或降低其風險。

中度風險(R=3~4)：仍需進行控管活動降低其風險。

低度風險(R=1~2)：不需執行特定活動降低其風險。

為能進一步篩選出重要風險項目，將所辨識各項風險之現有風險等級及風險值，與計畫風險判斷基準比較，建立計畫現有風險圖像，其中「F1：地質或管線狀況與調查資料出現重大差異」屬中度風險。

計畫現有風險圖像

嚴重(3)	-	-	-
中度(2)	A1、B1、C1、 C2、D1	F1	-
輕微(1)	-	A2、E1	-
影響程度 可能性	不太可能 (1)	可能 (2)	非常可能 (3)

極度風險：0項(0.00%)

高度風險：0項(0.00%)

中度風險：1項(12.5%)

低度風險：7項(87.5%)

(四) 處理風險

為減少風險對本計畫之負面影響，評估各項風險對策之可行性、成本及利益後，針對風險項目擬具最適風險對策，重新評定其風險等級及風險值(如計畫風險評估及處理彙總表)，再與風險判斷基準比較，進而建立計畫殘餘風險圖像。

原屬中度風險之「F1：地質或管線狀況與調查資料出現重大差異」，未來以進行縝密調查，並以最新科學儀器，如透地雷達等加以輔助等對策，降低風險影響程度，風險等級將可降為低度風險。

計畫風險評估及處理彙總表

風險項目	風險情境	現有風險對策	可能影響層面	現有風險等級		現有風險值 (R)=(L)x(I)	新增風險對策	殘餘風險等級		殘餘風險值 (R)=(L)x(I)
				可能性(L)	影響程度(I)			可能性(L)	影響程度(I)	
A1： 規劃設計未完善	本計畫執行規劃設計等作業時，限於學養、經驗或調查資料之侷限性，以致設計有所缺失或疏漏。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 要求具相應資格、經驗之工程顧問公司辦理設計。 2. 盡量完備設計所需相關資料。 3. 設計過程中定期要求報告及檢討。 4. 除所內專業人審查外，並邀請所外專家學者進行外審。 	期程 經費	1	2	2	無	1	2	2
A2： 建築執照延遲取得	因建築執照核准時程冗長，導致後續工程時程延遲。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 預先了解取得建築執照過程中可能遭遇之困難，及所有可能取得建照之途徑。 2. 先行備齊各項相關資料，並盡早開始相關申請作業。 3. 邀請具經驗之建築師，提供相關建議。 	期程 經費	2	1	2	無	2	1	2
B1： 無法達到採購目標	依「政府採購法」與核研所採購相關規定辦理迴旋加速器設備採購與廠房新建工程採購，因價格、能力等問題，導致無法如期完成決標作業。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 公開徵求與詢價階段，確實了解相關廠商投標意願。 2. 確實了解預算相關價格，避免預算估計過低或過高。 3. 若數次無法決標，確實檢討原因，針對問題進行調整。 	期程 經費	1	2	2	無	1	2	2

風險項目	風險情境	現有風險對策	可能影響層面	現有風險等級		現有風險值 (R)=(L)x(I)	新增風險對策	殘餘風險等級		殘餘風險值 (R)=(L)x(I)
				可能性(L)	影響程度(I)			可能性(L)	影響程度(I)	
C1： 迴旋加速器製造過程延宕	迴旋加速器製造過程，因品管、人力、材料供應等問題，導致製造時程延宕。	<ol style="list-style-type: none"> 請承攬廠商提供製造時程進度規劃，並提供進度落後時因應措施。 設定履約里程碑，明確訂定相關罰則。 依廠商製造時程進度，定時及不定時抽查製造狀況。 發現進度落後，及時採取因應措施，並確實執行。 	期程經費	1	2	2	無	1	2	2
C2： 施工履約過程延宕	本計畫執行施工履約時，承攬廠商可能因人力調配、天候因素、材料供應或職安事故等，影響工進導致工期延宕。	<ol style="list-style-type: none"> 定期召開工地會議檢討工進。 設定履約群組，遇有臨時狀況，即刻處理。 工期落後達 5%以上，要求提出趕工計畫並落實執行。 嚴格執行職安管理規定。 	期程經費	1	2	2	無	1	2	2
D1： 驗收作業未如預期	因設備製造瑕疵或工程施工缺失，導致驗收作業未能順利完成。	<ol style="list-style-type: none"> 履約過程確實落實相關查驗機制，若有不符情形，確實要求改善。 分階段查驗測試相關功能，確認符合契約規定，並作為驗收佐證。 	期程經費	1	2	2	無	1	2	2
E1： 專業人力缺	核研所熟悉履約管理之資深人員陸續	<ol style="list-style-type: none"> 慎選委託技術服務廠商。 藉由相關工作培養同仁專業能力。 	期程經費	2	1	2	無	2	1	2

風險項目	風險情境	現有風險對策	可能影響層面	現有風險等級		現有風險值 (R)=(L)x(I)	新增風險對策	殘餘風險等級		殘餘風險值 (R)=(L)x(I)
				可能性(L)	影響程度(I)			可能性(L)	影響程度(I)	
口	離退，專業技術人力之培養未能適時補足，導致專業技術人力缺口。	3. 借助所外專家學者之專業能力。								
F1： 地質或管線狀況與調查資料出現重大差異	地質調查僅能抽樣調查，管線舊有資料亦多所缺漏，實際執行時有一定機會出現重大差異。	1. 舊有管線資料盡量收集完整，並釐清有疑義處。 2. 地質鑽探及分析盡量縝密，尤其對於施工關鍵處適當增加鑽探點。	期程 經費	2	2	4	進行縝密調查，並以最新科學儀器，如透地雷達等加以輔助	1	2	2

計畫殘餘風險圖像

嚴重(3)	-	-	-
中度(2)	A1、B1、C1、 C2、D1、F1	-	-
輕微(1)	-	A2、E1	-
影響程度 可能性	不太可能 (1)	可能 (2)	非常可能 (3)

極度風險：0項

高度風險：0項

中度風險：0項

低度風險：8項(100.00%)

(五) 監督及檢討

為監督本計畫風險管理過程之進行狀況，並不斷檢討改進，核研所規劃監督作法如下：

1. 自主監督

- (1) 成立計畫風險管理小組，指派計畫主辦單位副主管擔任召集人，定期召開小組會議進行檢討，如有危機狀況則適時召開。
- (2) 計畫執行人員隨時監督風險環境之變化，留意新風險之出現。
- (3) 計畫執行人員隨時監督已辨識之風險及提出必要之警示。
- (4) 計畫執行人員檢討風險對策之有效性及風險處理步驟之正確性。

2. 外部監督

- (1) 配合計畫三級管制，接受上級機關逐級督導。
- (2) 接受管考機關例外管理(例如計畫實地查證或機動性查證)。
- (3) 配合計畫評核作業，驗證計畫風險管理之有效性。
- (4) 透過計畫資訊公開，由全民監督計畫風險管理情形。

(六) 傳遞資訊、溝通及諮詢

為確保計畫研擬人員、計畫風險管理人員、計畫執行人員及利害關係人均能瞭解計畫風險與支持風險對策，且計畫資訊能於機關內、外部間有效傳遞，以落實計畫風險管理職責，並提升外界對計畫之信任。本計畫之對外及對內溝通原則如下：

1.對外溝通原則

- (1) 掌握溝通目的與底線。
- (2) 瞭解溝通對象，慎訂溝通策略。
- (3) 儘早、主動溝通。
- (4) 善用多元溝通管道。
- (5) 態度真誠、坦白與公開。
- (6) 傾聽對方關切之重點。
- (7) 滿足媒體之需要。

2.對內溝通原則

- (1) 上對下要做風險政策之宣達。
- (2) 下對上要做風險發現之報告。
- (3) 單位之間要分享風險管理之經驗。

三、相關機關配合事項

無

四、中長程個案計畫自評檢核表及性別影響評估檢視表

附表一、中長程個案計畫自評檢核表

檢視項目	內容重點 (內容是否依下列原則撰擬)	主辦機關		主管機關		備註
		是	否	是	否	
1、計畫書格式	(1)計畫內容應包括項目是否均已填列(「行政院所屬各機關中長程個案計畫編審要點」(以下簡稱編審要點)第5點、第10點)	V		V		1. 已依「行政院所屬各機關中長程個案計畫編審要點」,完成各章節撰寫。 2. 本計畫為 70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫,為新增計畫,不屬於延續行計畫。 3. 本計畫為 70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫,建置階段之自償率<1。自償率分析請參見 89 頁。
	(2)延續性計畫是否辦理前期計畫執行成效評估,並提出總結評估報告(編審要點第5點、第13點)		V		V	
	(3)是否本於提高自償之精神提具相關財務策略規劃檢核表?並依據各類審查作業規定提具相關書件		V		V	
2、民間參與可行性評估	是否填寫「促參預評估檢核表」評估(依「公共建設促參預評估機制」)		V		V	本計畫未涉及公共建設促參部分。
3、經濟及財務效益評估	(1)是否研提選擇及替代方案之成本效益分析報告(「預算法」第34條)	V		V		本計畫為 70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫,建置階段之自償率<1,自償率分析請參見 89 頁。
	(2)是否研提完整財務計畫		V		V	
4、財源籌措及資金運用	(1)經費需求合理性(經費估算依據如單價、數量等計算內容)	V		V		1. 本計畫為 70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫,其 70 MeV 中型迴旋加速器所需經費需求是合理,儀器設備經費估價,請參見 140-145 頁,但土木建築估算依照工程顧問公司給予初步評估建議的建造成本。 2. 本計畫為 70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫,其資金籌措係由
	(2)資金籌措:本於提高自償之精神,將影響區域進行整合規劃,並將外部效益內部化		V		V	
	(3)經費負擔原則: a.中央主辦計畫:中央主管相關法令規定 b.補助型計畫:中央對直轄市及縣(市)政府補助辦法、本於提高自	a			a	

