

113 年度政府科技發展計畫 績效報告 (D006)

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(2/4)

執行期間：

全程：自 112 年 01 月 01 日 至 115 年 12 月 31 日止

本期：自 113 年 01 月 01 日 至 113 年 12 月 31 日止

主管機關：核能安全委員會

執行機關：國家原子能科技研究院

(執行機關請列單位或機構，如司、處、局、所或法人等)

113 年度政府科技發展計畫審查意見辦理情形表(檔案上傳)

序號	審查意見	辦理情形

註：請下載格式後，以 word 軟體撰寫編輯，再轉存成未加密之 pdf 檔上傳至系統。

格式中灰色字體說明部份，請於完成編輯後自行刪除。

目 錄

【113 年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】	1
壹、總目標(系統填寫).....	3
一、緣起.....	3
二、總目標及其達成情形.....	3
三、主要工作項目推動具體成果(請填寫累積成果).....	15
貳、經費執行情形.....	17
一、全程經費(由系統加總).....	17
二、年度經費(由系統填寫).....	18
1.經費支用說明.....	19
2.經費實際支用與原規劃差異說明.....	19
參、成果之價值與貢獻度(請上傳累積成果)	20
肆、檢討與展望(請上傳累積成果)	29
一、計畫執行困難與因應對策	29
二、計畫執行可改善事項或後續可精進處	29
伍、其他補充資料(請上傳累積成果)	30
一、跨部會協調或與相關計畫之配合	30
二、大型科學儀器使用效益及共用分享機制說明	30
三、其他補充說明(分段上傳).....	31
附錄、細部計畫.....	32
一、全程架構及經費.....	32
二、年度執行摘要.....	33
附表、佐證資料表.....	39

【113年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】

審議編號	113-2001-04-30-01	
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 (2/4)	
主管機關	核能安全委員會	
執行機關	國家原子能科技研究院	
計畫類別	<input checked="" type="checkbox"/> 政策計畫 <input type="checkbox"/> 一般計畫 <input type="checkbox"/> 基礎研究	
重點政策項目	<input type="checkbox"/> 數位經濟與服務業科技創新 <input type="checkbox"/> 亞洲·矽谷 <input type="checkbox"/> 智慧機械 <input type="checkbox"/> 綠能產業 <input checked="" type="checkbox"/> 生醫產業 <input type="checkbox"/> 國防產業 <input type="checkbox"/> 新農業 <input type="checkbox"/> 循環經濟圈 <input type="checkbox"/> 晶片設計與半導體前瞻科技 <input type="checkbox"/> 文化創意產業科技創新 <input type="checkbox"/> 其他_____	
全程期間	112 年 1 月 1 日 至 115 年 12 月 31 日	
資源投入 (以前年度為決 算數，系統自 動帶入)	年度	經費(千元)
	112	191,817
	113	194,000
	114	449,230
	115	258,045
	合計	1,093,092
計畫摘要	<p>計畫總目標為：(1)建置 70 MeV 迴旋加速器與放射性同位素研製實驗室，包括加速器本體(含射束線)與氣固體靶站設施原廠製作、運送以及現場安裝測試驗收與訓練；(2)建置質子照射驗證分析實驗室，包括質子照射模擬分析平台與質子量化分析平台建置，以及質子射束(含準直器)建置與運轉測試，可量測質子能量 28~70 MeV、通率 $10^8 \sim 10^{12}$ p/(cm²·s)；(3)建置中子應用研究實驗室，包括建立可配合同位素生產質子射束操作條件的熱中子源靶站，以取得較多中子使用時間，並建立可進行材料內部觀測及分析判定之熱中子繞射設施；(4)完成輻射安全評估與完善加速器系統可用度提升作業，以及(5)完成土木工程建造與廠用系統設計及建置。前述第(1)~(4)項屬性為科技研發，第(5)項屬於公共建設。完成 70 MeV 迴旋加速器建置後，將有助於我國的基礎科研、生醫產業、太空及國防科技、半導體及材料產業等方面發展，並提供跨領域合作的平台。</p> <p>113 年之計畫年度目標包含以下五項：(1) 70 MeV 迴旋加速器、1 個</p>	

	<p>氣體靶站與 2 部固體靶站原廠製造進度與品質掌控；銅-225(Ac-225)同位素可行性評估，以使加速器建置計畫能如期完成；(2) 電子元件質子照射模擬技術，可達 90%均勻照射劑量與質子能量解析度小於 1.5 MeV；(3) 1 部快中子(> 1 MeV)靶站結構與工程設計與採購以及熱中子繞射之基礎功能設計；(4)完成細部設計之射源項模擬計算、輻射屏蔽分析與活化產物評估，完成輻安評估報告第 3、5 及 6 章，建立故障樹運跑模型，研究失效組合；(5)建築基地之地盤改良、地基開挖、基礎工程與屏蔽地基施作、地下室空間整建，以及廠用系統規格訂製(達總工程進度 45%)。</p>			
計畫連絡人	姓名	周○○	職稱	
	服務機關	國家原子能科技研究院		
	電話	(03)471-1400	電子郵件	○○@nari.org.tw

壹、總目標(系統填寫)

(計畫目標之呈現方式應與原科技計畫書一致,如實際執行與原規劃有差異或變更,應予說明;另績效報告著重實際執行與達成效益,請避免重複計畫書內容。)

一、緣起

二、總目標及其達成情形

1. 全程總目標：請在此依照計畫書簡要敘明計畫總目標，亦即總計畫之在期程內規劃達成的成果。(由系統帶入，不可修改)

本計畫規劃四年期程(112~115年)完成70 MeV迴旋加速器的建置，包括建立放射性同位素、質子照射驗證分析與中子應用3個專業實驗室；獲得廠館使用執照及迴旋加速器安裝許可。計畫內容包括：(1)完成迴旋加速器建置與放射性同位素實驗室建立；(2)完成質子照射驗證分析實驗室建立；(3)完成中子應用研究實驗室建立；(4)完成加速器各室之射源項模擬計算及輻射屏蔽分析與活化產物評估，完成輻安評估報告並通過核安會審查，獲得加速器安裝許可，優化加速器運維程序以及(5)完成迴旋加速器廠館建置。前述第(1)~(4)項屬於科技研發以及第(5)項屬於公共建設部分。

2. 分年目標與達成情形：請填寫為達成上述計畫總目標，各年度計畫分年目標及其達成情形。

年度	目標 (當年度由系統帶入， 不可修改)	預期關鍵成果 (當年度由系統帶入， 不可修改)	年度計畫目標達成情形(含重大 效益)
112年	O1: 70 MeV 迴旋加速器 及 1 部氣體靶站與 2 部固體靶站之採購案 合約簽訂。	O1KR1: 完成 70 MeV 迴旋加 速器採購合約簽訂。 規格為質子能量範 圍需涵蓋 28 ~ 70 MeV，最大電流 ≥ 1 mA。 O1KR2: 完成 70 MeV 迴旋加 速器固體靶系統採 購合約簽訂，規格為 可承受最大質子能 量 ≥ 70 MeV，可承受 最大電流 ≥ 500 μ A。 O1KR3:	1. 完成加速器運轉 人員訓練與考證 (共 3 名人員取得 運轉證照)。 2. 完成開發中子及 加馬輻射監測儀 原型機各一台。 3. 取得 Best 公司加 速器製造之證照 與符合國際規範 之證明文件，如 ISO 9001、ISO 13485 等。 4. 完成「70 MeV 迴 旋加速器放射性

		<p>完成 70 MeV 迴旋加速器氣體靶系統採購合約簽訂，規格為可承受最大質子能量≥ 30 MeV，可承受最大電流≥ 100 μA。</p>	<p>同位素相關實驗室規劃設計」研究報告(報告編號:NARI-17264)。</p> <p>5. 召開 4 次[70 MeV 迴旋加速器協驗會議]，依三方會議結論討論細設需異動項目，包含:(1)網路接點數量、(2)插座數量、(3)穿牆孔位置、(4)各式輻射偵檢器配置、(5)鉛室規格與配置、(6)廢水管路與儲存設計、(7)氣固體靶傳送管路、(8)空調設備流向、(9)負壓配置與空氣流向、(10)冰水與冷卻水管路流向，持續更新追蹤。</p> <p>6. 出國公差報告分享 2023 EANM 大會報導:(1)「以加速器方式研製 Ac-225 方式」；(2)「Cu-67/Cu64 診斷治療何種配對組合」；(3)實地參訪全球三大鉛室原廠 comecer、TEMA 公司及 INFN-LNL 研究機構，可作為計畫後續新核種研發之參考。</p>
	<p>O2: 質子照射模擬分析平台與射束定位系統設備組裝與測試，監測質子電流範圍達 1 nA ~100 nA，以及射束穩定性監測系統量測範</p>	<p>O2KR1: 完成質子照射模擬分析平台與射束定位系統設備組裝與測試，於 30 MeV 迴旋加速器執行驗證，設備監測質子總輸出電流範圍達 1 nA</p>	<p>1. 完成質子照射驗證分析實驗室 4 個功能區規劃設計，含質子射束標準計量、單點、掃描照射及複合式太空環境模擬測試區，並提交各功</p>

	<p>圍大於 3 cm 直徑與訊雜比大於 50 倍。</p>	<p>~100 nA。 O2KR2: 完成射束穩定性監測系統組裝，於國家游離輻射標準實驗室執行測試，量測範圍至少 3 cm 直徑，訊雜比 50 倍以上。</p>	<p>能區平台架設規劃資料進行輻防評估計算。</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 依 70 MeV 土建 1F 圖面，完成第一階段質子照射分析實驗室所需水電、空調、接地、配線、網路、控制、排水、開門動線、穿越孔等需求規劃，後續將配合土建項目進行細部規劃審查作業。 3. 於 30 MeV 迴旋加速器平台完成 0.1~106 nA 質子電流輸出計測試驗，評估質子通率範圍約在 $5E7\sim 1E11$ [p/(cm²·s)]之間，確認質子射束監測電流可達 0.1 nA 挑戰目標。 4. 完成射束穩定性監測系統設計與測試，其量測範圍達 5 cm 直徑，訊雜比評估已達 100 倍的挑戰目標。另於國家游離輻射標準實驗室完成直線加速器電子照射系統整備與訊號連線測試。 5. 建立質子射束線審查能力，因應質子照射驗證分析實驗室選向磁鐵組 (4-way switching) 射束模擬資訊，評估 A3 射束可在出口端下游 2 m 內，維持質子射束徑約為
--	--------------------------------	--	---

