

核能安全委員會

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
(112 年 01 月 ~ 115 年 12 月)
中長程個案計畫書
(第二次變更)

112 年 10 月

(行政院 113 年 1 月 3 日院授科會科辦第 1130000841 號函核定)

計畫書修正對照表

序號	原規劃	修正情形說明	修正處頁碼
1	<p>壹、基本資料</p> <p><u>預定執行機關：</u></p> <p>核能研究所</p> <p><u>預定計畫主持人：</u></p> <p>核能研究所高梓木執行秘書</p> <p><u>資源投入：</u></p> <p>112-115 年資源投入，112 年總經費 265,700 千元，113 年總經費 507,300 千元，114 年總經費 368,870 千元，115 年經費 514,030 千元。</p> <p><u>計畫重點描述：</u></p> <p>本計畫 112 年至 115 年預估總經費為新台幣 1,655,900 千元；屬「科技發展性質」的預算經費為 906,900 千元(占 54.8%)，屬「公共建設性質」的預算經費為新台幣 749,000 千元(占 45.2%)。總經費新台幣 1,655,900 千元，其中，資本門 1,529,210 千元(占 92%) 與經常門 126,690 千元(占 8%)；分述如下：(1) 資本門 1,529,210 千元：屬於資本門之實驗室設備設施經費 780,210 千元(占 51%)以及屬於公共建設性質之實驗室設備設施經費 749,000 千元(占 49%)。(2) 經常門 126,690 千元均屬於科技發展性質經費。</p>	<p>壹、基本資料</p> <p><u>預定執行機關：</u></p> <p>核能安全委員會</p> <p><u>預定計畫主持人：</u></p> <p>核能安全委員會林歲士科長</p> <p><u>資源投入：</u></p> <p>調整 112-115 年資源投入，112 年總經費 247,509 千元，113 年總經費 352,300 千元，114 年總經費 828,344 千元，115 年經費 382,821 千元。</p> <p><u>計畫重點描述：</u></p> <p>本計畫 112 年至 115 年預估總經費為新台幣 1,810,974 千元；屬「科技發展性質」的預算經費為 1,061,974 千元(占 59%)，屬「公共建設性質」的預算經費為新台幣 749,000 千元(占 41%)。總經費新台幣 1,810,974 千元，其中，資本門 1,692,030 千元(占 93.4%) 與經常門 118,944 千元(6.6%)；分述如下：(1)資本門 1,692,030 千元：屬於資本門之實驗室設備設施經費 943,030 千元(占 56%)以及屬於公共建設性質之實驗室設備設施經費 749,000 千元(占 44%)。(2)經常門 118,944 千元均屬於科技發展性質經費。</p>	p.1 p.2 P.3
2	<p>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</p>	<p>一座中型迴旋加速器 (15-30 MeV)，國原院既有設施以及三座高能質子迴旋加速器 (70-230 MeV)，位於林口長庚醫院、高</p>	P8~9

序號	原規劃	修正情形說明	修正處頁碼
	<p>口長庚醫院與高雄長庚醫院...</p> <p>中型迴旋加速器<u>一座</u> (15-30 MeV，核研所既有設施) 及高能質子迴旋加速器<u>二座</u> (70-230 MeV，林口長庚醫院與高雄長庚醫院)..</p>	<p>雄長庚醫院與台北醫學大學附設醫院...</p> <p>表 1 新增第 16 項</p> <p>中型迴旋加速器<u>一座</u> (15-30 MeV，核研所既有設施) 及高能質子迴旋加速器<u>三座</u> (70-230 MeV，林口長庚醫院、高雄長庚醫院與台北醫學大學附設醫院)...</p> <p>表 4 新增第 16 項</p>	P.254~255
3	<p>參、計畫目標</p> <p>一、目標說明</p> <p>(四年預估總經費為新台幣 1,655,900 千元)</p>	<p>參、計畫目標</p> <p>一、目標說明</p> <p>(四年預估總經費為新台幣 1,810,974 千元)</p>	P.35
4	<p>2.質子照射驗證分析國家實驗室 (科技發展性質) (表 4)</p> <p><u>114 年</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 完成質子束射線量化技術，並... ● 質子束劑量與劑量分布評估與量測系統建置。 <p><u>115 年</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 質子束參考點劑量... 	<p>2.質子照射驗證分析國家實驗室 (科技發展性質) (表 4)</p> <p><u>114 年</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 完善質子照射模擬分析與質子量化分析平台設備，完成質子束射線量化技術，並... ● 完善射束定位系統架設，建置質子劑量與劑量分布評估與量測系統。 <p><u>115 年</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 質子射束參考點劑量... 	P.52~53
5	<p>4.土木工程建造 (公共建設性質) (表 6)</p> <p>4.1 館舍土木工程評估及新建作業</p> <p><u>113 年</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 上部結構工程開始施工。 <p>4.2 廠用系統設計及建廠試運轉作業</p>	<p>4.土木工程建造 (公共建設性質) (表 6)</p> <p>4.1 館舍土木工程評估及新建作業</p> <p><u>114 年</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 上部結構工程開始施工。(刪除) <p><u>115 年</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 辦公室、公共空間與無障礙設施完成。 <p>4.2 廠用系統設計及建廠試運轉作業</p>	P.57~58