檢視項目	內容重點 (內容是否依下列原則 撰擬)	主辦機關		主管機關		備註
		是	否	是	否	
	償之精神所擬訂各類 審查及補助規定					行政院專案計畫支 應。
	(4)年度預算之安排及 能量估算：所需經費 能否於中程歲出概算 額度內容納加以檢 討，如無法納編者， 應檢討調減一定比率 之舊有經費支應；如 仍有不敷，須檢附以 前年度預算執行、檢 討不經濟支出及自行 檢討調整結果等經費 審查之相關文件		V		V	3. 本計畫為 70 MeV 中 型迴旋加速器建置計 畫，其經費負擔全由 行政院專案計畫負 擔。 4. 本計畫為 70 MeV 中 型迴旋加速器建置計 畫，所需經費依年度 預算安排及能量估 算，並進行檢討。
	(5)經資比 1：2 (「政府 公共建設計畫先期作 業實施要點」第 2 點)		V		V	5. 本計畫為 70 MeV 中 型迴旋加速器建置計 畫，經資比約 1： 11。
	(6)屬具自償性者，是 否透過基金協助資金 調度		V		V	6. 本計畫為 70 MeV 中 型迴旋加速器建置計 畫，建置階段(111- 114 年)不具自償性。
5、人力運用	(1)能否運用現有人力 辦理	V		V		本計畫為 70 MeV 中型 迴旋加速器建置計 畫，建置階段(111-114 年)所需人力，將運用 現有人力辦理，未請 增人力。
	(2)擬請增人力者，是 否檢附下列資料： a.現有人力運用情形 b.計畫結束後，請增人 力之處理原則 c.請增人力之類別及進 用方式 d.請增人力之經費來源		V		V	
6、營運管理計畫	是否具務實及合理性 (或能否落實營運)	V		V		本計畫為 70 MeV 中型 迴旋加速器建置計 畫，建置階段(111-114 年)未涉及營運管理事 項。
7、土地取得	(1)能否優先使用公有 閒置土地房舍	V		V		本計畫為國家中子與 質子科學應用研究： 70 MeV 中型迴旋加速 器建置計畫，建置地 點均於核研所內，未 涉及土地取得相關事 宜。
	(2)屬補助型計畫，補 助方式是否符合規定 (中央對直轄市及縣 (市)政府補助辦法第 10 條)		V		V	

檢視項目	內容重點 (內容是否依下列原則 撰擬)	主辦機關		主管機關		備註
		是	否	是	否	
	(3)計畫中是否涉及徵收或區段徵收特定農業區之農牧用地		V		V	
	(4)是否符合土地徵收條例第3條之1及土地徵收條例施行細則第2條之1規定		V		V	
	(5)若涉及原住民族保留地開發利用者，是否依原住民族基本法第21條規定辦理		V		V	
8、風險管理	是否對計畫內容進行風險管理	V		V		本計畫已進行風險管理評估，請參見92-106頁。
9、環境影響分析 (環境政策評估)	是否須辦理環境影響評		V		V	本計畫因無涉及開發行為，故毋須進行環境影響評估。
10、性別影響評估	是否填具性別影響評估檢視表	V		V		本計畫已填寫性別影響評估檢視表，請參見112-121頁。
11、無障礙及通用設計 影響評估	是否考量無障礙環境，參考建築及活動空間相關規範辦理	V		V		本計畫已考量建築無障礙環境與活動空間設計，請參見45、57與66頁。
12、高齡社會影響評估	是否考量高齡者友善措施，參考WHO「高齡友善城市指南」相關規定辦理		V		V	本計畫與人口政策無關。
13、涉及空間規劃者	是否檢附計畫範圍具座標之向量圖檔		V		V	本計畫未涉及空間規劃。
14、涉及政府辦公廳舍 興建購置者	是否納入積極活化閒置資產及引進民間資源共同開發之理念		V		V	本計畫未涉及辦公廳舍興建購置。
15、跨機關協商	(1)涉及跨部會或地方權責及財務分攤，是否進行跨機關協商		V		V	本計畫原則未涉及跨部會或地方業務。
	(2)是否檢附相關協商文書資料		V		V	無。
16、依碳中和概念優先 選列節能減碳指標	(1)是否以二氧化碳之減量為節能減碳指標，並設定減量目標	V		V		本計畫考量減量二氧化碳為節能減碳指標，土木建築部分已規劃採用綠建築以及相關耗材將優先採購環保標章產品。

檢視項目	內容重點 (內容是否依下列原則撰擬)	主辦機關		主管機關		備註
		是	否	是	否	
	(2)是否規劃採用綠建築或其他節能減碳措施	V		V		本計畫已規劃採用綠建築以及相關耗材將優先採購環保標章產品。
	(3)是否檢附相關說明文件		V		V	無。
17、資通安全防護規劃	資訊系統是否辦理資通安全防護規劃	V		V		將配合核研所資安政策，進行各項資通安全防護作業。

主辦機關核章：承辦人  單位主管  首長 

主管部會核章：研考主管  會計主管  首長 

附表二、中長程個案計畫性別影響評估檢視表【一般表】

【第一部分－機關自評】：由機關人員填寫

【填表說明】 各機關使用本表之方法與時機如下：

一、計畫研擬階段

(一) 請於研擬初期即閱讀並掌握表中所有評估項目；並就計畫方向或構想徵詢作業說明第三點所稱之性別諮詢員（至少 1 人），或提報各部會性別平等專案小組，收集性別平等觀點之意見。

(二) 請運用本表所列之評估項目，將性別觀點融入計畫書草案：

將性別目標、績效指標、衡量標準及目標值納入計畫書草案之計畫目標章節。

將達成性別目標之主要執行策略納入計畫書草案之適當章節。

二、計畫研擬完成

(一) 請填寫完成【第一部分－機關自評】之「壹、看見性別」及「貳、回應性別落差與需求」後，併同計畫書草案送請性別平等專家學者填寫【第二部分－程序參與】，宜至少預留 1 週給專家學者（以下稱為程序參與者）填寫。

(二) 請參酌程序參與者之意見，修正計畫書草案與表格內容，並填寫【第一部分－機關自評】之「參、評估結果」後通知程序參與者審閱。

三、計畫審議階段：請參酌行政院性別平等處或性別平等專家學者意見，修正計畫書草案及表格內容。

四、計畫執行階段：請將性別目標之績效指標納入年度個案計畫管制並進行評核；如於實際執行時遇性別相關問題，得視需要將計畫提報至性別平等專案小組進行諮詢討論，以協助解決所遇困難。

註：本表各欄位除評估計畫對於不同性別之影響外，亦請關照對不同性傾向、性別特質或性別認同者之影響。

計畫名稱：國家中子與質子科學應用研究：70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫

主管機關

(請填列中央二級主管機關)

行政院原子能委員會

主辦機關(單位)

(請填列提案機關/單位)

核能研究所

看見性別：檢視本計畫與性別平等相關法規、政策之相關性，並運用性別統計及性別分析，「看見」本計畫之性別議題。

評估項目

評估結果

1-1 【請說明本計畫與性別平等相關法規、政策之相關性】

性別平等相關法規與政策包含憲法、法律、性別平等政策綱領及消除對婦女一切形式歧視公約 (CEDAW) 可參考行政院性別平等會網站 (<https://gec.ey.gov.tw>)。

1. 本計畫落實符合憲法、法律、性別平等政策綱領、性別主流化政策及 CEDAW 之基本精神未妨礙法規對人民之基本保障。
2. 本計畫與「性別平等政策綱領」環境、能源與科技篇，追求平等參與、破除性別隔

	離，並發展積極策略，以鼓勵環境、能源、科技領域進用女性。營造性別友善工作環境，以吸引更多優秀女性進入相關領域就業，並確保女性能充分參與決策過程。
評估項目	評估結果
<p>1-2【請蒐集與本計畫相關之性別統計及性別分析（含前期或相關計畫之執行結果），並分析性別落差情形及原因】</p> <p>請依下列說明填寫評估結果：</p> <p>a.歡迎查閱行政院性別平等處建置之「性別平等研究文獻資源網」(https://www.gender ey.gov.tw/research/)、「重要性別統計資料庫」(https://www.gender ey.gov.tw/gecdb/)（含性別分析專區）、各部會性別統計專區、我國婦女人權指標及「行政院性別平等會—性別分析」(https://gec ey.gov.tw)。</p> <p>b.性別統計及性別分析資料蒐集範圍應包含下列3類群體：</p> <p>①政策規劃者（例如：機關研擬與決策人員；外部諮詢人員）。</p> <p>②服務提供者（例如：機關執行人員、委外廠商人力）。</p> <p>③受益者（或使用者）。</p> <p>c.前項之性別統計與性別分析應盡量顧及不同性別、性傾向、性別特質及性別認同者，探究其處境或需求是否存在差異，及造成差異之原因；並宜與年齡、族群、地區、障礙情形等面向進行交叉分析（例如：高齡身障女性、偏遠地區新住民女性），探究在各因素交織影響下，是否加劇其處境之不利，並分析處境不利群體之需求。前述經分析所發現之處境不利群體及其需求與原因，應於後續【1-3 找出本計畫之性別議題】，及【貳、回應性別落差與需求】等項目進行評估說明。</p> <p>d.未有相關性別統計及性別分析資料時，請將「強化與本計畫相關的性別統計與性別分析」列入本計畫之性別目標（如 2-1 之 f）。</p>	<p>1. 核研所計畫與業務單位編制員工及聘僱人員(截至 110 年 1 月 19 日止)共 849 人，男性共 624 人(占 73%)，女性共 225 人(占 27%)。</p> <p>2. 政策規劃者：本計畫為國家中子與質子科學應用研究：70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫，與「性別平等政策綱領」權力、決策與影響力篇相關：</p> <p>(1)在權力的平等：本計畫於研擬過程中，召開多次計畫討論會議，邀請各領域專家共同參與，不同性別者之性別比例達 1/4。縮小具有決策權力上職位的性別差距，縮小男女兩性在人數上的差距。與「大專校院專任教師數—按職級、性別與學科別分」中之性別數據相比本計畫較趨近性別平等。</p> <p>(2)在決策的平等：本計畫參與決策之一級與二級單位主管(含所長、副所長、組長與副組長等)共 20 人，男性人數為 15 人，女性人數為 5 人，男女性別比例為 3：1。已符合提升女性參與機會，降低參與上的性別區隔，擴</p>

	<p>大參與管道，維持三分之一性別比例原則。</p> <p>(3)在影響力的平等：使決策具備性別敏感度，男女經驗有所不同，應使女性的經驗也能夠受到同等重視，感受得到認可，觀點獲得肯定。</p> <p>2. 服務提供者：參與本計畫的編制員工、聘僱人員及替代役(截至 110 年 1 月 19 日止)共 88 人，男性共 58 人(占 66%)，女性共 30 人(占 34%)。</p> <p>3. 受益者：本計畫為新提案計畫，藉由政府與民間協力，共同完成我國中子與質子科學研究 70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫，受益對象為全體國民，未針對不同性別而有不同影響，亦無關族群及年齡。未來計畫執行時將鼓勵少數性別參與(如相關審查委員會組成及承包廠商工作人員)，在工程招標作業上，將依政府採購法進行招標作業，對不同性別或性向均提供公平工作機會，並可預防對性別認同之刻板印象與性別隔離。</p>
評估項目	評估結果
<p>1-3【請根據 1-1 及 1-2 的評估結果，找出本計畫之性別議題】</p> <p>性別議題舉例如次：</p> <p>a.參與人員</p> <p>政策規劃者或服務提供者之性別比例差距過大時，宜關注職場性別隔離（例如：某些職業的從業人員以特定性別為大宗、高階職位多由單一性別擔任）、職場性別友善性不足（例如：缺乏防治性騷擾措施；未設置哺集乳室；未顧及員工對於家庭照顧之需求，提供彈性工作安排等措施），及性別參與不足等</p>	<p>綜合 1-1 及 1-2 評估結果，本計畫性別議題有：</p> <p>1. 本計畫新提案計畫，完成我國中子與質子科學研究 70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫，，工作多需於輻射管制區作業或具備相關知識，需有理工專業背景之人力，致</p>