			30 mm，質子射束標準差 σ 約為 5 mm。
O3: 1 部快中子靶站、1 部熱中子靶站 (中子產率可達大於 10^{14} n/s, 70 MeV/1 mA)設計及熱中子繞射儀器的整體規劃及基礎設計。	O3KR1: 完成 1 部快中子靶站與 1 部熱中子靶站中子產率可達大於 10^{14} n/s, 70 MeV/1 mA)設計，以及熱中子繞射儀器的整體規劃及基礎設計，完善中子實驗室細部規範。 O3KR2: 完成中子靶站之中子能譜與產率計算與分析，模擬及優化靶站中子效能。	1. 完成「參訪德國 JCNS 中子研究中心及參加第十屆緊湊型加速器中子源國際會議出國公差報告」一份，收集許多國際中子源的發展方向與商業市場趨勢，並成功與世界各國主要中子源的計畫或單位負責人建立國際中子人際網絡，有利於本院中子計畫之發展。 2. 熱中子靶站 MCNP 程式模擬涉及許多變數與參數，目前已完成基礎版，大多數的變數與參數都已收斂與聚焦，目前已開始進行優化。	
O4: 完成加速器本體室及各靶室與照射室之射源項計算及主屏蔽分析，蒐集研析加速器廠商運轉維護資料，建立數據分析模擬基礎。	O4KR1: 建立加速器廠館各室射源項中子與光子能譜計算模式，完成 1 份國際研究案例驗證。 O4KR2: 建立加速器廠館主屏蔽計算模式與參數，符合設施輻安需求。 O4KR3: 訪談國內迴旋加速器應用機構及代理廠商運維經驗，蒐集與研析運轉維護經驗和系統設計文件，執行失效模式與效應分析，撰寫研究報告至少 1 篇。	1. 完成加速器室、同位素氣體與固體靶室及射束線洩漏等屏蔽分析所需之射源項計算，提供後續屏蔽分析的重要依據。 2. 完成 Ar-41 濃度計算國際案例驗證報告，結果顯示我們的計算結果與參考文獻在質子能量小於 400MeV 時是一致的，證明我們採用的計算方法可適用於 70 MeV 迴旋加速器。	

	<p>O5: 委託工程顧問公司簽約執行地質調查以及迴旋加速器廠館土木工程與廠用系統細部規劃設計、完成建造工程採購發包，以及取得開工前建造執照(占總工程之20%)。</p>	<p>O5KR1: 委託工程顧問公司簽約執行地質調查以及迴旋加速器廠館土木工程與廠用系統細部規劃設計(占總工程之10%)。</p> <p>O5KR2: 完成建造工程採購發包(占總工程之5%)。</p> <p>O5KR3: 取得開工前建造執照(占總工程之5%)。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案基本設計報告經原能會及工程會核定。與加速器廠家澄清加速器及相關設備之配置規劃與設計，並於112年9月完成細部設計。 2. 歷經2次流標，考量市場行情後於12月第3次上網公告，惟仍於113年1月第3次流標，後再次評估訪傷並修訂招標文件，最終於113年4月26日第5次招標決標。 3. 台北市結構工程工業技師公會核可特殊結構審查申請。已於113年1月取得建造執照。
<p>113年</p>	<p>O1: 70 MeV 迴旋加速器、1部氣體靶站與2部固體靶站原廠製造進度與品質掌控；Ac-225 同位素可行性評估。</p>	<p>O1KR1: 加速器原廠製造進度與品質掌控，廠商完成70 MeV 迴旋加速器主要組件的設計購置並執行製造。原廠提供品質設計製造進度報告至少1份。</p> <p>O1KR2: 固體靶原廠製造進度與品質掌控，廠商完成固體靶站系統主要組件的設計購置並執行製造。原廠提供品質設計製造進度報告至少1份。</p> <p>O1KR3: 氣體靶原廠製造進度與品質掌控，廠商完成氣體靶站主要組件的設計購置並</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加速器製造進度達95%，核心設備(主磁鐵、真空系統、射頻系統、離子源系統、控制系統)均已100%完成。Best公司於11月20日提交下半年製造進度報告，並於12月15日經同位素所審查核可。 2. 已完成固體靶站主要組件的設計、採購與製造進度追蹤，並完成鉛室細部規格制定及配置規劃，取得兩家以上廠商詢價，並與三家鉛室廠商洽詢。

		<p>執行製造。原廠提供品質設計製造進度報告至少 1 份。</p> <p>O1KR4: 完成 Ac-225 同位素研製可行性評估。提供 Ac-225 同位素研製可行性評估報告至少 1 份。</p>	<p>3. 完成加速器運轉人員訓練與考證(共 2 名人員取得運轉證照)。</p> <p>4. 完成 Ac-225 產製方式及市場評估，並撰寫三份所內報告並通過審查。另外與歐盟 JRC、美國 DOE 等具有產製 Ac-225 能力之研究單位建立聯繫，美方表示目前只有 Brook Heaven National Lab 用 Cyclotron 研製 Ac-225，比較有機會跟我方合作。但美方所用的加速器照射規格為 150 MeV，與我方 70 MeV 顯著不同。已請美方協助建立與相關國家實驗室之聯繫管道，尋求放射性同位素研究之合作機會。</p>
	<p>O2: 電子元件質子照射模擬技術可達 90% 均勻照射劑量與質子能量解析度小於 1.5 MeV。</p>	<p>O2KR1: 建立電子元件質子照射模擬技術，30cm×30cm 範圍內，可達質子照射劑量均勻性達 90%。</p> <p>O2KR2: 完成涵蓋 28~70 MeV 範圍之質子射程(能量)量測系統組裝，於 30 MeV 迴旋加速器執行測試，能量解析度達 1.5 MeV 以下。</p>	<p>1. 建立單點質子照射模擬程序，於 30 MeV 迴旋加速器場域，執行多點質子照射模式測試驗證。可定位 16 組測試區塊，並於遠端遙控樣品執行質子照射。</p> <p>2. 完成質子照射測試平台建置與程式開發，並執行性能測試。整合單點照射、自動掃描與均勻度驗證模式，於國原院 30 MeV 迴旋加速器場域，採用 EBT3 膠膜進</p>

			<p>行 30 cm x 30 cm 範圍質子掃描照射試驗，實測結果顯示質子累積通量均勻性達 93%。</p> <p>3. 完成質子射程(能量)EBT3 評估系統之概念機研發，其對應極限能量解析度達 1 MeV 以下，符合 113 年度計畫挑戰目標，且具可偵測射束能量分布優勢，並完成 30 MeV 迴旋加速器測試。</p>
O3:	<p>1 部快中子(>1 MeV) 靶站結構與工程設計與採購、1 部熱中子靶站(28.5 MeV/ 0.5 mA)設計以及熱中子繞射之基礎功能設計。</p>	<p>O3KR1: 完成快中子 (>1 MeV)靶站結構及工程設計與採購案。完成快中子靶站結構及工程設計報告至少 1 份。</p> <p>O3KR2: 完成熱中子繞射之基礎功能設計。完成熱中子繞射儀基礎設計報告至少 1 份。</p>	<p>1. 完成快中子靶站之結構及工程設計，已採購中子靶站用之鈹靶及屏蔽用高密度聚乙烯，並以放電切割法進行試加工製作，完成一套中子離形靶，相關設計及其輻防評估所需資訊，彙整成研究報告 1 份 (NARI-17711)。</p> <p>2. 完成熱中子繞射儀之 McStas 程式光路設計計算報告 1 份。(審核中)</p> <p>3. 完成熱中子實驗室附屬設施之概念設計報告 1 份 (編號 NARI-47692)。</p>
O4:	<p>完成細部設計之射源項模擬計算、輻射屏蔽分析與活化產物評估，完成輻安評估報告第 3、5 及 6 章，建</p>	<p>O4KR1: 完成細部設計之射源項模擬計算與分析，完成輻安評估報告第 3 及 5 章。</p> <p>O4KR2: 完成細部設計屏蔽分析計算、活化產物</p>	<p>1. 完成 70 MeV 迴旋加速器放射性物質生產設施與高強度輻射設施兩份輻射安全評估報告，並送核安會審查。</p>

	<p>立故障樹運跑模型，研究失效組合。</p>	<p>輻射計算以及人員劑量評估，完成輻安評估報告第3、5及6章。</p> <p>O4KR3: 解析迴旋加速器各系統組件及其關聯性，建立系統故障樹運跑模型，研究可能失效組合，並解析前述結果，撰寫研究報告至少1篇。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 2. 回覆兩份輻安評估報告第一次核安會審查意見共275個問題，強化輻安評估報告內容。 3. 整合迴旋加速器設計圖文件、系統與輔助系統故障樹運跑模型資料完成「迴旋加速器系統故障樹與失效組合分析」研究報告 (NARI-17816)。
	<p>O5: 建築基地之地盤改良、地基開挖、基礎工程與屏蔽地基施作、地下室空間整建，以及廠用系統規格訂製(占總工程之25%)。</p>	<p>O5KR1: 完成建築基地之地盤改良(占總工程之5%)。</p> <p>O5KR2: 完成地基開挖、基礎工程與屏蔽地基施作(占總工程之10%)。</p> <p>O5KR3: 完成地下室空間整建(占總工程之5%)。</p> <p>O5KR4: 完成廠用系統規格訂製(占總工程之5%)。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成獨立工區及周邊替代行車動線安排，完成五大管線申請與樹木之移植等施工前置作業，並於113年10月完成地盤改良(接地工程)作業。 2. 完成土方開挖及內運作業，及周邊圍籬警示，並鋪設防塵網覆蓋土方，確保環境整潔及安全。完成大底防水工程與大底基礎無筋混凝土(PC)澆置作業。進行基礎版(地樑)鋼筋綁紮工程。 3. 依第一次變更設計需求，針對地下室厚牆、版、梁之鋼筋間距進行調整及相關圖說修訂，以利後續加速器及其相關系統設備之穿越管工項施作。 4. 配合70 MeV加速

			器系統運轉需求完成設計變更，設計變更成果經本院機械所、同位素所及院內審查委員書審同意，並於113年11月11日以國原機字第1130009370號函函復設計單位圖說審查通過。
114 年	<p>O1: 70 MeV 迴旋加速器及 1 部氣體靶站與 2 部固體靶站交運；鉛室購置與 Cu-67 同位素可行性評估。</p>	<p>O1KR1: 完成 70 MeV 迴旋加速器軟硬體全系統製造並交運至國原院。並完成 3 人以上之運轉人員駐廠訓練。</p> <p>O1KR2: 完成固體靶站系統製造並交運至國原院。</p> <p>O1KR3: 完成氣體靶站系統製造並交運至國原院。</p> <p>O1KR4: 完成 GMP 鉛室組採購合約簽訂與 Cu-67 同位素研製可行性評估，提供 Cu-67 同位素研製可行性評估報告 1 份。</p>	-
	<p>O2: 建立質子量化分析技術與劑量分布量測系統之量測範圍可達水平面大於 5 cm 直徑與軸向大於 10 cm 深度。</p>	<p>O2KR1: 參考 ESCC25100 規範，建立質子量化技術，可執行 28~70 MeV 質子計量(能量與通量率)。</p> <p>O2KR2: 完成質子劑量分布量測系統裝置組裝，於國家游離輻射標準實驗室執行測試，量測範圍水平面至少 5 cm 直徑與軸向至少 10 cm 深度。</p>	

	<p>O3: 1 部熱中子繞射平台與 1 部熱中子靶站之細部及工程設計與採購。</p>	<p>O3KR1: 完成熱中子繞射分析平台的細部及工程設計，與採購案，建立與國際加速器中子源同等級中子繞射設施。完成熱中子繞射儀細部及工程設計報告至少 1 份。</p> <p>O3KR2: 完成熱中子靶站的細部及工程設計，並執行採購案，可達到與國際間同等級加速器中子源的效能與服務。完成熱中子靶站的細部及工程設計報告至少 1 份。</p>	
	<p>O4: 完成協助輻安評估報告通過核安會審查，解析 70 MeV 迴旋加速器運維數據結果，識別系統潛在弱點。</p>	<p>O4KR1: 完成加速器廠館各室活化分析所需之射源項計算報告至少 1 份。</p> <p>O4KR2: 進行設施與設備中子活化分析，計算結果需完整涵蓋後續輻射劑量分析需求，撰寫研究報告至少 1 份。</p> <p>O4KR3: 完成輻安評估報告相關章節，且輻安評估報告通過國原院審查與取得迴旋加速器安裝許可。</p> <p>O4KR4: 綜整迴旋加速器原廠設計各系統與設備之維護保養計畫；估算迴旋加速器系統組件失效率，識別潛在弱點，撰寫研究報告至少 1 篇。</p>	
	<p>O5: 迴旋加速器支撐基座施工、屏蔽牆、屏蔽</p>	<p>O5KR1: 完成迴旋加速器支撐基座施工(占總工程</p>	