序號	原規劃	修正情形說明	修正處頁碼
	<u>113 年</u> ● 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。	<u>113 年</u> ● 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，以及依儀器接地需求進行地質電阻改良。	
6	5.系統工程(科技發展性質)(表 7) <u>112 年</u> ● ... 進行加速器屏蔽分析，...。 <u>114 年</u> ● 根據輻射...。	5.系統工程(科技發展性質)(表 7) <u>112 年</u> ● ... 進行加速器主屏蔽分析，...。 <u>114 年</u> ● 根據加速器室及各靶室細部設計，進行細部設計屏蔽分析，作為輻安評估之基礎。(新增) ● 依據輻射...。	P.60
7	陸、期程與資源需求 二、經費來源及計算基準 本計畫...執行工作(4 年)所需經費為 1,655,900 千元。	陸、期程與資源需求 二、經費來源及計算基準 本計畫...執行工作(4 年)所需經費為 1,810,974 千元。	P.71
8	陸、期程與資源需求 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 1,655,900 千元(經費編列詳見表 8)...。 (一)本計畫 112 年至 115 年預估總經費為新台幣 1,544,735 千元；屬「科技發展性質」的預算經費為 906,900 千元(占 54.8%)，屬「公共建設性質」的預算經費為新台幣 749,000 千元(占 45.2%)。總經費新台幣 1,655,900 千元，其中，資本門 1,529,210 千元(占 92%) 與經常門 121,600 千元(占 8%)；分述如下：(1)資本門 1,529,210 千元：屬於資本門之實驗室設備設施經費 780,210 千元(占 51%)以及屬於公共建設性	陸、期程與資源需求 三、經費需求(含分年經費)及與中程歲出概算額度配合情形 所需經費為 1,810,974 千元(經費編列詳見表 8)...。(更新表 8) (一)本計畫 112 年至 115 年預估總經費為新台幣 1,810,974 千元；屬「科技發展性質」的預算經費為 1,061,974 千元(占 59%)，屬「公共建設性質」的預算經費為新台幣 749,000 千元(占 41%)。總經費新台幣 1,810,974 千元，其中，資本門 1,692,030 千元(占 93.4%) 與經常門 118,944 千元(6.6%)；分述如下：(1)資本門 1,692,030 千元：屬於資本門之實驗室設備設施經費 943,030 千元(占 56%)以及屬於公共建設性質之實驗室設備設施經費 749,000 千元(占 44%)。(2)經常門 118,944 千元均屬於科技發展性質經費。	P.71