<p>問題。</p> <p>b. 受益情形</p> <p>① 受益者人數之性別比例差距過大，或偏離母體之性別比例，宜關注不同性別可能未有平等取得社會資源之機會（例如：獲得政府補助；參加人才培訓活動），或平等參與社會及公共事務之機會（例如：參加公聽會/說明會）。</p> <p>② 受益者受益程度之性別差距過大時（例如：滿意度、社會保險給付金額），宜關注弱勢性別之需求與處境（例如：家庭照顧責任使女性未能連續就業，影響年金領取額度）。</p> <p>c. 公共空間</p> <p>公共空間之規劃與設計，宜關注不同性別、性傾向、性別特質及性別認同者之空間使用性、安全性及友善性。</p> <p>① 使用性：兼顧不同生理差異所產生的不同需求。</p> <p>② 安全性：消除空間死角、相關安全設施。</p> <p>③ 友善性：兼顧性別、性傾向或性別認同者之特殊使用需求。</p> <p>d. 展覽、演出或傳播內容</p> <p>藝術展覽或演出作品、文化禮俗儀典與觀念、文物史料、訓練教材、政令/活動宣導等內容，宜注意是否避免複製性別刻板印象、有助建立弱勢性別在公共領域之可見性與主體性。</p> <p>e. 研究類計畫</p> <p>研究類計畫之參與者（例如：研究團隊）性別落差過大時，宜關注不同性別參與機會、職場性別友善性不足等問題；若以「人」為研究對象，宜注意研究過程及結論與建議是否納入性別觀點。</p>	<p>使男性工作人員較高於女性工作人員。（輻射相關領域人才性別比參照原能會 108 年核發輻射從業人員專業證書性別比，男性 76.2%，女性 23.8%），但因部分醫事專長人員加入研發團隊，已逐步提升女性比例。</p> <p>2. 本計畫秉持性別平等意涵，顧及不同年齡、族群、地區之任一性別。且對不同性別或性向均提供公平工作機會，達預防對性別認同之刻板印象與性別隔離，且關注不同性別、性傾向、性別特質及性別認同者之空間使用性、安全性及友善性。</p>
<p>貳、回應性別落差與需求：針對本計畫之性別議題，訂定性別目標、執行策略及編列相關預算。</p>	
<p style="text-align: center;">評估項目</p> <p>2-1 【請訂定本計畫之性別目標、績效指標、衡量標準及目標值】</p> <p>請針對 1-3 的評估結果，擬訂本計畫之性別目標，並為衡量性別目標達成情形，請訂定相應之績效指標、衡量標準及目標值，並納入計畫書草案之計畫目標章節。性別目標宜具有下列效益：</p> <p>a. 參與人員</p> <p>① 促進弱勢性別參與本計畫規劃、決策及執行，納入不同性別經驗與意見。</p> <p>② 加強培育弱勢性別人才，強化其領導與管理知能，以利進</p>	<p style="text-align: center;">評估結果</p> <p><input type="checkbox"/> 有訂定性別目標者，請將性別目標、績效指標、衡量標準及目標值納入計畫書草案之計畫目標章節，並於本欄敘明計畫書草案之頁碼：</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 未訂定性別目標者，請說明原因及確保落實性別平等事項之機制或方法。</p> <p>1. 未訂定性別目標者原因：</p>

<p>入決策階層。</p> <p>③營造性別友善職場，縮小職場性別隔離。</p> <p>b.受益情形</p> <p>① 回應不同性別需求，縮小不同性別滿意度落差。</p> <p>② 增進弱勢性別獲得社會資源之機會（例如：獲得政府補助；參加人才培訓活動）。</p> <p>③ 增進弱勢性別參與社會及公共事務之機會（例如：參加公聽會/說明會，表達意見與需求）。</p> <p>c.公共空間</p> <p>回應不同性別對公共空間使用性、安全性及友善性之意見與需求，打造性別友善之公共空間。</p> <p>d.展覽、演出或傳播內容</p> <p>① 消除傳統文化對不同性別之限制或僵化期待，形塑或推展性別平等觀念或文化。</p> <p>② 提升弱勢性別在公共領域之可見性與主體性（如作品展出或演出；參加運動競賽）。</p> <p>e.研究類計畫</p> <p>① 產出具性別觀點之研究報告。</p> <p>② 加強培育及延攬環境、能源及科技領域之女性研究人才，提升女性專業技術研發能力。</p> <p>f.強化與本計畫相關的性別統計與性別分析。</p> <p>g.其他有助促進性別平等之效益。</p>	<p>本計畫成果受益對象及於任一性別，無涉及性別偏見，故無法訂定性別目標。</p> <p>2.確保落實性別平等事項之機制或方法：</p> <p>(1)在計畫規劃、決策及執行階段，能納入不同性別之經驗與意見，並強化女性之領導與管理能力，以利進入計畫決策階層，使計畫團隊增加女性人員之參與。</p> <p>(2)本計畫執行加速器設備建置及輻射防護現場改善作業之外包執行人員，依政府採購法進行招標作業，對不同性別或性向均提供公平工作機會，並可預防對性別認同之刻板印象與性別隔離。</p>
--	--

評估項目	評估結果
<p>2-2【請根據 2-1 本計畫所訂定之性別目標，訂定執行策略】</p> <p>請參考下列原則，設計有效的執行策略及其配套措施：</p> <p>a.參與人員</p> <p>① 本計畫研擬、決策及執行各階段之參與成員、組織或機制（如相關會議、審查委員會、專案辦公室成員或執行團隊）符合任一性別不少於三分之一原則。</p> <p>② 前項參與成員具備性別平等意識/有參加性別平等相關課程。</p> <p>b.宣導傳播</p> <p>① 針對不同背景的目標對象（如不諳本國語言者；不同年齡、族群或居住地民眾）採取不同傳播方法傳布訊息（例如：透過社區公布欄、鄰里活動、網路、報紙、宣傳單、APP、廣播、電視等多元管道公開訊息，或結合婦女團體、老人福利或身障等民間團體傳布訊息）。</p> <p>② 宣導傳播內容避免具性別刻板印象或性別歧視意味之語</p>	<p><input type="checkbox"/>有訂定執行策略者，請將主要的執行策略納入計畫書草案之適當章節，並於本欄敘明計畫書草案之頁碼：</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>未訂執行策略者，請說明原因及改善方法：</p> <p>1.未訂執行策略者原因： 本計畫無涉及性別偏見，故無訂定執行策略。</p> <p>2.改善方法： (1)本計畫工作多需於加速器設備建置及輻射防護或具備相關知識，需有理工、輻防等專業背景之人力，致使男性工作人員較高於女性工作人員。參與計畫</p>

言、符號或案例。

③ 與民眾溝通之內容如涉及高深專業知識，將以民眾較易理解之方式，進行口頭說明或提供書面資料。

c.促進弱勢性別參與公共事務

① 計畫內容若對人民之權益有重大影響，宜與民眾進行充分之政策溝通，並落實性別參與。

② 規劃與民眾溝通之活動時，考量不同背景者之參與需求，採多元時段辦理多場次，並視需要提供交通接駁、臨時托育等友善服務。

③ 辦理出席民眾之性別統計；如有性別落差過大情形，將提出加強蒐集弱勢性別意見之措施。

④ 培力弱勢性別，形成組織、取得發言權或領導地位。

d.培育專業人才

① 規劃人才培訓活動時，納入鼓勵或促進弱勢性別參加之措施

(例如:提供交通接駁、臨時托育等友善服務；優先保障名額；培訓活動之宣傳設計，強化歡迎或友善弱勢性別參與之訊息；結合相關機關、民間團體或組織，宣傳培訓活動)。

② 辦理參訓者人數及回饋意見之性別統計與性別分析，作為未來精進培訓活動之參考。

③ 培訓內涵中融入性別平等教育或宣導，提升相關領域從業人員之性別敏感度。

④ 辦理培訓活動之師資性別統計，作為未來師資邀請或師資培訓之參考。

e.具性別平等精神之展覽、演出或傳播內容

① 規劃展覽、演出或傳播內容時，避免複製性別刻板印象，並注意創作者、表演者之性別平衡。

② 製作歷史文物、傳統藝術之導覽、介紹等影音或文字資料時，將納入現代性別平等觀點之詮釋內容。

③ 規劃以性別平等為主題的展覽、演出或傳播內容(例如:女性的歷史貢獻、對多元性別之瞭解與尊重、移民女性之處境與貢獻、不同族群之性別文化)。

f.建構性別友善之職場環境

委託民間辦理業務時，推廣促進性別平等之積極性作法(例如:評選項目訂有友善家庭、企業托兒、彈性工時與工作安排等性別友善措施；鼓勵民間廠商拔擢弱勢性別優秀人才擔任管理職)，以營造性別友善職場環境。

之人員主要為編制內同仁，依政府人事法規進用且儘量兼顧性別比例。但因部分醫事專長人員加入研發團隊，已提升女性參與人員比例。

(2)建置加速器設備設施與環境安全強化改善之性別友善工作環境，依相關職業安全法令規定，做好職安防護，例如保護懷孕婦女限制不得於輻射管制區域工作，並藉由每年的公務人員終身學習訓練(性平課程)提昇工作人員性別平等意識，有效防治職場性別歧視及性騷擾。

g.具性別觀點之研究類計畫 ①研究團隊成員符合任一性別不少於三分之一原則，並積極培育及延攬女性科技研究人才；積極鼓勵女性擔任環境、能源與科技領域研究類計畫之計畫主持人。 ②以「人」為研究對象之研究，需進行性別分析，研究結論與建議亦需具性別觀點。		
評估項目		評估結果
2-3【請根據 2-2 本計畫所訂定之執行策略，編列或調整相關經費配置】 各機關於籌編年度概算時，請將本計畫所編列或調整之性別相關經費納入性別預算編列情形表，以確保性別相關事項有足夠經費及資源落實執行，以達成性別目標或回應性別差異需求。		<input type="checkbox"/> 有編列或調整經費配置者，請說明預算額度編列或調整情形： <input checked="" type="checkbox"/> 未編列或調整經費配置者，請說明原因及改善方法： 本計畫為建置計畫，無涉及性別目標之訂定執行策略，研究類計畫的參與者（研究團隊）性別參與機會相等，無性別參與不足或職場性別友善性不足等問題。故無需編列或調整經費。
【注意】 填完前開內容後，請先依「填表說明二之（一）」辦理【第二部分—程序參與】，再續填下列「參、評估結果」。		
參、評估結果 請機關填表人依據【第二部分—程序參與】性別平等專家學者之檢視意見，提出綜合說明及參採情形後通知程序參與者審閱。		
3-1 綜合說明	謝謝審查委員的支持與肯定。	
3-2 參採情形	3-2-1 說明採納意見後之計畫調整（請標註頁數）	本所將持續繼續努力，希望早日達成男女比例 2:1，甚至是 1:1 的目標。
	3-2-2 說明未參採之理由或替代規劃	
3-3 通知程序參與之專家學者本計畫之評估結果： 已於 110 年 3 月 8 日將「評估結果」及「修正後之計畫書草案」通知程序參與者審閱。		