	樓板、屏蔽屋頂施工，以及廠用系統安裝(占總工程之 35%)。	之 5%)。 O5KR2: 完成屏蔽牆、屏蔽樓板與屏蔽屋頂施工(占總工程之 25%)。 O5KR3: 完成廠用系統進廠安裝(占總工程之 5%)	
115 年	O1: 完成迴旋加速器與放射性同位素實驗室建立，包括 70 MeV 迴旋加速器(含 4 條射束線)、1 部氣體靶站與 2 部固體靶站及 1 部鉛室現場安裝測試與驗收；Tl-201 與 I-123 放射性同位素製程準備。	O1KR1: 完成 70 MeV 迴旋加速器安裝測試，驗收條件包含： (1)單射束測試，28 與 70 MeV，200 μ A，至少維持 2 小時。 (2)雙射束測試，70 MeV，1,000 μ A，至少維持 2 小時。 O1KR2: 完成固體靶安裝測試，驗收條件包含： (1)以 70 MeV，500 μ A 執行照射測試，至少維持 2 小時。 (2)以 28 MeV，500 μ A 執行 Tl-201 生產測試，產率和純度須符合國原院規格。 (3)完成 GMP 鉛室安裝測試。 O1KR3: 完成氣體靶系統安裝測試，驗收條件包含：以 30 MeV，100 μ A 執行 I-123 生產測試，產率和純度須符合國原院規格。	-
	O2: 完成質子照射驗證分析實驗室建立，包括質子射束建置與整合運轉測試，可量測質子能量 28~70 MeV、	O2KR1: 整合質子照射模擬、量化分析平台及質子射束運轉測試，可量測質子能量 28~70 MeV、通率 $10^8 \sim 10^{12}$	

<p>通 率 $10^8 \sim 10^{12}$ p/(cm²·s)，符合驗證規範。與射束調控組件模擬模型建立報告 1 份，不確定度小於 5%。</p>	<p>p/(cm²·s)，符合驗證規範。 O2KR2: 完成 70 MeV 質子量測標準射束調控組件模擬模型建立報告 1 份，不確定度小於 5%，以及測試區劑量初測。</p>	
<p>O3: 完成中子應用研究實驗室建立，包括 1 部熱中子繞射平台及 1 部熱中子靶站之製造、現地組裝與功能測試。</p>	<p>O3KR1: 完成熱中子靶站的製造並交運至國原院現地組裝測試，確認操作及功能正常，為熱中子繞射平台及後續中子技術研發提供服務。 O3KR2: 完成熱中子繞射平台的製造並交運至國原院現地組裝與功能測試，並完成繞射平台操作維護人員訓練最少 1 人。</p>	
<p>O4: 取得加速器安裝許可，優化 70 MeV 迴旋加速器運維程序。</p>	<p>O4KR1: 根據 70 MeV 迴旋加速器未來應用規劃，建立加速器運轉妥善率管控與維護程序書，優化運維作業流程，撰寫研究報告至少 1 篇。</p>	
<p>O5: 完成屏蔽門及公共設施興建、廠用系統建置、試運轉作業與驗收，以及館舍使用執照、綠建築標章，與智慧建築標章取得(占總工程之 20%)。</p>	<p>O5KR1: 完成屏蔽門及公共設施興建(占總工程之 10%)。 O5KR2: 完成廠用系統建置、試運轉作業與驗收(占總工程之 8%)。 O5KR3: 館舍使用執照、綠建築標章，與智慧建築標章申請取得(占總工程之 2%)。</p>	

註：年度計畫目標達成情形（含重大效益）請依目標簡要說明進展或重要成果。若有未達成、未完全達成或其他需要說明或圖示之處，請於下方填寫。

說明：

1. 本院配合加速器廠館興建時程，要求廠商迴旋加速器交貨至院時間由 114 年 3 月調整至 114 年 10 月，因此 Best 公司 70 MeV 迴旋加速器工廠端組裝測試(FAT)順延至 114 年出貨前完成。

三、主要工作項目推動具體成果(請填寫累積成果)

1. 加速器本體總製作進度已完成約 95%(主要設備如主磁鐵、真空系統、射頻系統、離子源系統、以及控制系統等皆已 100%完成)。
2. 加速器廠商 Best 公司於 113 年 11 月 20 日完成並提供下半年 70 MeV 迴旋加速器製造進度報告書 1 份，同位素所已於 12 月 15 日完成審查核可。
3. 完成加速器運轉人員訓練與考證(共 2 名人員取得運轉證照)。
4. 完成開發並自製 10 台中子及 5 台加馬輻射監測儀，未來具備商業販售之潛力。
5. 完成開發輻射監測系統程式，測試錄影畫面顯示 1.8 秒完成擷取 50 台監測儀即時量測數據與畫面更新，確保 70 MeV 廠館輻射安全與監控。
6. 完成加速器組件製作進度追蹤，以及 114 年加速器設備交運至國原院暫存地點之評估。
7. 完成氣體靶及固體靶鉛室細部規格制定及鉛室配置規劃，並洽詢三家鉛室廠商與取得兩家廠商詢價。
8. 完成氣體靶及固體靶製作進度追蹤，彙整 70 MeV 及 30 MeV 之固體靶設計與完成氣體靶研製 I-123 同位素方法之比對。
9. 配合土建進度成立同位素所細設協驗小組，於(1)5/31 完成設計圖面變更內容彙整與上簽，並於 12 月 16 日完成「高精度管線放樣施工計畫」審查。
10. 完成新同位素 Ac-225、Cu-67 產製方式及市場評估，並依靶材及產製方式完成 Ac-225 研製三份所內報告，皆已取得所號，配合新同位素研製，於 9-10 月至 016 館及 014 館勘查廠館與設備現狀，本勘驗選擇的評估報告已發表在研究報告【使用國家原子能科技研究院迴旋加速器生產銅-225 之可行性評估】(NARI-17924)中，並於 12 月 13 日辦理廠館交接。
11. 113 年 6 月已與歐盟 JRC 及美國 DOE 旗下從事 Ac-225 產製的單位取得聯繫，對方明確說明靶材取得不易。12 月初赴台美會議，進一步與相關單位美方代表說明 Ac-225 未來開發及使用方向，並藉由會議討論是否有機會取得相關原料。回台後，張副所長透過電子郵件向世界同位素委員會主席致謝，表達對其介紹能源部附屬實驗室實習及合作機會的感謝，並希望保持聯繫以探索合作。世界同位素委員會主席回覆表示，已與橡樹嶺國家實驗室的國家同位素開發中心(NIDC)聯繫，並在其建議下正與美國能源部同位素研發和生產辦公室主任接洽，以尋求能源部內部協調指導。
12. 1 月 30 日至 10 月 25 日進行 6 場次同位素研製領域之學術訓練演講，彙整國內外 Ac-225, Cu-67, Cu-64, Ge-68, I-123, Lu-177 等同位素研製方法評估比較與市

場概況，提供產製評估，講題包含：(1)Ac-225 國際市場需求與產值/利用加速器照射鈷-232/鐳-226 靶製備 Ac-225；(2)Cu-67 及 Cu-64 國際市場需求、產值與產製及純化分析方法；(3)Ge-68 國際市場需求、產值與產製及純化分析方法/Ge-68/Ga-68 發生器原理與產製；(4)迴旋加速器降能產製 Ga-67 設計 Ge-68 國際市場需求、產值與產製、純化分離方法；(5)鈾-225 放射性同位素研製之靶設計與評估/I-123 氣體靶站設計(70 MeV 迴旋加速器)；(6)Lu-177 產製介紹(反應器與迴旋加速器)。

13. 完成質子射程(能量)EBT3 評估系統概念機研發，可評估能量涵蓋 28-70 MeV，引用本院自行開發之蒙地卡羅資料庫(作用物質：水、銅、石墨)。該系統完成 9 MeV 直線加速器電子與 30 MeV 迴旋加速器質子照射驗證，整體能量差異為 0.3 MeV 以下。另於長庚醫院第五實驗室進行 70 MeV 質子射束實測，其對應極限能量解析度達 1 MeV 以下挑戰目標，且具備偵測射束能量分布潛在優勢，可用於射束特性確認與品保，具優異性價比與便利性。
14. 以進階的微流道水冷設計，成功解決中子靶站的高熱沉積問題(最大~1.6 kW/cm²)，在入射質子為 28.5 MeV、500 uA、半高寬 3.0 cm，微流道的直徑 400 um、進水速度 5 m/s 等條件下，數值分析結果顯示鈹靶的最高溫度僅 165°C，遠低於熔點 1278°C。

貳、經費執行情形

一、全程經費(由系統加總)

單位：千元；%

總預算數 (A)		總實支數 (B)	總節餘數 (C)	總執行數 (D=B+C)	達成率(%) (E=D/A)		
1,093,234		217,208	142	217,350	19.88		
各年度	預算數 (F)	實支數 (G)	節餘數 (H)	保留數 (I)	年度執行數 (J=G+H)	年度達成率(%) (K=J/F)	決算數 (G+I)
112	191,959	159,129	142	32,688	159,271	82.97	191,817
113	194,000	58,079	0	135,921	58,079	29.94	194,000
114	449,230	0	0	0	0	0	0
115	258,045	0	0	0	0	0	0

二、年度經費(由系統填寫)

單位：千元；%

	113 年度						備註
	預算數 (a)	初編決算數			節餘數(e)	執行率 (d/a)	
		實支數 (b)	保留數 (c)	合計 (d=b+c)			
總計	194,000	58,079	135,921	194,000	0	100	
一、經常門小計	30,035	28,392	0	28,392	0	94.53	
(1)人事費							
(2)材料費							
(3)其他經常支出							
二、資本門小計	163,965	29,687	135,921	165,608	0	101	
(1)土地建築							
(2)儀器設備							
(3)其他資本支出							

註：

1. 初編決算數：因績效報告書繳交時，審計機關尚未審定 113 年度決算，故請填列機關初編決算數。
2. 實支數：係指工作實際已執行且實際支付之款項，不包含暫付數。
3. 保留數：係指因發生權責關係經核准保留於以後年度繼續支付之經費。
4. 預算數：原則填寫法定預算數，如立法院尚未通過總預算，則填寫預算案數。
5. 執行率：係指決算數佔預算數之比例
6. 節餘數：係指執行政府節約措施、辦理招標、匯率變動或工程完工，致經費節餘未辦理保留者。

1. 經費支用說明

(請簡扼說明各項經費支用用途，例如有高額其他經費支出，宜說明其用途；或就資本門說明所採購項目及目的等。)

- (1) 本年度編列經常門業務費 30,035 千元，估計畫總經費 15.48%。主要用途為支應計畫執行所需之實驗物品材料、設備設施維護、水電清潔、國內外公差、委託學術單位研究等費用。累計至 113.12.31 執行率為 94.53%。
- (2) 本年度編列資本門設備費 163,965 千元，估計畫總經費 84.52%。主要用途為支應購置計畫執行所需之機器設備，資訊軟體設備、系統開發費、雜項設備費。包含保留數 135,921 千元，累計至 113.12.31 執行率為 101%、保留數 135,921 千元係「70 MeV 迴旋加速器及其附屬設備之採購」案落後。
- (3) 本年度預算累計至 113.12.31 合計執行率(實支數+保留數)/預算數)為 100%。