· 填表人姓名：樊修秀 職稱：簡任副研究員兼副組長 電話：(03)471-1400 轉 7002 填表日期：110 年 01 月 27 日

- 本案已於計畫研擬初期 徵詢性別諮詢員之意見，或 提報各部會性別平等專案小組
(會議日期：____年____月____日)
- 性別諮詢員姓名：高惠春 服務單位及職稱：淡江大學退休教授 身分：符合中長程個案
計畫性別影響評估作業說明第三點第1款 (如提報各部會性別平等專案小組者，免填)
(請提醒性別諮詢員恪遵保密義務，未經部會同意不得逕自對外公開計畫草案)

【第二部分—程序參與】：由性別平等專家學者填寫

程序參與之性別平等專家學者應符合下列資格之一：

- 1. 現任臺灣國家婦女館網站「性別主流化人才資料庫」公、私部門之專家學者；其中公部門專家應非本機關及所屬機關之人員（人才資料庫網址：<http://www.taiwanwomencenter.org.tw/>）。
- 2. 現任或曾任行政院性別平等會民間委員。
- 3. 現任或曾任各部會性別平等專案小組民間委員。

(一) 基本資料

1.程序參與期程或時間	110 年 2 月 26 日至 110 年 3 月 8 日
2.參與者姓名、職稱、服務單位及其專長領域	高惠春、教授、淡江大學退休、化學、性別與科技。
3.參與方式	<input type="checkbox"/> 計畫研商會議 <input type="checkbox"/> 性別平等專案小組 <input checked="" type="checkbox"/> 書面意見
(二) 主要意見 （若參與方式為提報各部會性別平等專案小組，可附上會議發言要旨，免填 4 至 10 欄位，並請通知程序參與者恪遵保密義務）	
4.性別平等相關法規政策相關性評估之合宜性	本計畫有針對不同性別而有不同影響作相關性評估。
5.性別統計及性別分析之合宜性	核研所計畫與業務單位編制員工及聘僱人員(截至 110 年 1 月 19 日止)共 849 人，女性共 225 人(占 27%)。參與本計畫人員共計 88 人，女性共 30 人(占 34%)。此處，女性的參與比例約占 1/3。參與計畫人員女性比例比核研所整體員工中的比例高，值得肯定。 在決策的平等：本計畫參與決策之一級與二級單位主管(含所長、副所長、組長與副組長等)共 20 人，女性人數為 5 人，男女性別比例為 3：1，一樣值得肯定。不過，希望未來仍可以繼續努力，讓性別落差更縮小。
6.本計畫性別議題之合宜性	計畫本身與性別無關，但是參與的人員與性別有關。從上一欄位女性參與比例，顯示核研所有致力於提升性別少數的研究能力，以減少性別落差。
7.性別目標之合宜性	計畫本身與性別無關，性別目標合宜。
8.執行策略之合宜性	計畫本身與性別無關，執行策略合宜。
9.經費編列或配置之合宜性	計畫經費編列或配置合宜。

10.綜合性檢視意見	計畫本身與性別無關，而且核能研究所研究員的性別比例不均衡是存在多年的事實。核研所研擬此計畫時有朝向縮小性別落差的方向努力，但是，我們還是希望核研所可以繼續努力，早日達成男女比例 2:1，甚至是 1:1 的目標。
(三) 參與時機及方式之合宜性	合宜。
<p>本人同意恪遵保密義務，未經部會同意不得逕自對外公開所評估之計畫草案。</p> <p>(簽章，簽名或打字皆可) <u>高惠春</u></p>	

五、參考文獻

1. 原子能委員會，原子能科技國際發展趨勢及我國發展策略之研析，2020。
2. 原子能委員會官網，<https://qr.go.page.link/NFFXY>，下載日期 2021.01.15。
3. Jorgensen JT, Hersom M. Companion diagnostics-a tool to improve pharmacotherapy. *Ann Transl Med.* 2016; 4(24): 482.
4. Patel S, Schmidt K, Hesterman J, Hoppin J. Advancing Drug Discovery and Development Using Molecular Imaging (ADDMI): an Interest Group of the World Molecular Imaging Society and an Inaugural Session on Positron Emission Tomography (PET). *Mol Imaging Biol.* 2017; 19(3): 348–356.
5. Martins CD, Kramer-Marek G, Oyen WJG. Radioimmunotherapy for delivery of cytotoxic radioisotopes: current status and challenges. *Expert Opin Drug Deliv.* 2018; 15(2): 185-196.
6. Sundlöv A, Sjögren-Gleisner K. Peptide Receptor Radionuclide Therapy – Prospects for Personalised Treatment. *Clin Oncol.* 2021; 33(2): 92-97.
7. Robertson AK, Ramogida CF, Schaffer P, Radchenko V. Development of ^{225}Ac radiopharmaceuticals: TRIUMF perspectives and experiences. *Curr Radiopharm.* 2018; 11(3): 156-172.
8. McDevitt MR, Ma D, Simon J, Frank RK, Kiefer GE, Scheinberg DA. Design and synthesis of ^{225}Ac radioimmunopharmaceuticals. *Appl Radia Isot.* 2002; 57(6): 841–847.
9. McDevitt MR, Ma D, Lai LT, Simon J, Borchardt P, Frank RK, Wu K, Pellegrini V, Curcio MJ, Miederer M, Bander NH, Scheinberg DA. Tumor Therapy with Targeted Atomic Nanogenerators. *Science.* 2001; 294 (5546): 1537–1540.
10. Ballangrud AM, Yang WH, Palm S, Enmon R, Borchardt PE, Pellegrini VA, McDevitt MR, Scheinberg DA, Sgouros G. Alpha-particle emitting

- atomic generator (Actinium-225)-labeled trastuzumab (herceptin) targeting of breast cancer spheroids: efficacy versus HER2/neu expression. *Clin Cancer Res.* 2004; 10(13): 4489–4497.
11. Borchardt PE, Yuan RR, Miederer M, McDevitt MR, Scheinberg DA. Targeted Actinium-225 in Vivo Generators for Therapy of Ovarian Cancer. *Cancer Res.* 2003; 63(16): 5084–5090.
 12. Mausner LF, Kolsky KL, Joshi V, Srivastava SC. Radionuclide Development at BNL for Nuclear Medicine Therapy. *Appl Radiat Isot.* 1998; 49(4): 285-294.
 13. Danilo Rifuggiato. Cyclotrons and their applications. 18th International Conference. *Cyclotrons 2007.* 2007(1-5).
 14. Ermolaev SV, Zhuikov BL, Kokhanyuk VM, Srivastava, SC. Production yields of ^{117m}Sn from natural antimony target in proton energy range 145–35MeV. *J Label Compd Radiopharm.* 2007; 50(5-6): 611-612.
 15. Das T, Pillai MR. Options to meet the future global demand of radionuclides for radionuclide therapy. *Nucl Med Biol.* 2013; 40(1): 23–32.
 16. Fitzsimmons JM, Medvedev D, Mausner LM. Specific activity and isotope abundances of strontium in purified strontium-82. *J Anal At Spectrom.* 2016; 31(2): 458.
 17. Cairns AB Jr, Love WD, Burch GE. The effects of acetylstrophanthidin on the kinetics of potassium and Rb86 in the myocardium of dogs. *Am Heart J.* 1960; 59(3): 404–411.
 18. Chatal JF, Rouzet F, Haddad F, Bourdeau C, Mathieu C, Le Guludec D. Story of rubidium-82 and advantages for myocardial perfusion PET imaging. *Fron Med.* 2015; 2: 65.
 19. Klein R, Adler A, Beanlands RS, Dekemp RA. Precision-controlled elution of a $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ generator for cardiac perfusion imaging with positron emission tomography. *Phys Med Biol.* 2007; 52: 659–73.
 20. Ahmadi A, Klein R, Lewin HC, Beanlands RSB, deKemp RA. Rubidium-

- 82 generator yield and efficiency for PET perfusion imaging: Comparison of two clinical systems. *J Nucl Cardiol.* 2020; 27(5): 1728-1738.
21. Department of Energy. Accelerators for America's Future. 2010. U.S.A
 22. Albullet M. SPACEX Non-Geostationary Satellite System ATTACHMENT A Technical Information to Supplement Schedule S. Space Exploration Technologies Corp. 2016.
 23. Inclán B, Rydin M, Northon K. Economic Impact Report – FY19. NASA. 2020.
 24. Morgan Stanley Research. A New Space Economy on the Edge of Liftoff.. 2020.
 25. Satellite Industry Association (SIA). 2020 State of the Satellite Industry Report – Two Page Summary. Washington, DC. 2020.
 26. 國家太空中心 National Space Organization (NSPO). https://www.nspo.narl.org.tw/news_view.php?c=200721001&ln=zh_TW, Accessed on 2021.01.15。
 27. Reimers W, Pyzalla AR, Schreyer AK, Clemens H. Neutrons and Synchrotron Radiation in Engineering Materials Science. John Wiley & Sons, Ltd. 2008.
 28. 陳達，賈文寶，應用中子物理學，第1版，科學出版社，中國北京，2015。
 29. 姜傳海、楊傳錚，中子衍射技術及其應用，第1版，科學出版社，中國北京，2012。
 30. China Spallation Neutron Source (CSNS)-Institute of High Energy Physics. <http://english.ihep.cas.cn/csns>. Accessed on 2021/01/15.
 31. European Spallation Source (ESS). <https://europeanspallation-source.se>, Accessed on 2021/01/15.
 32. Spallation Neutron Source (SNS). <https://neutrons.ornl.gov>. Accessed on 2021/01/15.