2. 經費實際支用與原規劃差異說明

(如有執行率偏低、保留數偏高、經費門流用比例偏高等情形，均請說明。)

「70 MeV 迴旋加速器及其附屬設備之採購」(805,554 千元)：加速器採購案依計畫時程原規劃於今(113)年 8 月完成「加速器組裝」及 12 月完成「工廠端測試」後需分別支付 73,385,000 元(10%款項)及 36,692,500 元(5%款項)，因配合加速器廠館興建時程，本院要求迴旋加速器交貨至院時間由 114 年 3 月調整至 114 年 10 月，故延至明(114)年第二季完成後再支付組裝與工廠端測試共 15%款項。為因應支付期程調整，113 年需支付 15%的貨款已辦理預算保留至 114 年，待確認廠商完成組裝與工廠端測試後付款。

參、成果之價值與貢獻度 (請上傳累積成果)

(請說明計畫執行至今所達成之主要成果之價值與貢獻，亦即請填寫起始年累積至今之主要成就及成果之價值與貢獻度。)

一、學術成就(科技基礎研究)

1. 完成「BEST 70p 迴旋加速器原廠出國行前訓練報告」研究報告(NARI-I0021)，本報告主要作為人員赴原廠行前教育訓練，報告共分為 19 個章節，內容涵蓋加速器的基本構造、運作原理、主要組件的功能與維護方法、操作流程、安全規範以及常見故障的排除方法等，不僅有助於提升原廠培訓的效率，也能確保人員在返回國內後，能夠迅速投入實際運轉。
2. 完成「皮膚吸收中子劑量之理論模式與程式應用」研究報告(NARI-17975)，本報告針對不同中子源如自發裂變源、阿爾法反應源與光中子源的劑量模擬結果，研究提供了可靠的計算工具，有助於在輻射防護與操作人員劑量控制中進行精確評估。本報告有助於未來加速器運維人員在輻射場所作業前，能夠更精確地預先進行中子劑量計算與維修作業時間評估，以保護作業人員之安全。
3. 完成期刊論文「A simple energy degrader design method assisted by SRIM」，內容主要探討如何藉由 SRIM 與 Solidworks 軟體的協助預測降能器之降能物質的厚度，並以實驗檢驗預測結果，已投稿於“Nuclear Engineering and Technology”期刊(IF: 2.6)，目前期刊編輯進行審閱中。
4. 完成期刊論文「Artificial Isotopes Produced from Proton Irradiated Liquid Targetry for Force Field Study」，本文主要研究加速器照射液體靶生成銅-67、銅-64 和氟-18 放射性同位素應用於力場分析，內容涵蓋液體靶的基本構造、照射生成的放射性同位素與化合物結合後，作用於新發現之蛋白的力場關係，探討放射分子作用於蛋白胜肽中的氨基酸之氫鍵與凡得瓦力的關聯性，已投稿於“Journal of Medical and Biological Engineering”期刊(IF: 1.6)，目前期刊編輯進行審閱中。
5. 完成「銅-225 放射性同位素研製之靶設計與評估」研究報告(NARI-17639)，內容以強弱危機分析(SWOT)為架構，波特五力為要素的交叉評估分析結果，顯示迴旋加速器質子束研製銅-225 宜以鐳-226 為靶物質之製程作為短程發展目標；中程則為同步結合鐳-226 製程與鈷-232 之靶技術製程發展；而整合鈷-232 靶技術程序到其製程發展於研製銅-225 核種為長程方向。
6. 完成「加速器生產銅-225 同位素技術比較研究」研究報告(NARI-17639)，報告內容彙整並比較國際研究機構利用各式加速器設施轟擊 232 鈷或 226 鐳靶，製備同位素銅-225 應用於標靶治療癌症藥物，做為本所未來產製醫藥級同位素銅-225 參考。
7. 完成「使用國家原子能科技研究院加速器生產銅-225 之可行性評估」研究報告(NARI-17924)，報告內容評估本院若要發展以加速器照射靶材後生產銅-225 之方式，應以 30 MeV 加速器設施照射鐳-226 靶材的製程以及純化技術作為首要的發展方向。70 MeV 加速器照射鈷-232 靶材後將伴隨長半衰期銅-227 的不純物產生，除後續分離純化步驟相當繁瑣外，且涉及敏感技術議題，發展鈷-232 靶材為主的照射技術程序可以列為較為後期的方向。
8. 完成「70 MeV 館舍細部設計之水路設計彙整」研究報告(NARI-17919H)，本報告紀

錄 112 年 10 月世○公司「核定版第四次公告圖面設計」中，關於「70 MeV 中型迴旋加速器館舍排水設備含管路設計」經同位素所審閱後彙整變更項目，以及「細部設計第一次變更圖面設計」審閱結果，以供後續相關人員參考。

9. 完成「70 MeV 固體靶製造進度報告」研究報告(NARI-17820R)，報告內容包含 Best 公司固體靶製作進度，並彙整 30 MeV 與 70 MeV 之固體靶差異比對。
10. 完成「70 MeV 氣體靶製造進度報告」研究報告(NARI-17893R)，報告內容包含 Best 公司氣體靶製作進度，並彙整 30 MeV 與未來 70 MeV 之氣體靶產製 I-123 方式之差異比對。
11. 計畫衍生之質子射束調控設計研究：Mini-ridge filter designs for conformal FLASH proton therapy 已被 SCI 學術期刊 Radiation Physics and Chemistry 接受，並獲得刊登 (Radiation Physics and Chemistry. 2024, vol:224 , Article 112017)(IF: 2.8)。
12. 完成「用於調整質子束能量之降能器結構專利分析」研究報告(NARI-17786)，因應質子照射技術應用，建立質子射束能量調整平台，進行降能器結構專利分析。
13. 完成「掃描式質子照射操作程序書」研究報告(NARI-OM-2925R)，因應大範圍電路模組質子照射需求，以現有迴旋加速器質子射束架構，開發 30 cm×30 cm 範圍掃描是質子照射測試平台，可直接應用於 70 MeV 中型迴旋加速器質子照射驗證分析實驗室。
14. 完成「質子監測儀之系統設計與測試報告」研究報告(NARI 論著系統審核中)，為射束穩定性監測系統設計、組裝與測試，未來後端可整合計量量測系統，調整射束變化的影響，作為校驗技術之立基。
15. 完成「70MeV 質子射程(能量)評估系統驗證之前置研究—直線加速器 9MeV 電子蒙地卡羅系統建立」研究報告(NARI-17911H)，因應自顯式輻射聚合底片(Gafchromic film，型號：EBT3)作質子射程(能量)評估系統偵檢端之方法驗證，利用蒙地卡羅模擬程式 BEAM 建置直線加速器 9 MeV 電子射束之模擬平台，以獲得射束射程與能量的相對應資料，提供系統開發使用。
16. 在 2024 中子年會上發表 Evaluating Activation and Decay of Electronic Devices under Fast Neutron Exposure for Soft Error Rate Testing using Monte Carlo Simulation 一篇海報論文，此研究分析了原子序 Z=1~70 等 70 種元素，在 1~70 MeV 快中子能量經 $1E+12$ n/cm² 照射後，各元素的活度與表面劑量率隨冷卻時間的變化情形，為快中子照射測試安全操作之參考依據。
17. 完成「70MeV 快中子源輻防評估之 PHITS 蒙地卡羅計算(NARI-17711)」，本報告包含快中子靶站之配置、操作參數與相關設計，計算照射區的中子能譜與中子通率，並提供輻射安全評估所需的資訊。
18. 完成「28.5 MeV/500 uA 中子鈹靶之微流道散熱數值模擬 (NARI-17788)」，本報告使用 COMSOL 軟體進行數值模擬，在入射質子 28.5 MeV、500 uA、半高寬 3.0 cm、微流道直徑 400 um、進水速度 5 m/s 等條件下，鈹靶的最高溫度可控制在 <165°C，遠低於熔點 1278°C，確認設計可行。
19. 完成「中子繞射儀相對光強度與繞射圖譜半高寬計算(NARI-17633)」研究報告一篇，彙整中子繞射儀之光強度與繞射圖譜計算結果，影響儀器解析度與應用範圍，提供

儀器配置規格決策所需資訊。

20. 完成「中子繞射儀元件設計—雙軸聚焦單能儀聚焦計算與輔助程式開發(NARI-17632)」研究報告一篇，主要為計算雙軸聚焦單能儀之中子光路與能譜選擇，評估元件設計可提供之實驗條件。
21. 針對 70 MeV 迴旋加速器熱中子設施規劃與設置，完成一篇會議論文「The cyclotron-based neutron sources and projects at NARI」並於 2024 年 6 月刊登於 EPJ Web of Conference, UCANS-10。(會議為 10th International Meeting of the Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources)
22. 完成「國家原子能科技研究院雙功能中子源失效原因調查」，調查原先預測雙功能中子源靶站(BNS)系統可以在 25 MeV、100 μ A 的質子射束條件下穩定地運轉，但 BNS 在試運轉測試時鈹靶於 90 μ A 時燒毀，為了瞭解系統失效原因我們以 Ansys Fluent 軟體進行了冷卻系統的熱流分析，並提供了改善方案，此外以 MCNP 6.2 模擬鈹靶在有無電鍍層的情況下對中子通率的影響。已投稿 “Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment”期刊，院外發表中。

112 年度：

1. 完成「加拿大、義大利、法國 70 MeV 迴旋加速器設施暨米蘭科技大學和巴黎 OECD/NEA 參訪」出國報告(INER-F1430)，本報告彙整參訪各國 70 MeV 迴旋加速器製造廠商，蒐集相關硬體及周邊設備資料，進行意見交聯並建立未來合作聯繫管道。
2. 完成「核能研究所採購之 Best 70p 迴旋加速器與廠館介面報告」研究報告(INER-P0362R)，本報告主要彙整本院所採購之 70MeV 迴旋加速器及廠館設備系統等相關資訊，提供加速器使用者、建築師及施工人員參考使用。
3. 完成「70MeV 迴旋加速器廠館輻射偵測儀建置規畫評估」研究報告(INER-17145R)，本報告主要為評估 70 MeV 迴旋加速器廠館之輻射偵測儀佈局與規畫，以滿足未來 70 MeV 迴旋加速器廠館之輻防安全需求。
4. 完成「Best 70p 迴旋加速器設計規格與國際驗收經驗」研究報告(INER-17215R)，本報告主要為研析 BCSI 公司於 2015 年在 INFN LNL 實驗室建置 70 MeV 迴旋加速器之測試數據與經驗，相關技術資訊有助於未來 70 MeV 中型迴旋加速器建置後的規格驗收與測試過程中需考量之相關因素，並能順利推展 70 MeV 中型迴旋加速器之順利建置完成。
5. 完成「國原院 70 MeV 迴旋加速器建置進度報告(112 年)」研究報告(NARI-P0365R)，本報告主要記錄本院 70 MeV 迴旋加速器採購過程、招標所需相關之文件，以及加速器本體之施工進程。
6. 完成「70 MeV 迴旋加速器放射性同位素相關實驗室規劃設計」研究報告(NARI-17264)，本報告主要借鑒 052 館 30 MeV 迴旋加速器與附屬相關設施之維護及運轉經驗，依使用者需求進行 70 MeV 放射性同位素研製實驗室規劃設計。
7. 完成「鈾 225 的生產、純化與檢驗方法簡介」研究報告(INER-17029)，本報告綜覽文獻關於核醫藥物級鈾 225 之生產、分離純化、品管標準、品質檢驗方法等，分析整理文獻回顧，以提供未來本所生產鈾 225 同位素之參考。

8. 針對 70 MeV 迴旋加速器熱中子靶站之概念設計，完成「Performance evaluation of a low-dimensional thermal neutron moderator with proton energy of 28.5 MeV」SCI 論文一篇撰寫並投稿 Nuclear Engineering and Technology。
9. 本計畫衍生之銫同位素活度比對相關研究：APMP supplementary international comparison of activity measurement of Cs-134 and Cs-137 in brown rice 已被 SCI 學術期刊 Metrologia 接受並獲得刊登(Metrologia. 2023, 1A:60)(IF: 2.748)
10. 完成「熱中子靶站 MCNP 程式計算模式暨概念設計報告」(NARI-17383R)研究報告一篇，彙整本年度熱中子靶站的設計與 MCNP 模擬結果。
11. 完成「快中子靶站 MCNP 程式計算模式報告」(NARI-17290R)研究報告一篇，彙整本年度快中子靶站的設計與 MCNP 模擬結果。
12. 在匈牙利布達佩斯的 UCANS10 國際研討會上口頭發表「Neutron Researches Using Cyclotron Accelerator at NARI」會議論文一篇，向國際中子界介紹本院 70MeV 中子計畫的規劃與執行現況，打開國際能見度，並爭取國際合作。
13. 在國內中子年會上海報發表「Neutron Facility at NARI: Current Status and Future Plans」會議論文一篇，向國內中子領域學術界的專家學者說明本院 70MeV 中子計畫的規劃與執行現況，開拓國內中子用戶。
14. 完成「熱中子靶站局部屏蔽概念設計報告」(NARI-17283R)研究報告一篇，評估東南側 2 米厚外牆外之輻射劑量率是否小於 0.0075 mSv/h。
15. 完成「MCNP 點射源中子能譜計算國際案例驗證」(NARI-17371R)研究報告一篇，驗證 MCNP 點射源中子能譜計算國際案例。
16. 完成「70 MeV 迴旋加速器放射性同位素相關實驗室規劃設計」研究報告(NARI-17264)，本報告旨在說明 70 MeV 迴旋加速器輻射監測系統需求規格及規劃，作為後續開發之依據，以滿足未來加速器廠館之輻防安全需求。
17. 完成「70 MeV 迴旋加速器質子照射驗證分析實驗室規劃」(NARI-17418R)研究報告一篇，完成質子照射驗證分析實驗室功能區配置規畫，設置四條質子射束線，規劃有質子射束標準化量測區、掃描照射區、質子單點照射區及複合式太空環境模擬測試區，未來可供國內太空質子輻射科學研究與產業技術服務應用。

二、技術創新(科技技術創新)

1. 完成開發並自製 10 台中子及 5 台加馬輻射監測儀，未來具備商業販售之潛力。
2. 完成開發輻射監測系統程式，測試錄影畫面顯示 1.8 秒完成擷取 50 台監測儀即時量測數據與畫面更新，確保 70 MeV 廠館輻射安全與監控。
3. 研發質子射程(能量)EBT3 評估系統概念機，建立質子射束能量 28-70 MeV 範圍評估能力，系統引用本院自行開發之蒙地卡羅資料庫(作用物質：水、銅、石墨)。該系統完成 9 MeV 直線加速器電子與 30 MeV 迴旋加速器質子照射驗證，整體能量差異為 0.3 MeV 以下。其對應極限能量解析度達 1 MeV 以下，且具備偵測射束能量分布潛在優勢，可用於射束特性確認與品保，具優異性價比與便利性。
4. 以進階的微流道水冷設計，成功解決中子靶站的高熱沉積問題(最大~1.6 kW/cm²)，在入射質子為 28.5 MeV、500 uA、半高寬 3.0 cm，微流道的直徑 400 um、進水速度 5

m/s 等條件下，數值分析結果顯示鈹靶的最高溫度僅 165°C，遠低於熔點 1278°C。

112 年度：

1. 研究具潛力之伴同式放射診療核種之製程與國際接軌，如鈾-225(Ac-225)、銅-67(Cu-67)，並進行能量、靶材及靶體設計研討，有助伴同式診療藥劑與個人化醫療之發展以嘉惠國人。
2. 建立質子射束線審查能力，因應質子照射驗證分析實驗室選向磁鐵組(4-way switching)射束模擬資訊，評估 A3 射束可在出口端下游 2 m 內，維持質子射束徑約為 30 mm，質子射束標準差 σ 約為 5 mm。並於 30MeV 場域完成質子射束線出口端定位模組架設與質子電流量測模組遠端操控連線測試，實測質子電流輸出範圍 0.1~106 nA，評估質子通率範圍約在 $5E7\sim 1E11$ [p/(cm²·s)] 之間，確認質子射束監測電流可達 0.1 nA 挑戰目標。
3. 建立中子靶站模擬設計技術，掌握質子截面資料庫對 ⁹Be(p,n) 中子產生反應數值模擬的影響，確認 JAEA JENDL-5 截面相較於 MCNP 內定的 LANL EENDF/B-VII.0 可信度更高，後續將以 JAEA JENDL-5 截面進行中子靶站設計，優化並提高中子靶站的中子通率。

三、經濟效益(經濟產業促進)

1. 國原院 30 MeV 迴旋加速器生產之核醫藥物包含凍晶製劑和放射性同位素(Tl-201、Ga-67、In-111)，以及未來 70 MeV 迴旋加速器研製之治療用新核種 Ac-225、Cu-67 等放射性同位素，已與 Best 公司洽談合作事宜。113 年 8 月 6 日，由高院長帶隊赴美國與 Best 公司總裁簽訂藥物銷售合作備忘錄(MOU)，Best 公司將可提供國原院生產核醫藥物之國外運輸及銷售管道，並且雙方合作將國原院生產之核醫藥物銷售至印度與東南亞之國外市場。
2. 擴展質子照射試驗整合能力，跨出院內現有 30 MeV 迴旋加速器質子應用，積極與國內高能粒子平台單位交流，已與北醫附醫質子中心合作。驗證計畫開發質子射束分析平台穩定性，加速累積實務經驗。並開始承接國內廠商執行電子元件質子照射服務「光電元件質子照射測試」技術服務案，收入經費 126 千元，及「電子元件高能質子照射測試」技術服務案，收入經費 210 千元，跨越低能量質子照射技術服務範疇。此技服衍生效益部分成果應用於國家太空中心(TASA)啟動之「新創追星計畫」第 2 期(投入新台幣 4.35 億元)，該計畫向國內產業界公開招標，有 4 顆立方衛星研製與發射，關鍵元件需通過質子輻射照射測試。
3. 今年與半導體龍頭大廠及台灣 O 驗科技公司各簽訂一個技術服務案(合計 230 萬元)，目前於 30 MeV 迴旋加速器的中子源進行初步測試。兩公司都表示，展望未來 70 MeV 中子源建置完成後，能提供充足的射束時間，可以執行更多的照射測試。中子照射技術服務採小時計費，預計 70 MeV 中子照射的可用射束時間，是目前 30 MeV 的 3~4 倍，收入可望數倍成長。

112 年度：

1. 與 Best 公司完成 70 MeV 迴旋加速器及 1 個氣體靶站與 2 個固體靶站採購合約簽訂，簽約金額 2,258 萬美元，節省國家公帑約 424 萬美金(以美元換台幣匯率 31 元計，約

- 1 億 3 千萬台幣)。
2. 國原院目前 30 MeV 迴旋加速器生產之核醫藥物包含凍晶製劑和放射性同位素(Tl-201、Ga-67、In-111)，以及未來 70 MeV 迴旋加速器將研製之 Ac-225、Cu-67、Sr-82 放射性同位素，現正與國外公司洽談合作意願，未來該國外廠商將可提供我國生產核醫藥物之國外運輸及銷售管道，進軍國際市場。
 3. 跨出現有 30 MeV 迴旋加速器質子應用，積極與國內高能粒子平台單位交流，已與北醫附醫質子中心合作。加速累積實務經驗，驗證計畫開發質子射束分析平台穩定性，擴展質子照射試驗整合能力。開始承接國內廠商執行電子元件質子照射服務(執行技術服務 1 件，收入 157.5 千元)，跨越低能量質子照射技術服務範疇。
 4. 本年度進行中子相關設施之開發，開發過程中就邀請國內半導體龍頭公司派員共同討論，在設計階段就納入潛在用戶的需求，未來建置完成後能順利無縫使用，有利本計畫中子之未來應用，亦有助持續深化我國半導體業之國際競爭力。

四、社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)

1. 本計畫建置 28-70 MeV 迴旋加速器，將能達到穩定供核醫藥物與緊急備援的雙重目標，填補我國基礎科學研發與產業應用的缺口，協助我國生醫、太空及國防科技、半導體及材料等產業發展，提升我國相關產業之技術能量與國際競爭力。
2. 質子量測標準化技術的開發，未來可應用於質子射束檢測射束的校正或驗證，可提供質子治療醫用游離腔的校正服務，有助於強化量測準確性，精進質子耐輻檢測，滿足國內核醫製藥與高能粒子檢測產業需求，提升民眾輻安信心。
3. 70 MeV 加速器未來可用於產生快中子並用於中子照射測試，以評估車用電子元件在大氣背景輻射環境下的可靠性，將可降低電子元件的失效風險、增加汽車電子系統的安全性與可靠性、並提高行車與乘客的安全。

112 年度：

1. 70 MeV 迴旋加速器建置完成後，將與 30 MeV 迴旋加速器相互備援，穩定國內核醫藥物生產(銨-201, 碘-123)，造福國人健康；研發治療用醫用同位素(鈾-225, 鈾-67)製成核醫藥物，提升本院核醫藥物至治療層次，提高癌症患者存活率。
2. 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(國原院)、70-230 MeV 高能質子迴旋加速器 2 座，本計畫建置 28-70 MeV 迴旋加速器，能達到穩定供核醫藥物與緊急備援的雙重目標，填補我國基礎科學研發與產業應用的缺口，協助我國之生醫產業、太空及國防科技、半導體及材料產業等發展，影響甚遠。
3. 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鈾-225(Ac-225)、鈾-67(Cu-67)與銨-82(Sr-82)，應用於腫瘤診斷治療與心臟造影，以診斷性放射藥劑進行有效病患篩選，並施以治療性放射藥劑，促進個人化精準醫療發展。故 70 MeV 迴旋加速器之建置是極為核心及關鍵的一環，亦可提供銨-201 放射性同位素生產備援以及開發新治療型核醫藥物，造福嘉惠國人，善盡政府回應國人醫療需求之責任。

4. 質子標準化技術的開發，未來可應用於質子檢測射束的校正或驗證，更長遠為質子治療醫用游離腔的校正服務，有助於強化量測準確性，精進質子耐輻檢測，提升民眾輻安信心。
5. 開發 30~70MeV 的高能量快中子源，未來可用於我國輻射劑量計之校正，可提升我國輻射醫療環境之劑量監測的精準度，有助輻射治療民眾及相關醫療從業人員之健康。
6. 中子照相應用技術的開發，未來可應用於如飛機船舶葉片檢測、鋼材焊道檢測、橋樑結構檢測、機場核敏感材料及塑膠炸藥檢測等必需在現場執行的重要安全檢測工作，有助於社會維安及民生保全，本年度完成一件「數位中子影像-葉片流道檢測」技術服務案。