33. Florian Benedetti. Design of non-invasive profile monitors for the ESS proton beam. Université Paris-Saclay. 2019. (NNT : 2019SACLS238)
34. Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources. <http://www.ucans.org/>. Accessed on 2021/01/15.
35. Kiyanagi Y. Neutron Imaging at Compact Accelerator-Driven Neutron Sources in Japan. J Imaging. 2018; 4(4): 55.
36. Australian Nuclear Science and Technology Organization (ANSTO), <https://www.ansto.gov.au>. Accessed on 2021/01/15.
37. McIntyre GJ, Holden PJ. Neutron scattering at the OPAL research reactor. J Phys Conf Ser. 2016; 746: 1–8.
38. Lee S, Kalos N, Shin DH. Non-destructive testing methods in the U.S. for bridge inspection and maintenance. KSCE J Civ Eng. 2014; 18: 1322–1331.
39. International Atomic Energy Agency. Measurement of residual stress in materials using neutrons Proceedings of a technical meeting held in Vienna 13-17 October, 2003. IAEA-TECDOC-1457. Austria. 2005.
40. Youtsos A, Ohms C. NDT Based on Neutron Techniques in Support of Structural Integrity Assessment. NDT.net. 2002;7(8). <https://www.ndt.net/article/v07n08/ohms/ohms.htm>. Accessed on 2021/01/15.
41. American Physical Society. Neutron for the Nation- discovery and applications while minimizing the risk of Nuclear Proliferation. 2018.
42. 清華大學水池式反應器(THOR), <http://thor.site.nthu.edu.tw>. 下載日期 2021/01/15.
43. 周雄, 中子專業人才培育計畫, 2020年中子年會, 台南。
44. WiKiChip Fuse. <https://fuse.wikichip.org/news/3398/tsmc-details-5-nm/>. Accessed on 2020/12/31.
45. 李灝銘, 快中子源軟錯誤率測試之設計, 中子跨組會議簡報, 核能研究所, 桃園市, 2020年5月20日。

46. 李灝銘，半導體元件軟錯誤量測 JESD89 標準，核能研究所，INER-OM-2485R，桃園市，2020 年 9 月。
47. Joint Electron Device Engineering Council (JEDEC). Measurement and Reporting of Alpha Particles and Terrestrial Cosmic Ray-Induced Soft Errors in Semiconductor Devices (JESD89A). JEDEC Standard. 2001.
48. Xilinx Corporation. Device Reliability Report. https://www.xilinx.com/support/documentation/user_guides/ug116.pdf. 2020. Accessed on 2020/12/31.
49. 國家太空中心 National Space Organization (NSPO). https://www.nspo.narl.org.tw/inprogress.php?c=20022401&ln=zh_TW, 2020. Accessed on 2021/01/15.
50. 國家太空中心 National Space Organization (NSPO). https://www.nspo.narl.org.tw/news_view.php?c=200224005&ln=zh_TW. Accessed on 2021/01/15.
51. 國家太空中心 National Space Organization (NSPO). https://www.nspo.narl.org.tw/news_view.php?c=200113004&ln=zh_TW. Accessed on 2021/01/15.
52. 國家太空中心 National Space Organization (NSPO). https://www.nspo.narl.org.tw/news_view.php?c=200721001&ln=zh_TW. 2020. Accessed on 2021/01/15.
53. 張起明、高梓木等人，可靠度工程與管理手冊，三民書局，台灣台北，2011 年 12 月。
54. 高梓木，風險管理與黑天鵝效應，《科學發展》月刊，525 期，56～60 頁，台灣台北，2016 年 9 月。
55. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Radiation protection for particle accelerator facilities. NCRP Report No. 144. 2003.
56. ORNL/RSIC-45 (Oak Ridge National Laboratory, ORNL/RSIC-45/R1).

- 1982.
57. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Radiation protection for particle accelerator facilities. NCRP Report No. 144. 2003.
 58. NUCLEAR MEDICINE RADIOISOTOPES MARKET - GROWTH, TRENDS, COVID-19 IMPACT, AND FORECASTS (2021 - 2026). Mordor Intelligence. 2020.
 59. Kardjilov N, Manke I, Woracek R, Hilger A, Banhart J. Advances in neutron imaging. *Mater Today*. 2018: 652–672.
 60. Neutron Scattering Provides Unique Insights for Drug R&D – Drug Discovery World (DDW). <https://www.ddw-online.com/neutron-scattering-provides-unique-insights-for-drug-rd-786-201010>. Accessed on 2021/01/15.
 61. Carvalho ALMB de, Mamede AP, Dopplapudi A, Sakai VG, Doherty J, Frogley M, Cinque G, Gardner P, Gianolio D, Carvalho LAEB de, Marques MPM. Anticancer drug impact on DNA – a study by neutron spectroscopy coupled with synchrotron-based FTIR and EXAFS. *Phys Chem Chem Phys*. 2019; 21: 4162–4175.
 62. Jacob A, Oliveira J, Mehmanparast A, Hosseinzadeh F, Kelleher J, Berto F. Residual stress measurements in offshore wind monopile weldments using neutron diffraction technique and contour method. *Theor Appl Fract Mech*. 2018; 96: 418–427.
 63. Griesche A, Dabah E, Kannengiesser T. Neutron imaging of hydrogen in iron and steel. *Can Metall Q*. 2015; 54: 38–42.
 64. Santisteban JR, Edward L, Fitzpatrick ME, Steuwer A, Withers PJ, Daymond MR, Johnson MW, Rhodes N, Schooneveld EM. Strain imaging by Bragg edge neutron transmission. *Nucl Instrum Meth A*. 2002; 481(1-3): 765–768.
 65. Kardjilov N, Baechler S, Basturk M, Dierick M, Jolie J, Lehmann E,

Materna T, Schillinger B, Vontobel P. New features in cold neutron radiography and tomography Part II: Applied energy-selective neutron radiography and tomography. Nucl Instrum Meth A. 2003; 501: 536–546.

行政院原子能委員會核能研究所
申購單價新臺幣 1000 萬元以上科學儀器送審表(B007)
中華民國 111 年度

申請機關(構)	行政院原子能委員會核能研究所				
使用部門	同位素應用組				
中文儀器名稱	70 MeV 迴旋加速器(含射束線)及附屬固體靶站				
英文儀器名稱	70 MeV cyclotron (with beam lines) and solid target system				
數量	1	預估單價(千元)	643,650	總價(千元)	643,650
購置經費來源	<input type="checkbox"/> 申請機構作業基金(基金名稱：) <input type="checkbox"/> 行政院國家科學技術發展基金(計畫名稱：) <input type="checkbox"/> 政府科技預算(政府機關名稱：) <input type="checkbox"/> 前瞻基礎建設特別預算(計畫名稱：) <input checked="" type="checkbox"/> 其他(說明：行政院專案計畫)				
期望廠牌	Best Cyclotron System, Inc. (BCSI)				
型式	Best 70P				
製造商國別	美國				
一、儀器需求說明					
<p>1.需求本儀器之經常性作業名稱： 迴旋加速器質子/中子/醫用同位素應用照射服務</p> <p>2.儀器類別： <input type="checkbox"/>醫療診斷用儀器 <input checked="" type="checkbox"/>政府機關公務用儀器 <input type="checkbox"/>教學或研究用儀器</p> <p>3.儀器用途： 70 MeV 迴旋加速器(含射束線)及附屬固體靶站，主要用途可分為以下 3 項： (1) 質子應用：模擬太空質子輻射環境衛星元件照射、材料抗輻射照射研究、輻射偵檢器照射測試、產生加速器中子源等，可應用於航太工業、電子工業、國防、醫療偵測等。 (2) 中子應用：中子照相、記憶元件軟錯誤率分析、材料殘餘應力分析、材料繞射散射研究等，用於材料微結構分析，可應用於金屬工業、電子業、氫燃料電池、國防、醫學材料開發等。 (3) 核醫藥物研製及生產：研製開發具有應用潛力的醫用同位素(例如 Sr-82、Cu-67、Sn-117m、Ac-225 等)製成核醫藥物，備援生產本所</p>					

現有醫用同位素製成核醫藥物，可以穩定並擴大供應國內醫院使用。

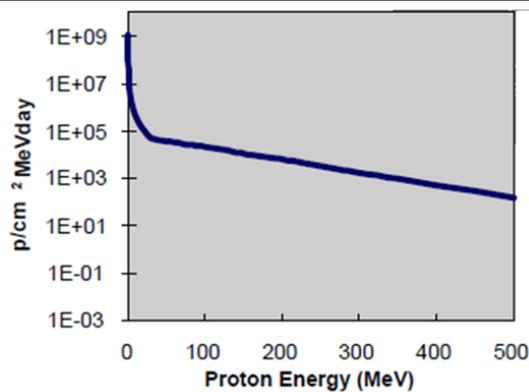
4.購置必要性說明：

本計畫購置 70 MeV 迴旋加速器之必要性，基於以下 4 個方向考量，說明如下：

——應用於國內衛星元件太空質子輻射環境模擬

國家近年來積極向太空發展，行政院 2019 年 1 月核定第三期「太空科技長程發展計畫」，由太空中心負責執行，建立台灣太空產業為重點項目之一，將結合國內產學研共同合作，帶動台灣自主太空科技與產業發展；並於 110 年 2 月 18 日第 3739 次院會提出「太空發展法草案」，為我國太空產業與活動首次立法，太空科技發展的重要性不言而喻；其中太空元件開發的抗輻射檢測技術，為我國太空科技自主關鍵技術及零組件開發的成敗關鍵之一。

太空輻射環境主要包含質子、電子與重離子，以低地球軌道而言，係以質子為主，約占 95%，質子能量分佈從低能量到數百 MeV，質子能量愈高數量愈少(請見下圖)。太空輻射對電子元件主要產生兩種效應，第一種稱為單事件效應，是高能質子的單一撞擊事件造成電子元件異常或損壞；另一種則是輻射劑量累積效應，即高能質子對電子零件產生很小游離效應，造成微量影響，累積起來超過一定劑量時，亦會造成電子零件的異常、性能降低或損壞，因而減短電子元件使用壽命。為能於國內提供輻射測試能量，以盡可能涵蓋質子對電子零組件／元件的各種影響，太空中心結合國內有加速器及測試分析的單位，共同組成「台灣太空輻射環境驗測聯盟」。此聯盟可提供的質子能量範圍從 $\leq 1\sim 30$ MeV 和 $70\sim 230$ MeV，其中利用林口長庚醫院 $70\sim 230$ MeV 高能質子設備進行單事件效應測試；利用核研所 $15\sim 30$ MeV 迴旋加速器進行電子元件輻射劑量累積效應測試，國家太空中心人員到核研所進行測試已有數年，他們是與中研院人員一起合作到核研所進行測試，核研所則是以技服方式提供照射服務。但國內仍缺 $30\sim 70$ MeV 質子能量。為了填補太空質子測試能量之空缺，因此本計畫考量選擇建置 $30\sim 70$ MeV 質子迴旋加速器，如此可建立更完整的國內太空輻射測試環境，以支援太空計畫發展。



低軌道質子能量分佈

——建立國內加速器中子源

中子應用範圍很廣，從基礎科學到農業、工業、醫學、能源、國防等國內外皆有其應用實例。中子源可利用反應器產生，也可利用加速器方式產生，國外不同類型的中子源大致可分加速器中子源、反應器中子源、散裂中子源。

加速器中子源及散裂中子源，原理都是加速粒子撞擊靶材以產生中子，差別在於粒子能量的高低，散裂中子源為高能量粒子的巨大系統，加速器中子源屬於低能量粒子的中小型中子源。反應器中子源使用放射性物種原料，類似核電廠原理，靠核分裂產生中子。相較而言，加速器中子源及散裂中子源無使用放射性物種原料，不會發生核能事件意外，是個安全的中子源選項。