五、其他效益(科技政策管理、人才培育、法規制度、國際合作、推動輔導等)

1. 8 月 6 日，由院長帶隊率張副院長、張處長及李所長赴美國拜訪康乃爾大學研究團隊交流治療用 alpha 核種現況。 α 粒子標靶精準治療為國際上治療性核醫藥物重點發展方向，本次赴美已與 α 粒子治療性核醫藥物的研究機構(WCM)及藥物生產藥廠(Convergent Therapeutics, Inc.)建立聯繫管道；除依原規劃生產 α 射源 Ac-225 外，亦將持續與國外著名機構合作，以掌握 Ac-225 標誌技術與生產製程。
2. 12 月 1~7 日，同位素所張副所長赴美參加台美會，期間代表國原院就重大議題進行交流，並參訪勞倫斯國家實驗室。回台後，張副所長透過電子郵件向世界同位素委員會主席致謝，表達對其介紹能源部附屬實驗室實習及合作機會的感謝，並希望保持聯繫以探索合作。世界同位素委員會主席回覆表示，已與橡樹嶺國家實驗室的國家同位素開發中心(NIDC)聯繫，並在其建議下正與美國能源部同位素研發和生產辦公室主任接洽，以尋求能源部內部協調指導。
3. 進行加速器運轉人員培訓，目前已取得 13 張運轉人員證書，預計 114 年可再取得第 14 張運轉人員證書，並有 9 名同仁繼續受訓中。
4. 順應六大核心戰略產業，扣合賴總統就職演說，把握三大方向，推動臺灣的發展，及契合行政院「積極推動我國太空科技發展」政策，建立太空元件高能粒子照射測試技術能量，應用於國安與太空領域，落實原子能技術跨域整合應用。
5. 本院機械所與輻防所共組「太空環境驗證與質子應用技術團隊」，執行人員養成。參與之工作人員獲得質子照射驗證分析實驗室規劃、質子照射模擬技術、單點定位與掃描照射平台架設與質子輻射測試實務等訓練，對於國內太空科技人才之培育有實質的貢獻。
6. 4 月 1 日國原院、長庚大學、日本大阪大學核子物理研究中心(RCNP)執行「質子射束儀器 RCNP 簡介及技術交流」技術活動，討論質子射束觀測器、質子射束剖面監測器，以及能量量測儀之使用條件、設置和技術建議，透過技術交流提升質子射束量測配置能力
7. 9 月 16~20 日派員參加 2024 PHITS Advanced Tutorial，進一步學習輻射模擬技巧，掌握進階功能。透過線上專家指導與實作練習，提升模擬精度與問題解決能力，有助提升本計畫中子項目的執行能力與效率。

8. 派員前往澳洲 ANSTO(11 月 10~18 日及 12 月 17~29 日)進行中子繞射實驗，藉由參與中子實驗，了解儀器站屏蔽設計、輻安運作模式，以及實驗規劃操作與數據分析能力，以利後續儀器運維，並通過與國際研究機構技術交流與合作，建立相關網絡。
9. 11 月 3~5 日參與「2024 台灣中子科學學會年會暨中子散射技術研討會」，掌握國際中子科學最新研究進展與前沿應用技術，為國內相關技術發展提供戰略參考，同時與中子科學領域新晉學者建立聯繫。
10. 8 月 28 日~12 月 6 日參加美國國家標準與技術研究院(NIST)「中子散射於軟物質材料之應用」線上課程，深入學習中子散射技術在軟物質材料(如高分子、蛋白質)研究中的理論與實際應用，提升對實驗設計及結果解讀的能力，為中子計畫相關應用提供技術支持與參考依據。

112 年度：

1. 選派樊○○及翁○○兩員參加第 36 屆歐洲核醫學會年會(36th Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine, 36th EANM)，並實地參訪義大利 COMECER、TEMA 等鉛室原廠，與實務經驗豐富的原廠研究人員交流，探討放射性同位素發展趨勢、鉛室製法之法規要求面與製藥工業面的考量以及 Best 公司 70 MeV 迴旋加速器建置環境討論，包括壓差、溫溼度等；參訪 INFN-LNL 實驗室(National Institute for Nuclear Physics-Legnaro National Laboratories, INFN-LNL)，深入瞭解迴旋加速器建置、鉛室設計與製藥法規規範。綜合本次會議與實地參訪的內容，瞭解國際核子醫學研究發展現況與趨勢，相信對於未來核醫藥物研究規劃與推動應有相當大的助益，可準確掌握科學研究的趨勢，有利於本院「建置 70 MeV 迴旋加速器計畫」及同位素所研究計畫之發展。
2. 派員赴羅馬尼亞參與「2023 年第 23 屆國際放射核種量測與應用會議(ICRM)」，分享本院放射活度量與國際比對成果，吸取先進國家於核醫藥物核種分析、量測計量、校正標準、活化輻安等技術發展經驗，將視野向外延伸，擴大技術交流的國際網絡。
3. 選派鄭○○及李○○兩員參加第十屆緊湊加速器型中子源國際會議(10th International Meeting on the Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources, UCANS10)，並拜訪德國的於利希中子科學中心(Jülich Centre for Neutron Science, JCNS)、匈牙利 LvB 緊湊加速器型中子源(LvB CANS)、匈牙利中子中心(Budapest Neutron Centre, BNC)及 Mirrotron 中子光學總部暨實驗室(Mirrotron's Neutron Optics HQ & Labs)等單位及設施，收集獲知許多國外中子設施的最新資訊，掌握國際中子源的發展方向與商業市場趨勢，並成功與世界各國主要中子源的計畫或單位負責人建立國際中子人際網絡，有利於本院中子計畫之發展。
4. 112 年 9 月 5~8 日「台灣中子科學國際諮詢會議」，邀請與會專家包含美國 NIST、美國 ORNL、日本 RIKEN、英國 ISIS 等知名中子設施的 5 位國外專家，以及兩位來自國內台積電與中鋼公司的業界專家，加上國內同步輻射中心、中央大學及清華大學等學研單位的 3 位學者，整場會議共計約有 50 人參加，藉由接軌國際的產學研交流，進行中子的技術發展、廠房建置、中子應用…等主題研討，提供詳實可用的中子諮詢資訊與建言，協助中子設施建置，並完成會議論文 1 冊。
5. 完成加速器運轉專業人員訓練與考證，共 3 名人員取得運轉證照。

6. 機械所與輻防所共組「太空環境驗證與質子應用技術團隊」，執行人員養成。參與之工作人員獲得質子照射驗證分析實驗室規劃、質子射束線審查能力、質子束模擬、定位、與電流計測等訓練，對於國內太空科技人才之培育有實質的貢獻。
7. 派李○○參加第七屆中子及渺子學校，學習中子理論，提升本院中子人才知識能量。
8. 執行國外中子設施實習，派員前往澳洲 ANSTO 中子設施，了解中子實驗執行及設施運作概況，完成 1 人次訓練。
9. 完成開發 1 台中子輻射監測儀原型機(量測能量上限高達 5 GeV)及 1 台加馬輻射監測儀原型機(量測範圍達 0~10 Sv/h)，並取得輻防所輻射度量實驗室校正合格報告。未來將可銷售本院開發之中子輻射監測儀及加馬輻射監測儀器設備。
10. 契合行政院「積極推動我國太空科技發展」政策，尋求國內科研與產業單位交流與合作。積極與國內高能粒子平台單位交流，尋求院外質子照射量能資源合作。參與太空產業交流活動，推廣國原院質子照射技術服務量能，落實原子能技術跨域整合應用。
11. 112 年 3 月 30 日參與中科院龍園園區之耐輻射光纖技術發表會，提報「耐輻射光纖測試數據暨核研所輻射驗證技術發展現況」會議簡報，推廣國原院輻射驗證技術服務，推動太空產業產學研合作生態圈。
12. 派員參與長庚大學「質子蒙地卡羅模擬 MCNPX/TOPAS/PTSim 與射束調控」技術會議，進行理論與實際上機之討論，透過技術交流提升遷移計算和模擬評估能力。
13. 於第十五屆破壞科學研討會中，分享本院非破壞檢測技術發展現況、經驗與成果，展示中子照相成果對國內學研界的可能協助，協助 70 MeV 加速器建置完成後的可能後續應用，並建立與國內其他單位技術聯繫管道及技術合作機會。

肆、檢討與展望（請上傳累積成果）

（請檢討計畫執行可改善事項或後續可精進處，並說明後續工作構想重點與未來展望等；屆期計畫請強化說明後續是否有下期計畫、計畫轉型或整併、納入機關例行性業務、或其他推廣計畫成果效益之作為等。）

一、計畫執行困難與因應對策

1. 加速器採購案「70 MeV 迴旋加速器及其附屬設備之採購」（契約金額為美金 22,580 千元，合約交貨期限為 115 年 3 月），依計畫時程原規劃於今(113)年 8 月完成「加速器組裝」及 12 月完成「工廠端測試」後預計分別支付 10%(金額 73,385,000 元)及 5%(金額 36,692,500 元)，但因配合加速器廠館興建時程，本院要求迴旋加速器交貨至院時間由 114 年 3 月調整至 114 年 10 月，故「加速器組裝」與「工廠端測試」延至明(114)年第二季完成後再支付共 15% 款項。因應對策為將 113 年需支付 15% 的貨款辦理預算保留至 114 年，待確認廠商完成工廠端組裝測試(FAT)後進行付款。
2. Ac-225 同位素之靶材取得不易。113 年 6 月張副所長經 e-mail 聯繫美國 LANL 與歐盟 JRC，尋求以 Ra-226 或 Th-232 研製 Ac-225 與共同開發攝護腺癌治療藥物 Ac-225 PSMA-INER-56 之合作計畫。7 月 8 日收到通知，因為 JRC 目前經費被削減，目前可能傾向暫不與 NARI 針對放射核醫藥物合作，未來將以 Ac-225 同位素合作為主軸(非藥物合作)。113 年 8 月院長赴美國康乃爾大學進行 Ac-225 相關議題討論，美國目前趨勢轉向 Ac-225 放射治療藥物研發，雖具有發展潛力，但取得同位素照射靶體之材料非常困難，Ac-225 產製未來將視歐盟、美國後續聯繫後的回應狀況規劃因應策略。
3. 70 MeV 中型迴旋加速器館後續使用屬於為高強度輻射設施作業場所，涉及加速器與其相關系統，需全面納入輻射防護及加速器周邊系統需求，涉及複雜之系統界面、高精度要求以及第三方安全審查意見，為本工程面臨之重大挑戰。因應對策為於設計及工程階段，主動召開多次實體與視訊會議，整合土建設計、未來實驗室需求與國外加速器設備商之界面疑義，並透過每月例行召開工程月會與專業技術協調會，確實掌握工程進度、協助釐清與排除疑義，以利工程順利推動。