散裂中子源雖可產生更大量的中子，也是目前國際大國的建置趨勢；但大型散裂中子源造價昂貴(百億新台幣起跳)，因此近十年來一些國家開始同步發展加速器中子源。本所過去是利用反應器中子源從事中子研究，但因故該計畫停止，後續因反應器中子源的開發建造有其困難度，因此本所的中子研究因欠缺中子設施暫停一段時期。近年為回復本所中子方面研究，改採建立加速器中子源，目前是利用本所現有 30 MeV 迴旋加速器建立中子源，但礙於場所空間不足以及原屏蔽設計非針對中子源設計，所以暫時只能建立微小規模中子源，僅可適用於低中子通量的初步研究，不適合於工業應用。為建立適用於工業使用強度之中子源，並考量經費資源，因此本計畫考量選擇建置 70 MeV 質子迴旋加速器。

——開發新醫用同位素及備援現有醫用同位素生產

本所 30 MeV 迴旋加速器主要用於醫用同位素之研發與生產，研發之醫用同位素包括銻-201(Tl-201)、鎩-67(Ga-67)、氟-18(F-18)、碘-123(I-123)、銦-111(In-111)、銻-81/氬-81m(Rb-82/Kr-81m)、鋯-89(Zr-89)、銅-64(Cu-64)等，這些同位素可用低於 30 MeV 之特定能量質子撞擊適當靶材來產生，例如生產銻-201 的特定質子能量為 28.5 MeV。有

些醫用同位素需高於能量 30 MeV 質子照射適當靶材始能產生，例如 Sr-82、Cu-67、Sn-117m、Ac-225 等，這些同位素都是有應用潛力的醫用同位素，因此本計畫考量選擇建置 30~70 MeV 質子迴旋加速器來開發這些有潛力之醫用同位素。另外，為備援本所現有 30 MeV 迴旋加速器能穩定生產醫用同位素，製成核醫藥物提供醫院，尤其是國內需求量較多的鉈-201 核醫藥物，因此考量新建置質子迴旋加速器能量範圍須可低到 30 MeV，甚至更低。

——未來擴展

本次投資的 70 MeV 迴旋加速器，未來可以串接一個加速器，將質子能量提高至數百 MeV~GeV，做為中型散裂中子源，產生更多的中子，讓國內中子科技研發再提升。另外，超高能質子也可應用於加速器驅動核能系統(Accelerator-Driven System, ADS)，改善核電廠長半衰期用過核燃料的貯存問題，如下圖 A。本計畫會在建置 70 MeV 迴旋加速器時，預先保留未來擴展空間，保留與擴展本計畫的未來效益。

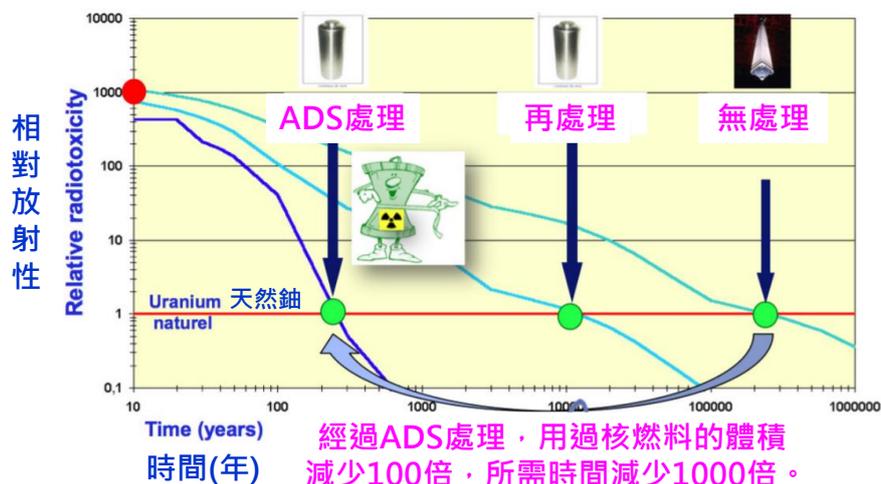


圖 A：用過核燃料與天然鈾的相對放射性隨時間衰減的變化情形

原圖來源：http://ipnwww.in2p3.fr/MAX/images/stories/downloads/SCK-CEN_IPAC12.pdf，2021.02.25。

圖編輯：核研所本計畫。

二、目前同類儀器(醫療診斷及公務用儀器專用)

1.本儀器是

- 新購(申請機構無同類儀器)
- 增購(申請機構雖有同類儀器，但已不符或不敷使用)
- 汰購(汰舊換新)

2.若為增(汰)購，請將申請機構目前使用之同類儀器名稱、廠牌、型式、購買年份及使用狀況詳列於下：

儀器名稱	型式	廠牌	年份	數量	使用現況

二、目前同類儀器(教學或研究用儀器專用)

1. 本儀器是

- 新購(申請機構所在區域無同類儀器)
 增購(申請機構所在區域雖有同類儀器，但已不符或不敷使用)
 汰購(汰舊換新)

2. 若為增(汰)購，請將申請機構所在區域目前使用之同類儀器名稱、廠牌、型式、購買年份(未知可免填)及使用狀況詳列於下：

儀器名稱	儀器所屬機構名稱	型式	廠牌	年份	數量	使用現況

註：1000 萬元以上科學儀器請優先考量共用現有設備，並可至「貴重儀器開放共同管理平台」查詢同類儀器；如經查詢現有設備有規格不符需求、開放時段不敷使用、至設備所在位置交通成本偏高等情形，再考量購置之必要性。

三、儀器使用計畫

1. 請詳述本儀器購買後 5 年內之使用規劃及其預期使用效益。

1-1 使用規劃：

70 MeV 迴旋加速器使用規劃如下，主要為工業、電子、國防、醫學應用：

- (1) 質子照射服務：衛星元件照射(模擬太空質子輻射環境)、材料抗輻射照射研究、輻射偵檢器照射測試等。
- (2) 中子照射服務：中子照相、記憶元件軟錯誤率分析、材料殘餘應力分析、材料繞射散射研究等。
- (3) 核醫藥物研製：研製具有應用潛力的醫用同位素(例如 Sr-82、Cu-67、Sn-117m、Ac-225 等) 並開發製成核醫藥物。
- (4) 備援生產本所現有醫用同位素製成核醫藥物，配合既有 30 MeV 迴旋加速器以穩定並擴大供應國內醫院使用。

1-2 預期使用效益：

主要使用效益分項說明如下：

- (1) 質子照射服務：30 - 70 MeV 質子迴旋加速器可填補太空質子測試能量之空缺，可建立更完整的國內太空輻射測試環境，以支援國家太空計畫發展。
- (2) 中子照射服務：70 MeV 質子迴旋加速器可產生中子源提供中子照射服務，可執行中子照相、中子繞射、中子散射等實驗，可讓國內除同步輻射光外，多一種材料微結構分析的利器，其應用範圍廣泛，從基礎科學到農業、工業、醫學、能源、國防等皆可進行中子應用。
- (3) 備援本所現有醫用同位素生產：配合本所既有 30 MeV 迴旋加速器，可大幅提高本所醫用同位素生產可靠度，未來可擴大供應國內醫院核醫藥物，增加本計畫未來收入。

2. 維護規劃：

2-1 維護方式：

第一年：保固維護

第二～四年：原廠訂約維護

第五年之後：本所自行維護

2-2 預估維護費：加速器購價 10%

2-3 經費來源：自行籌措 50%，政府支援 50%

3. 請詳述本儀器購買後 5 年內之擴充規劃(含配備升級等)，如儀器為整個系統之一部分，則請填寫系統擴充規劃。

3-1 儀器是否為整個系統之一部分？

否

是，系統名稱：_____

3-2 擴充規劃：

- (1) 增設中子射束線和應用靶站
- (2) 增設質子射束線和應用靶站
- (3) 增設醫用同位素研製射束線和靶站

4.儀器使用時數規劃

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	總時數
可使用時數	320	0	320	320	320	320	320	320	320	320	320	400	3,600
自用時數	160	0	160	160	160	160	160	160	160	160	160	240	1,840
對外開放時數	160	0	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	1,760

4-1 可使用時數估算說明：

- (1)排訂 2 月份為年度維修時間，每週一天定期維護。
- (2)每天可使用時間 16 小時，每週可使用時間 5 天，每月可使用 4 週，每年可使用 11 月。

4-2 自用時數估算說明：

自用項目包括：醫用同位素生產及研製，中子/質子研究照射

- (1)01-11 月，自用時數每週 40 小時，每月 4 週，每年 11 個月。
- (2)12 月支援核醫藥物生產(配合 30MeV 迴旋加速器年度維修)，每月 240 小時。

4-3 對外開放時數及對象預估分析：

對外開放每天 10 小時，每週 4 天，每月 4 週，每年 11 個月。

預估對象：中科院、國家太空中心、業界電子公司、中鋼、中鋁、中研院、各大學等。

四、儀器對外開放計畫

儀器對外開放，開放規劃如下：(請就管理方式、服務項目、收費標準等詳細說明，開放方式可能包含提供使用者自行檢測及分析、接受委託檢測但由使用者自行分析、接受委託檢測及分析等)

管理方式：本所運轉加速器，提供質子/中子對外照射服務，開放方式為使用者自行檢測及分析或接受委託檢測但由使用者自行分析。

服務項目：(i) 提供質子照射服務

(ii) 提供中子照射服務

(iii) 提供放射性同位素

收費標準：照射費每小時 25000 元。

本儀器為整個系統之一部分，系統已對外開放，開放方式如下：

- 不對外開放，理由為：(除醫療診斷用及政府機關公務用儀器外，教學或研究用儀器原則對外開放，如未開放須詳述具體理由)
- 醫療診斷用儀器，為醫療機構執行醫療業務專用。
- 儀器為政府機關執行法定職掌業務所需，以公務優先。
- 教學或研究用儀器，說明：_____

五、儀器規格

請詳述本儀器之功能及規格，諸如靈敏度、精確度及重要特性、重要附件與配合設施，並請附送估價單及規格說明書。

1.詳述功能及規格：

項目	基本規格	額外規格
加速粒子	H ⁻	
射束能量範圍	30 - 70 MeV	28 - 70 MeV
最大射束電流	≥ 750 微安培	1000 微安培
射束抽取	同時雙射束抽取	
射束線數量	4	6
離子源型式	外接，multi-cusp	
離子源最大輸出	≥ 10 毫安培	
控制系統	自動控制	

重要附件包括：高頻系統、真空系統、冷卻水系統、射束診斷系統、所有電源供應器、輻射偵檢系統、選配固體靶生產系統等。

配合設施包括：具有效輻射屏蔽和足夠空間的加速器室和靶室負壓廠房、110/220/480 ACV 電源、空調系統、高壓空氣系統等。

2.估價單(除有特殊原因，原則檢附 3 家估價單)

僅附送 1 家估價單，原因為：Best Cyclotron System, Inc.有提供報價單，IBA 只提供總額報價，為附報價單。目前國際製造生產 70 MeV 迴旋加速器廠家只有兩家。

六、廠牌選擇與評估

1.如擬購他國產品，請說明其理由。

國產品

他國產品，原因為：國內沒有製造廠商

2.比較可能供應廠牌之型式、性能、購置價格、維護保固、售後服務等優缺點，以及對本單位之適合性。

	BCSI	IBA	適合規格
射束能量範圍	35 - 70 MeV (亦可提供 28 - 70 MeV)	30 - 70 MeV	28- 70 MeV
最大射束電流	750 微安培 1000 微安培, 加價選配	750 微安培	1000 微安培
購置價格	US\$ 19,023,000 (CIF) (加速器、4 條射束線，1 座固體靶站)	EUR 14,500,000 (CIF) (加速器、4 條射束線，2 座固體靶站)	加速器、4 條射束線，1 座固體靶站
維護保固	1 年	1 年	1 年
售後服務	全球同機型已售 1 台以上	全球同機型已售 3 台以上	

七、人員配備與訓練

1.請詳列本儀器購進後使用操作人員簡歷(如有待聘人力，請於姓名欄位註明待聘，餘欄位填列待聘人力之學經歷要求)

姓名	性別	年齡	職稱	學歷	專長	有否受過相關訓練 (請列名稱)
陳遠寧	男		副研究員	碩士	電機	30 MeV 迴旋加速器運轉訓練
褚國源	男		助理研究員	碩士	機械	30 MeV 迴旋加速器運轉訓練

2.使用操作人員進用、調配、訓練規劃(待聘人力須述明進用規劃)

無

有，規劃如下：陸續進用新進公務人力與進行實務訓練

八、儀器置放環境

1.請描述本儀器預定放置場所之環境條件。(非必要條件，請填無)

空間大小	2500 平方公尺	相對濕度	45%~75%
電壓幅度	120 伏特~480 伏特	除濕設備	—
不斷電裝置	無	防塵裝置	無
溫度	18°C~22°C	輻射防護	3 米屏蔽牆
其他			

2.環境改善規劃

無，預定放置場所已符合儀器所需環境條件。

有，環境改善規劃及經費來源如下：

(1)擬改善項目包含：廠房、機電設施。

(2)環境改善措施所需經費計_____千元。

(3)環境改善措施經費來源：

尚待籌措改善經費。

改善經費已納入本申請案預估總價中。

改善經費已納入____年度_____預算編列。

九、優先順序

請列出本儀器在機關提出擬購儀器清單中之優先購買順序，並說明其理由。

第一優先：為順利執行本計畫，建議預算充分支援之儀器項目。

第二優先：當本計畫預算刪減逾 10%時，得優先減列之儀器項目。

第三優先：當本計畫預算刪減逾 5%時，得優先減列之儀器項目。

理由說明：_____

About Best Cyclotron Systems

Best Cyclotron Systems, Inc. (BCSI) has been established in Springfield, Virginia, U.S.A., for the design and production of commercial cyclotrons. The company is a subsidiary of Best Medical International, a company renowned in the field of medical instrumentation and radiation therapy. Cyclotrons are manufactured and tested at Best Theratronics in Ottawa, Ontario, Canada. BCSI is currently focused on five different energy cyclotrons: the 15, 25, 30, 35 and 70 MeV negative hydrogen ion accelerators.

Best 70p Cyclotron

The BCSI 70p is a 70 MeV proton cyclotron. The energy provides access to radionuclides produced by (p,xn) reactions and is a research accelerator as well as a radioisotope production cyclotron. TeamBest® will partner with the end user to create a facility that will satisfy the end user's requirements and provide some of TeamBest's radioisotope supply requirements, together with the opportunity for joint research projects. Both solid and gas target systems can be added to the BCSI 70p system.

External Production Targets

The cyclotron is supplied with high current solid target stations and high current gas target stations.



Best 70p Cyclotron

Type Of Cyclotron

- Negative hydrogen ion (H⁻)
- External ion source, multi-cusp 15 mA
- Simultaneous dual beam extraction (multiple foil extraction cartridge)
- Up to 6 beam lines, custom design configuration

Beam Current

- 700 μA combined beam current
- Higher currents available (1000 μA)

Beam Energy

- 35 to 70 MeV variable energy extraction

Magnet

Magnet coil	~66 kAT
Magnet weight	~150 tons
Maximum magnetic field	1.6 T
Geometry	4 sector, deep valley
Hill sector angle	50°
Hill gap	6 to 4.69 cm

RF System

Resonator	2 Dees (separated resonators)
Dee voltage	60 to 81 kV
RF frequency	56 MHz, 4 th harmonic
Power required	20 kW (per resonator)
Energy gain per turn	240 to 300 keV

Vacuum System

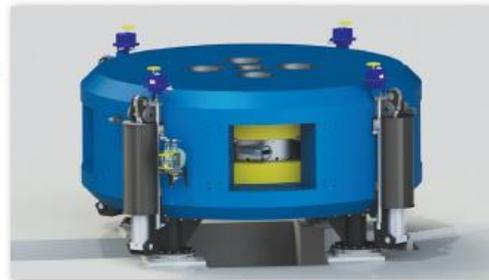
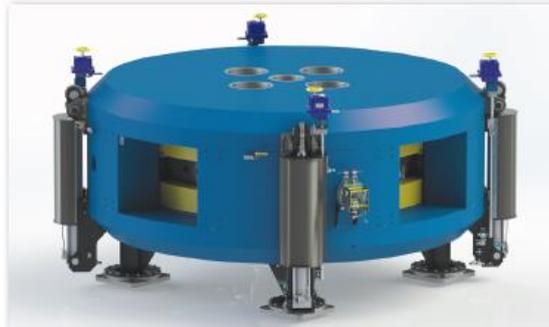
Base pressure.....	<1 x 10 ⁻⁷ Torr
Operating pressure	<2 x 10 ⁻⁷ Torr
Pumps	Cryogenic pump system

Automated Control System

Computer System	Standard PC, Windows-based OS
Controllers	Siemens Industrial PLC Modules
User Console	Color monitor
Interface	Graphical user interface
Networking	Standard thin-wire Ethernet hardware

External Production Targets

The cyclotron is supplied with high current solid target stations and high current gas target stations.



© 2014–2019 Best Cyclotron Systems, Inc.

Best Cyclotron Systems, Inc. 7643 Fullerton Road, Springfield, Virginia 22153 USA
tel: 604 681 3327 866 909 4647 www.bestcyclotron.com www.teambest.com

AFRICA | ASIA | EUROPE | LATIN AMERICA | MIDDLE EAST | NORTH AMERICA

Best Cyclotron 70p 報價(含次頁固體靶)



The budgetary quotation is given below in USD and it is valid for 60 days:

1. **BEST 70p 750 μ A Cyclotron System** **\$14,000,000.00/each**
 BEST 70p cyclotron and the associated equipment to accelerate negative hydrogen ions to extraction at 70 MeV with a guaranteed intensity up to 750 μ A. This includes all power supplies and electronics, the primary de-ionized water system and heat exchangers as well as the control system.

2. **Beam Line (generic)**..... **\$1,255,000.00/each**
 Beam Line to transport up to 70 MeV proton beams to a target station (one leg including 2-way switching magnet). Includes stands, quadrupoles(triplet), bending and steering magnets, beam diagnosis, vacuum pumping station, monitoring and beam monitors. The final configuration and will be determined in consultation with the customer and based on actual site layout.

3. **Beam line additional section** **\$585,000.00/each**
 Beam Line section to transport up to 70 MeV proton beams from the switching magnet to a target station. Includes stands, quadrupoles(triplet), steering magnets, beam diagnosis, vacuum pumping station, monitoring and beam monitors.

For a B70P Cyclotron System and Beam lines to deliver proton beam to four target stations (includes one item 1, two item 2 and two item 3) the total price is:

Total Cyclotron and Beam Lines **\$17,680,000.00**

Additional on site upgrade to 1000 μ A **\$957,000.00**

Prices are in US Dollars. They include no credit financing or bank charges.

Includes:

- Installation (excluding rigging) and commissioning.
- Training of up to 6 professionals at the cyclotron site for operations and maintenance.
- Assembly drawings of all subsystem. Operations and maintenance documents and manuals
- All taxes outside of Taiwan. Customer to pay taxes and licensing fees due for a Taiwan installation.
- Insurance to the time of title transfer.
- Warranty for manpower and parts for one year. An exception is made for consumables and parts failure due to operations errors.

413 March Road, Ottawa, ON K2K 0E4 Canada
 phone 613 591 2100 fax 613 591 6627 www.theratronics.ca

AFRICA | ASIA | EUROPE | LATIN AMERICA | MIDDLE EAST | NORTH AMERICA





The budgetary quotation is given below in USD and it is valid for 60 days:

- 1. **High Current Solid Target Station (HCTS)..... \$386,000.00/each**
 - 35 kW power rating for metallic targets plated on a Cu substrate.
 - Pneumatic shuttle transport system based on rabbit design and 3” transfer lines,
 - Target insertion and recovery up to maximum 30 meters included.
 - Target control system and cabinet included
 - Service manifold (water and air distribution panel) included.

NOT included is the DI water cooling system for target(s).

Total extended price for two (2) HCTS \$772,000.00

Prices are in US Dollars. They include no credit financing or bank charges.

Cyclone® 70 Proton	
High capacity	
Energy	30 - 70 MeV
Maximum proton intensity	750 μ A
Maximum deuteron intensity	
Maximum alpha intensity	
Target flexibility	
Simultaneous extracted beams	2
Exclusive target system	
Solid target system	10mm to 30mm dia collimators. Capsule or plated target
Magnetic structure	
Number of sectors	4
Hill field	1.6 Tesla
Directly coupled RF System	
Number of dees connected at the center	2
Harmonic mode (proton)	4
Frequency (fixed)	62MHz
Amplifier power	100 kW
State of the art of Injection system	
Type of source (external)	Multicusp
Vacuum system	Turbo's
Injected H-current	10 mA (H-)
Compact design	
Total weight	140 tons
Cyclotron dia	4x3.8m
Minimal running cost	
70MeV standby	60 kW
70MeV using 2 beam lines simultaneously	350 kW
HVAC load (typ)	
Cyclotron room	6 kW
Power supply room	40 kW
Target room	2 kW
Low cooling requirements	
Temperature	6°-16°
Heat load capacity	450 kW
Clean vacuum	
Cyclotron Cryo-pumps	6

IBA Cyclone 70 報價資訊(總額報價，不含正式報價單)

The scope of supply would be one Cyclone 70-Proton, four beam transfer lines and two high energy solid target irradiation stations. The budget for such set-up is about EUR 14.5M, delivered CIF, plus installation by IBA personnel.