二、計畫執行可改善事項或後續可精進處

1. 強化國際溝通與合作的系統化安排：113 年 12 月 1 日至 7 日，同位素所張副所長於台美會期間代表國原院就重大議題進行交流，並參訪勞倫斯國家實驗室。會後以電子郵件聯繫世界同位素理事會主席，表達感謝並期待未來合作。然而，目前相關聯繫尚未形成系統性合作建議，應考慮建立更明確的聯絡與後續推進計畫，例如制定專責人員定期追蹤進度。
2. 明確合作需求與優先事項：世界同位素理事會主席回應已與橡樹嶺國家實驗室的國家同位素開發中心(NIDC)及美國能源部同位素研發和生產辦公室主任進行聯繫，協助尋找適當的能源部內部聯繫窗口，但未具體回覆合作機制或時間表。本所可進一步明確表達合作需求，特別針對迴旋加速器和加速器生產等重點領域，提出具體提案以提高效率。
3. 強化內外部協調機制：針對世界同位素理事會主席建議由美國能源部總部提供協調指導，本所應主動與台美合作計畫的相關單位保持聯繫，爭取更多支持與資源。同時，應考慮內部成立專案小組，集中資源推動台美同位素合作的實質進展。

4. 持續關注並推進與美國能源部的合作：目前合作進展仍集中在初步聯繫階段，應主動提供更詳細的合作框架建議，並建立定期溝通機制，確保與美國能源部及其相關單位的溝通效率，進一步推動國際合作關鍵領域的落實。

伍、其他補充資料（請上傳累積成果）

一、跨部會協調或與相關計畫之配合

（請說明本計畫是否與其他科技計畫相關連，其分工與合作之配合情形為何，若有共同之成果，亦請說明分工與貢獻；如相關連計畫為其他機關所執行，請說明協調機制及運作情形是否良好；計畫審議階段如委員特別提出須區隔計畫差異性並強化分工合作、強化與其他機關合作者，請強化說明配合情形；如計畫與其他計畫、其他機關無相關連，亦請簡扼說明該計畫業務屬性可獨立執行。）

1. 與國家太空中心討論中子位移損傷的測試方法，本計畫 70MeV 迴旋加速器建置的中子源，經評估將來可用於 MIL-STD-883 國際標準之中子位移損傷的測試，可了解在輻射環境下的功能退化與結構缺陷，以確保太空與國安等電子設備的可靠性與壽命。
2. 接待德國攸利希研究中心(Forschungszentrum Jülich)的 HBS 計畫聯絡人，雙方針對加速器中子源開發與進展進行討論，並針對中子散射、中子影像及快中子照相等應用議題交換意見，兩計畫已建議聯立管道，後續將針對共同研究議題商議雙邊的合作。

二、大型科學儀器使用效益及共用分享機制說明

本計畫若有編列經費購買、維運之大型科學儀器，請簡述經常性作業名稱、儀器用途、實際使用情形、使用效益...等。

70 MeV 迴旋加速器(含射束線)及附屬氣、固體靶站，主要用途可分為以下 3 項：

- (1)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，備援生產國原院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。
- (2)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。
- (3)中子應用：中子照相、材料殘留應力分析、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。

主要使用效益分項說明如下：

- (a)備援國原院現有醫用同位素生產：配合國原院既有 30 MeV 迴旋加速器，可大幅提高核研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。
- (b)質子照射服務：28~70 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。
- (c)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。

共用分享機制：

儀器對外開放，開放規劃如下：

(i)提供質子照射服務

(ii)提供中子照射服務

收費標準：照射費每小時 25,000 元。

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○院、國家太空中心、業界電子公司、○鋼、○鋁、中○院、各大學等。

三、其他補充說明(分段上傳)

如有其他利於審查之相關資料，如：計畫成果完整說明、績效自評意見暨回復說明...等。

附錄、細部計畫

一、全程架構及經費

項目		年度					備註
		111 年度 決算數	112 年度 決算數	113 年度 決算數 (執行率)	114 年度 預算數	115 年度 申請數	
科技計畫總計		0	159,129	194,000	449,230	258,045	
一、細部計畫 1	小計	0	159,129	194,000 (100%)	449,230	258,045	
	(一)經常支出	0	10,045	28,392 (94.53%)	36,944	70,930	
	1.人事費						
	2.材料費						
	3.其他經常支出						
	(二)資本支出	0	149,084	165,608 (101%)	412,286	187,115	
	1.土地建築						
	2.儀器設備						
	3.其他資本支出						

二、年度執行摘要

細部計畫 1	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(2/4)	計畫屬性	產業技術研發	執行機關	國家原子能科技研究院
重點描述	<p>1. 70 MeV 迴旋加速器、1 部氣體靶站與 2 部固體靶站原廠製造進度與品質掌控；Ac-225 同位素可行性評估(占子項 1 工作之 28%)。</p> <p>2. 電子元件質子照射模擬技術可達 90% 均勻照射劑量與質子能量解析度小於 1.5 MeV(占子項 2 工作之 33%)。</p> <p>3. 1 部快中子(> 1 MeV)靶站結構與工程設計與採購以及熱中子繞射之基礎功能設計(占子項 3 工作之 32%)。</p> <p>4. 完成細部設計之射源項模擬計算、輻射屏蔽分析與活化產物評估，完成輻安評估報告第 3、5 及 6 章，建立故障樹運跑模型，研究失效組合(占子項 4 工作之 27%)。</p> <p>5. 建築基地之地盤改良、地基開挖、基礎工程與屏蔽地基施作、地下室空間整建，以及廠用系統規格訂製(占總工程之 25%)。</p>				
預算數 (千元)	決算數 (千元)	執行率 (%)	節餘數 (千元)	總人力 (人年) 實際/規劃	
194,000	194,000	100	0	80/83.4	
其他資源投入	無				
預期關鍵成果 (由系統帶入，不可修改)		關鍵成果達成情形		主要成果使用者/服務對象/合作對象	

<p>O1KR1: 加速器原廠製造進度與品質掌控，廠商完成 70 MeV 迴旋加速器主要組件的設計購置並執行製造。原廠提供品質設計製造進度報告至少 1 份。</p>	<p>O1KR1: 1.加速器本體總製作進度已完成約 95% (主要設備如主磁鐵、真空系統、射頻系統、離子源系統、以及控制系統等皆已完成(100%))。 2.加速器廠商 Best 公司已於 113 年 11 月 20 日完成提供下半年 70 MeV 迴旋加速器品質設計製造進度報告書 1 份。</p>	<p>使用者：國家原子能科技研究院 合作對象：加拿大 Best 加速器公司及本院同位素所、電資所</p>
<p>O1KR2: 固體靶原廠製造進度與品質掌控，廠商完成固體靶站系統主要組件的設計購置並執行製造。原廠提供品質設計製造進度報告至少 1 份。</p>	<p>O1KR2: 1.依加速器廠商 Best 公司已於 113 年 11 月 20 日提供之固體靶製造進度報告，目前固體靶已完成設計，於 Best 公司渥太華工廠製作中。 2.完成研究報告「70 MeV 固體靶製造進度報告」(NARI-17820R)，內容包含 Best 公司固體靶製作進度及彙整 30 MeV 與 70 MeV 之固體靶差異比對。</p>	<p>使用者：國家原子能科技研究院 合作對象：加拿大 Best 加速器公司及本院同位素所</p>
<p>O1KR3: 氣體靶原廠製造進度與品質掌控，廠商完成氣體靶站主要組件的設計購置並執行製造。原廠提供品質設計製造進度報告至少 1 份。</p>	<p>O1KR3: 1.依加速器廠商 Best 公司已於 113 年 11 月 20 日提供之固體靶製造進度報告，目前氣體靶已完成設計，部分元件已進行製作。 2.完成研究報告「70 MeV 氣體靶製造進度報告」(編號:NARI-17893R)，內容彙整 30 MeV 與 70 MeV 之氣體靶產製 I-123 之差異比對。</p>	<p>使用者：國家原子能科技研究院 合作對象：加拿大 Best 加速器公司及本院同位素所</p>

<p>O1KR4: 完成 Ac-225 同位素研製可行性評估。提供 Ac-225 同位素研製可行性評估報告至少 1 份。</p>	<p>O1KR4:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.完成三篇研究報告撰寫，分別為「鈾-225 放射性同位素研製之靶設計與評估(編號:NARI-17639)」、「加速器生產鈾-225 同位素技術比較研究(編號:NARI-17664)」與「使用國家原子能科技研究院加速器生產鈾-225 之可行性評估(編號:NARI-17924)」。 2.評估以(1)Ra-226 產製 Ac-225,(2)Th-232 產製 Ac-225 之優先可行性比較，並透過台美會與駐歐盟科技辦事處，持續與美國與歐盟相關 Ac-225 研製單位機構聯繫討論，以期取得靶材來源及相關研製技術。 	<p>使用者：國家原子能科技研究院</p> <p>合作對象：加拿大 Best 加速器公司及本院同位素所</p>
<p>O2KR1: 建立電子元件質子照射模擬技術，30cm×30cm 範圍內，可達質子照射劑量均勻性達 90%。</p> <p>O2KR2: 完成涵蓋 28~70 MeV 範圍之質子射程(能量)量測系統組裝，於 30 MeV 迴旋加速器執行測試，能量解析度達 1.5 MeV 以下。</p>	<p>O2KR1: 完成質子照射測試平台建置與程式開發，並執行性能測試。整合單點照射、自動掃描與均勻度驗證模式，於國原院 30 MeV 迴旋加速器場域，採用 EBT3 膠膜進行 30 cm x 30 cm 範圍質子掃描照射試驗，實測結果顯示質子累積通量均勻性達 93%。</p> <p>O2KR2: 完成質子射程(能量)EBT3 評估系統概念機研發，可評估能量涵蓋 28-70 MeV，引用本院自行開發之蒙地卡羅資料庫(作用物質：水、銅、石墨)。該系統完成 9 MeV 直線加速器電子與 30 MeV 迴旋加速器質子照射驗證，整體能量差異為 0.3 MeV 以下。另於長庚醫院第五實驗室進行 70 MeV 質子射束實</p>	<p>國原院質子照射驗證分析實驗室 / 質子照射科研應用、太空中心、中○院、工○院及國內廠商(創○來、全○及互宇○公司等) / 同位素組、北○附醫質子中心、長○大學醫學影像暨放射科學系及長○醫院質子暨放射中心等。</p>

	測，其對應極限能量解析度達 1 MeV 以下挑戰目標，且具可偵測射束能量分布潛在優勢。	
<p>O3KR1: 完成快中子(>1 MeV)靶站結構及工程設計與採購案。完成快中子靶站結構及工程設計報告至少 1 份。</p> <p>O3KR2: 完成熱中子繞射之基礎功能設計。完成熱中子繞射儀基礎設計報告至少 1 份。</p>	<p>O3KR1: 完成快中子靶站之結構及工程設計(圖 3-2)，已採購中子靶站用之鈹靶及屏蔽用高密度聚乙烯，並以放電切割法進行試加工製作，完成一套中子離形靶，相關設計及其輻防評估所需資訊，彙整成研究報告 1 份(NARI-17711)。</p> <p>O3KR2: 完成熱中子繞射儀的基礎功能設計，相關元件設計及儀器繞射圖譜，彙整成研究報告 2 份(NARI-17632、NARI-17633)。</p>	<p>國原院/學術界/半導體製造業/電子檢測業/國家太空中心</p>
<p>O4KR1: 完成細部設計之射源項模擬計算與分析，完成輻安評估報告第 3 及 5 章。</p> <p>O4KR2: 完成細部設計屏蔽分析計算、活化產物輻射計算以及人員劑量評估，完成輻安評估報告第 3、5 及 6 章。</p> <p>O4KR3: 解析迴旋加速器各系統組件及其關聯性，建</p>	<p>O4KR1: 協助完成 70 MeV 迴旋加速器放射性物質生產設施及高強度輻射設施兩分輻安評估報告第 3 及 5 章的撰寫，送核安會審查，協助回覆核安會第一次審查意見。</p> <p>O4KR2: 完成 70 MeV 迴旋加速器放射性物質生產設施及高強度輻射設施兩分輻安評估報告第 3、5 及 6 章的撰寫，送核安會審查，回覆核安會第一次審查意見。</p> <p>O4KR3: 完成「70 MeV 迴旋加速器系統故障樹與失</p>	<p>國原院</p>

<p>立系統故障樹運跑模型，研究可能失效組合，並解析前述結果，撰寫研究報告至少 1 篇。</p>	<p>效組合分析」研究報告 (NARI-17816R)。</p>	
<p>O5KR1: 完成建築基地之地盤改良(占總工程之 5%)。</p> <p>O5KR2: 完成地基開挖、基礎工程與屏蔽地基施作(占總工程之 10%)。</p> <p>O5KR3: 完成地下室空間整建(占總工程之 5%)。</p> <p>O5KR4: 完成廠用系統規格訂製(占總工程之 5%)。</p>	<p>O5KR1: 完成建築基地地盤電阻改良工程。</p> <p>O5KR2: 完成建築基地擋土開挖、基礎工程與屏蔽地基工程。</p> <p>O5KR3: 完成地下空間樓版主結構工程。</p> <p>O5KR4: 完成給排水、空調、消防、機電等廠用系統之規格訂製。</p>	<p>國原院</p>
<p>遭遇困難與因應對策</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加速器採購案「70 MeV 迴旋加速器及其附屬設備之採購」(契約金額為美金 22,580 千元，合約交貨期限為 115 年 3 月)，依計畫時程原規劃於今(113)年 8 月完成「加速器組裝」及 12 月完成「工廠端測試」後預計分別支付 10%(金額 73,385,000 元)及 5%(金額 36,692,500 元)，但因配合加速器廠館興建時程，本院要求迴旋加速器交貨至院時間由 114 年 3 月調整至 114 年 10 月，故「加速器組裝」與「工廠端測試」延至明(114)年第二季完成後再支付共 15% 款項。因應對策為將 113 年需支付 15% 的貨款辦理預算保留至 114 年，待確認廠商完成工廠端組裝測試(FAT)後進行付款。 2. Ac-225 同位素之靶材取得不易。113 年 6 月張副所長經 e-mail 聯繫美國 LANL 與歐盟 JRC，尋求以 Ra-226 或 th-232 研製 Ac-225 與共同開發攝護腺癌治療藥物 Ac-225 PSMA-INER-56 之合作計畫。7 月 8 日收到通知，因為 JRC 目前經費被削減，目前可能傾向暫不與 NARI 針對放射核醫藥物合作，未來將以 Ac-225 同位素合作為主軸(非藥物合作)。113 年 8 月院長赴美國康乃爾大學進行 Ac-225 相關議題討論，美國目前趨勢轉向 Ac-225 放射治療藥物研發，雖具有發展潛力，但取得同位素照射靶體之材料非常困難，Ac-225 產製未來將視歐盟、美國後續聯繫後的回應狀況規劃因應策略。 3. 70 MeV 中型迴旋加速器館後續使用屬於為高強度輻射設施作業場所，涉及加速器與其相關系統，需全面納入 	

	<p>輻射防護及加速器周邊系統需求，涉及複雜之系統界面、高精度要求以及第三方安全審查意見，為本工程面臨之重大挑戰。因應對策為於設計及工程階段，主動召開多次實體與視訊會議，整合土建設計、未來實驗室需求與國外加速器設備商之界面疑義，並透過每月例行召開工程月會與專業技術協調會，確實掌握工程進度、協助釐清與排除疑義，以利工程順利推動。</p>
--	--

附表、佐證資料表

(請選擇合適之佐證資料表填寫，超過 1 筆請自行插入列繼續填寫，未使用之指標資料表請刪除。)

【A 論文表】

題 名	第一作者	發表年(西元年)	文獻類別	成果歸屬
A simple energy degrader design method assisted by SRIM (一種使用 SRIM 輔助的簡易降能器設計方法)		2024	D	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
Artificial Isotopes Produced from Proton Irradiated Liquid Targetry for Force Field Study (質子照射液體靶研製放射性同位素於力場研究)		2024	D	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
Mini-ridge filter designs for conformal FLASH proton therapy (順形 FLASH 質子治療之微型脊形濾器設計)		2024	D	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
Investigation of gamma radiation on discrete electronic devices (離散伽瑪輻射研究)		2024	D	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
Evaluating Activation and Decay of Electronic Devices under Fast Neutron Exposure for Soft Error Rate Testing using Monte Carlo Simulation		2024	E	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
The cyclotron-based neutron sources and projects at NARI (國原院迴旋加速器中子源計畫)		2024	C	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
中子照相技術於鋁件檢測之實務應用		2024	A	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
Multiple band gaps from lattice incommensurability in photoelectric (CH ₃ NH ₃)PbI ₃		2024	C	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

(鈣鈦礦光電材料因晶格非通約性之多重能帶)				
Investigation into the Cause of Failure of the Bifunctional Neutron Source at NARI (國家原子能科技研究院雙功能中子源失效原因調查)		2024	D	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

註：文獻類別分成 A 國內一般期刊、B 國內重要期刊、C 國外一般期刊、D 國外重要期刊、E 國內研討會、F 國際研討會、G 國內專書論文、H 國際專書論文；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【B 合作團隊(計畫)養成表】

團隊(計畫)名稱	合作對象	合作模式	團隊(計畫)性質	成立時間(西元年)	成果歸屬
太空環境驗證與質子應用技術團隊	國家原子能科技研究院機械及系統工程研究所、輻射防護研究所	A	A/C	2024	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

註：合作模式分成 A 機構內跨領域合作、B 跨機構合作、C 跨國合作；團隊(計畫)性質分成 A 形成合作團隊或合作計畫、B 形成研究中心、C 形成實驗室、D 簽訂協議；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【C 培育及延攬人才表】

姓名	機構名稱	學歷	性質	成果歸屬
	國家原子能科技研究院	B	E	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
	國家原子能科技研究院	B	E	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

註：學歷分成 A 博士(含博士生)、B 碩士(含碩士生)、C 學士(含大學生)；性質分成 B 學程通過、C 培訓課程通過、D 國際學生/學者交換、E 延攬人才；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【D1 研究報告表】

報告名稱	作者姓名	出版年(西元年)	是否被採納	成果歸屬
BEST 70p 迴旋加速器原廠出國行前訓練報告		2024	C	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

皮膚吸收中子劑量之理論模式與程式應用		2024	C	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
70MeV 迴旋加速器真空系統設備與設計		2024	C	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
70 MeV 迴旋加速器射束抽取系統設計與原理		2024	C	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
國原院 70 MeV 迴旋加速器建置進度報告(113 年)		2024	C	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
70 MeV 輻射監測電腦與廠館安全 PLC 通訊介面開發		2024	C	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
70MeV 廠區擷取輻射監測儀量測數據軟體開發		2024	C	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
鈾-225 放射性同位素研製之靶設計與評估		2024	C	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
加速器生產鈾-225 同位素技術比較研究		2024	C	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
使用國家原子能科技研究院加速器生產鈾-225 之可行性評估		2024	C	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
70 MeV 館舍細部設計之水路設計彙整		2024	C	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
70 MeV 固體靶製造進度報告		2024	C	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
70 MeV 氣體靶製造進度報告		2024	C	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
用於調整質子束能量之降能器結構專利分析		2024	C	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
掃描式質子照射操作程序書		2024	C	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
質子監測儀之系統設計與測試報告		2024	C	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
70MeV 質子射程(能量)評估系統驗證之前置研究—直線加速器9MeV 電子蒙地卡羅系統建立		2024	C	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
70MeV 快中子源輻防評估之PHITS 蒙地卡羅計算		2024	C	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
28.5 MeV/500 μ A 中子鈹靶之微流道散熱數值模擬		2024	C	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
中子繞射儀相對光強度與繞射圖譜半高寬計算		2024	C	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
中子繞射儀元件設計—雙軸聚焦單能儀聚焦計算與輔助程式開發		2024	C	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
28.5 MeV 質子鈹熱中子靶站與中子導管概念設計報告		2024	C	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

加速器室三維空間中子能譜計算與分析		2024	C	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
同位素固體靶室三維空間中子能譜計算與分析		2024	C	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
同位素氣體靶室三維空間中子能譜計算與分析		2024	C	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
質子照射實驗室三維空間中子能譜計算與分析		2024	C	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
70 MeV 迴旋加速器廠館細部設計屏蔽分析		2024	C	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
國原院 70 MeV 中型迴旋加速器建置廠館主屏蔽分析		2024	C	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
70 MeV 迴旋加速器廠館活化分析		2024	C	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
70 MeV 迴旋加速器系統故障樹與失效組合分析		2024	C	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
國原院 70 MeV 迴旋加速器館工程設計		2024	C	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
70MeV 中型迴旋加速器館新建工		2024	C	國家中子與質子科學應用研究—70 MeV 中型迴

程之加速器與土 建介面整合研析				旋加速器建置計 畫
--------------------	--	--	--	--------------

註：是否被採納分成 A 院級採納、B 部會署級採納、C 單位內採納、D 存參；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【E 學術活動表】

研討會名稱	性質	舉辦日期 (YYYYMMDD)	主/協辦單位	成果歸屬
2024 核醫學年會 暨國際學術研討 會	A	20241102		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
2024 年台灣中子 科學年會暨學術 研討會	A	20241103~20241105		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
2024 臺灣醫用迴 旋加速器學會年 會暨第七屆第一 次會員大會暨研 討會	A	20241116		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
2024 核醫學年會 暨國際學術研討 會	A	20241102		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
2024 台灣中子科 學學會年會暨中 子散射技術研討 會	A	20241103		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
亞太區域中子散 射協會(Asia- Oceania Neutron Scattering Association)執行 及設施指導會議 及台灣中子散射 座談會	B	20240609		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
ICRPRP 2024: 18. International Conference on Radiation Physics and Radiation Protection	B (線上會 議)	2024		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

註：性質分成 A 國內研討會、B 國際研討會、C 兩岸研討會；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【I2 參加技術活動表】

成果名稱	技術活動名稱	活動性質	活動屬性	活動日期 (YYYYMMDD)	主辦單位	是否獲獎 (Y/N)	成果歸屬
國原院 112 年執行輻射照射服務產研應用(產業與學界)資訊	臺灣太空輻射環境驗測聯盟會議	C	A	20240328		N	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
質子射束儀器 RCNP 簡介及技術交流	質子射束儀器 RCNP 簡介及技術交流	A	B	20240401		N	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
國原院質子照射測試技術	2024 TASTI 台灣太空國際年會暨太空產業博覽會	C	B	20241130~20241203		N	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

註：性質分成 A 技術研討會、B 競賽活動、C 技術說明會或推廣活動、D 其他；屬性分成 A 國內技術活動、B 國際技術活動；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【S1 技術服務表】

技術服務名稱	服務對象類別	服務對象名稱	服務收入(千元)	成果歸屬
光電元件質子照射測試	A	工 O 院	126	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
電子元件高能質子照射測試	A	全 O 光電公司	210	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
電子元件輻射照射	A	台灣 O 驗科技公司	300	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

註：服務對象類別分成 A 國內廠商、B 國外廠商、C 其他(請序明)；成果歸屬請填細部計畫名稱。