七、原能會自評會議紀錄

壹、會議時間：110年4月14日 AM 10:00 ~ 11:00

貳、會議地點：行政院原子能委員會2樓會議室

參、主席：張靜文副主任委員

肆、會審單位/機關：綜合計畫處、輻射防護處、主計室、放射性物料管理局

伍、會議結論：

- 一、有關核研所 70 MeV 中型迴旋加速器建立，請強化說明該加速器在未來龍潭核醫產業園區籌設所扮演的關鍵角色、對於產業之長期效益及重要產出。
- 二、本案擬建置場址，請核研所通盤評估既有館舍活化及新建館舍兩方案之整體效益，並強化替代方案之規劃及說明，另應在設計規劃階段即考量未來除役規劃，並就後續可能產生之放射性廢棄物，妥為規劃處理作業。
- 三、核研所規劃建置中型迴旋加速器，可供國內製藥及研究所需質子及中子源，促進國內原子能科學發展及產業增值服務，另成立放射性同位素研製、質子照射驗證分析及中子應用研究國家實驗室，合於該所當前及組改後「國家實驗室」定位。
- 四、本案有助促進國內原子能科學發展及產業增值服務，並為支持「六大核心戰略產業」之關鍵科研設施，原則同意，請核研所依會議有關意見修正計畫書後速送本會，俾後續轉陳行政院。

八、其他補充資料-選擇方案及替代方案之成本效益分析

國家中子與質子科學應用研究：70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫(111-114 年度) 選擇方案及替代方案之成本效益分析報告

一、依據

依據預算法第 34 條：「重要公共工程建設及重大施政計畫，應先行製作選擇方案及替代方案之成本效益分析報告，並提供財源籌措及資金運用之說明，始得編列概算及預算案，並送立法院備查」辦理。

二、計畫背景說明

依據蔡總統於(109)年 5 月 20 日就職演說時提出以 5+2 產業創新的既有基礎，打造「六大核心戰略產業」，使台灣成為未來全球經濟發展的關鍵力量。六大核心戰略產業中，包括「臺灣精準健康戰略產業」、「國防及戰略產業」、「民生及戰備產業」等三大產業，與原子能的應用息息相關。另行政院蘇院長於 109 年 8 月 27 日行政院科技會報「生醫產業創新推動方案成果」中指示：相關部會在「5+2 產業創新」基礎下，以「精準健康」為主軸，讓臺灣成為國際生醫創新研發樞紐，其中核醫藥物之生醫創新研發為「精準健康」的發展重點；此外，行政院 109 年 2 月 10 日政策指示：「積極推動我國太空科技發展」為未來台灣太空科技永續發展奠定良好基礎；並於 110 年 2 月 18 日第 3739 次院會提出「太空發展法草案」，為我國太空產業與活動首次立法，太空科技發展的重要性不言可喻；其中太空元件開發的抗輻射檢測技術，為我國太空科技自主關鍵技術及零組件開發的成敗關鍵之一。

為符合總統及上述政府科技發展政策指示，以及參考國際現況及發展趨勢，認為我國有必要建置一座國家級質子與中子科學應用之中型迴旋加速器。有鑒於我國目前已具備能量區間在 9.6 至 18 MeV 小型迴旋加速器 12 座、15-30 MeV 中型迴旋加速器 1 座(核能研究所)、70-230 MeV 高能質子迴旋加速器 2 座，還缺能量區間在 30-70 MeV 迴旋加速器，是我國基礎科學

研發與產業應用的缺口。綜觀國際上，能量區間在 30-70 MeV 之迴旋加速器其應用極為多樣，從基礎科學到醫學、農業、工業、能源、太空、國防等領域均有相當多的應用實例，足顯見其多元性。

核能研究所擁有全國唯一一座 30 MeV 中型迴旋加速器，擁有大量的技術人才與多年的運轉經驗，對於原子能科技應用的技術研發，具有超過 50 年的累積經驗，對於建置國家 30-70 MeV 之迴旋加速器與未來的科研及運維，為國內不二選擇。本計畫規劃四年期(111~114 年)在核能研究所建置一座國家級 70 MeV 迴旋加速器，協助我國之基礎科研、生醫產業、太空及國防科技、半導體及材料產業等之發展與提供跨領域合作契機。

三、選擇方案及替代方案

原能會核能研究所(以下簡稱核研所)為政府科技研發之國家級實驗室，本計畫為建置我國中子與質子科學研究 70 MeV 中型迴旋加速器，其設施建置的廠址方案主要為新建廠址，地點位於同位素組加速器館(052 館)旁，替選方案為改建廠址方案，地點位於放射性化學實驗室(016 館)。新建廠址(新土木工程建造)設計監造與建造方案，並為響應節能減碳之目標及實踐綠建築政策以及基於館舍屬公共建築物，依法設置無障礙設施等。新建廠址(新土木工程建造)方案與改建廠址方案之分析及評估。

方案 考量點	新建廠址 (052 館旁空地)	改建廠址 (016 館)
放射性同位素運送之便利性	與現有加速器與核醫製藥中心距離短，可建立通道與之串聯，運送放射性同位素之便利性、搭配性與互補性佳	與現有加速器與核醫製藥中心距離長，運送放射性同位素，需跨越中科院土地，便利性、搭配性與互補性差
環評需求性	環評需求較高	環評需求較低 (但書：若改建程度過大，可能被認定為新建)

方案 考量點	新建廠址 (052 館旁空地)	改建廠址 (016 館)
設計規劃性	依實驗目的與研究需求，可進行新整廠配置規劃與設計，規劃設計性佳	因為 016 館為既有建築，實驗室為既有隔間，限制較多，無法依實驗目的與研究需求，進行館舍配置設計，規劃設計性差
輻防評估作業時程	為新建案，可進行整廠規劃，輻防評估作業容易	需先完成館舍除役，之後必須通過輻防審核，方可進行土木工程建造作業，需時較長
館場活化	無	有
經費估算	1544,735 千元	1547,735 千元 (含拆除、除汙、整備等作業)

另可配合國內現有加速器設施，具有互補性、獨特性及經濟性。故本計畫新建廠址(新土木工程建造)方案為最具效益之可行性方案。

四、成本效益分析

本計畫於建設時期，完全由行政院專案核撥專款經費支應。本計畫為建置我國中子與質子科學研究能量，極大促進國家重要科學技術與產業經濟，且所投資興建的 70 MeV 中型迴旋加速器具備相關技術人才與運維經驗，整體計畫完成之可行性極高，設備建置完成啟動使用後，預期各子項計畫可產生之效益，說明如下：

- (一)迴旋加速器暨放射性同位素研製國家實驗室：經試運轉測試符合規範與正式運轉後，即可投入鈾-201 放射性同位素產製作業，預估每年應可達 50,000~60,000 千元收入。
- (二)質子照射驗證分析國家實驗室：初期服務收入有限，待太空產業趨於成熟，驗證需求增加，預計每年應可達百萬元收入。
- (三)中子應用研究國家實驗室：熱中子影像及繞射分析平台初期以培養國內學界中子研究人力經驗及能力，並進一步開發相關業界應用分析技

術為目的，雖然相關服務收入有限，待相關分析應用成熟後，預估每年約有百萬元收入。

五、財源籌措

本計畫屬於科技發展計畫，應以行政院專案申請預算支應，70 MeV 中型迴旋加速器建立，引進新穎迴旋加速器技術，充份研製與生產醫用重要放射性同位素與核醫藥物，提供國內醫院需求，同時亦可利用此設施從事中子應用，推廣在半導體業、機械工業、航天工業、醫藥產業、國土安全工業和農業等領域之應用與服務，建立專用的模擬太空輻射試驗之設施及標準度量技術，培育輻射驗證人才，解決台灣太空元件輻射驗證設施能量不足的技术缺口，進而建立我國太空產業供應鏈，促進關鍵元件自主化，完善國內太空科技研究與產業發展所需基礎設施。本計畫規劃 4 年期(111~114 年)，所需經費為 1,544,735 千元，111 年度 234,035 千元、112 年度 467,260 千元、113 年度 347,140 千元、114 年度 496,300 千元。

六、資金運用

本計畫屬於科技發展計畫，應以行政院專案申請預算支應，資金運用於(一)建置迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室。(二)建置質子照射驗證分析國家實驗室。(三)建置中子應用研究國家實驗室。(四)土木工程建造及(五)系統工程等。

第(一)~(三)項係以由迴旋加速器主體及其射束線延伸至放射性同位素研製(照射靶站與鉛室)、質子照射驗證分析與中子應用研究等國家實驗室，迴旋加速器與照射靶站之界面為射束線終端，迴旋加速器與中子照射設施或質子照射設施之界面亦為射束線終端。

(一) 建置迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室：完成 70 MeV 迴旋加速器之安裝、測試。完成 4 條射束線安裝與測試。完成醫用放射性同位素研究靶室 1 間。

(二) 建置質子照射驗證分析國家實驗室：完成建置質子照射設施 1 間。完成質子束通量量化量測，並可於 10^9 至 10^{13} $\text{p}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ 間調變。完成建置質子束射程(能量)評估與劑量量測系統。

(三) 建置中子應用研究國家實驗室：；完成建立中子源，中子產率 $\geq 10^{15}$ n/s。完成快中子照相設施建置，鋼材檢測厚度 ≥ 5 cm。完成熱中子照相設施建置，符合 ASTM 標準。完成中子繞射設施建置，熱中子通率 $\geq 10^6$ n/cm²·s。

第(四)~(五)項主要為整廠實驗室之土木工程、機電與系統工程等建造以及輻射安全評估與系統可用度提升。包括完成館舍之新建工程，包含地盤改良、下部結構(基礎)工程、上部結構(屏蔽結構)工程、建築裝修、通風空調、儀電、機械設備、消防與公共設施等，並為響應節能減碳之目標及實踐綠建築政策，以及基於館舍屬公共建築物，依法設置無障礙設施。依據規劃與需求委由工程專案管理公司協助整體工程之營建管理，並於後續委託專業顧問公司或建築師進行設計與監造。完成館舍新建、輻射防護屏蔽、公用設施等之建置。完成輻射屏蔽分析、活化產物評估、人員劑量評估及輻防措施規劃與所界環境輻射劑量評估等，其中心建築物周邊最近道路的輻射劑量率小於 $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 。

七、結語

本計畫由核研所負責執行，70 MeV 中型迴旋加速器建立後，可引進新穎迴旋加速器技術，充份研製與生產醫用重要放射性同位素與核醫藥物，提供國內醫院需求，同時亦可利用此設施從事中子應用，推廣在半導體業、機械工業、航天工業、醫藥產業、國土安全工業和農業等領域之應用與服務，建立專用的模擬太空輻射試驗之設施及標準度量技術，培育輻射驗證人才，解決台灣太空元件輻射驗證設施能量不足的技术缺口，進而建立我國太空產業供應鏈，促進關鍵元件自主化，完善國內太空科技研究與產業

發展所需基礎設施。整體而言，70 MeV 中型迴旋加速器建立可創造穩定供應優質核醫藥物，以因應我國臨床醫療與個人化醫療需求。研發具有商業化潛力的新核種，應用於腫瘤治療與診斷，降低我國老年化社會日益增加之健康維護成本，並扶植業界進軍全球生技醫藥市場。加值我國太空科技、電子與半導體產業發展，並搶占國際市場大餅。提供國內業界發展尖端材料及組件等，開發高價值產品與進行品質驗證，提升我國產品出口競爭力。放眼未來更可支援量子材料與元件檢測、量子位元元件開發等新興科技之發展，為我國科技開拓新的應用領域。本 70 MeV 中型迴旋加速器建置案實具有不可取代性、前瞻性與創新性。