序號	原規劃	修正情形說明	修正處頁碼
	質之實驗室設備設施經費 749,000 千元 (占 49%)。(2) 經常門 121,600 千元屬於科技發展性質經費。		
9	陸、期程與資源需求 三、經費需求(含分年經費)及與中程歲出概算額度配合情形 (二) 預算分年經費需求，如表 8 所示： 1. 112 年度：共計 265,700 千元，其中資本門 250,190 千元 (占 94%)，經常門 15,510 千元 (占 6%)。 2. 113 年度：共計 570,300 千元，其中資本門 477,265 千元 (占 94%)，經常門 30,035 千元 (占 6%)。 3. 114 年度：共計 368,870 千元，其中資本門 344,255 千元 (占 93%)，經常門 24,615 千元 (占 7%)。 4. 115 年度：共計 514,030 千元，其中資本門 457,500 千元 (占 89%)，經常門 56,530 千元 (占 11%)。	陸、期程與資源需求 三、經費需求(含分年經費)及與中程歲出概算額度配合情形 (二) 預算分年經費需求，如表 8 所示： 1. 112 年度：共計 247,509 千元，其中資本門 232,797 千元 (占 94%)，經常門 14,712 千元 (占 6%)。 2. 113 年度：共計 352,300 千元，其中資本門 322,265 千元 (占 91%)，經常門 30,035 千元 (占 9%)。 3. 114 年度：共計 828,344 千元，其中資本門 810,677 千元 (占 98%)，經常門 17,667 千元 (占 2%)。 4. 115 年度：共計 382,821 千元，其中資本門 326,291 千元 (占 85%)，經常門 56,530 千元 (占 15%)。	P.71-72
10	捌、財務計畫 二、成本項目 預估總經費為新臺幣 1,655,900 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：671,695 千元。 (二) 質子照射驗證分析國家實驗室：60,279 千元。 (三) 中子應用國家實驗室：127,028 千元。 (四) 土木工程建造：749,000 千元。	捌、財務計畫 二、成本項目 建置階段，本計畫共計有五個子項計畫，預估總經費為新臺幣 1,810,974 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：840,809 千元。 (二) 質子照射驗證分析國家實驗室：52,312 千元。 (三) 中子應用國家實驗室：126,819 千元。 (四) 土木工程建造：749,000 千元。 (五) 系統工程：42,034 千元。	P.91

序號	原規劃	修正情形說明	修正處頁碼
	(五) 系統工程：47,898 千元。		
11	捌、財務計畫 四、現金流量分析本計畫預估總經費為新臺幣 1,655,900 千元，四年建置期間之經費需求額度分別為 112 年 265,700 千元、113 年 507,300 千元、114 年 368,870 千元與 115 年 514,030 千元。內部報酬率 (IRR) 為 4.4%，.....未折現下之回收期間約為 22 年；換言之，....設定 2% 與 3% 的情境下。	捌、財務計畫 四、現金流量分析本計畫預估總經費為新臺幣 1,810,974 千元，四年建置期間之經費需求額度分別為 112 年 247,509 千元、113 年 352,300 千元、114 年 828,344 千元與 115 年 382,821 千元。內部報酬率 (IRR) 為 3.9%，.....未折現下之回收期間約為 24 年；換言之，.....設定 2% 與 3% 的情境下。	P.92
12	玖、附則 一、替選方案之分析及評估 新建廠址(052 館旁空地) 經費估算 1,655,900 千元 改建廠址(016 館) 經費估算 1,658,900 千元	玖、附則 一、替選方案之分析及評估 新建廠址(052 館旁空地) 經費估算 1,810,974 千元 改建廠址(016 館) 經費估算 1,658,900 千元	P.95、P.153
13	玖、附則 二、風險管理 (一) 背景資料 1. 計畫概述 計畫經費 1,655,900 千元	玖、附則 二、風險管理 (一) 背景資料 1. 計畫概述 計畫經費 1,810,974 千元	P.96
14	十、營運規劃書(含財務評估) 壹、計畫摘要 其中內部報酬率(IRR)約 4.4 %。..在 2%折現率下淨現值為 10.2 億元、益本比為 1.2，回收期為 27 年。3%折現率淨現值大於零...敏感度分析下各情境之 IRR 介於 3.2%~3.8% 之間...。	十、營運規劃書(含財務評估) 壹、計畫摘要 其中內部報酬率 (IRR)3.9 %。...在 2%折現率下淨現值為 8.5 億元、益本比為 1.19，回收期為 29 年。3%折現率淨現值大於零...敏感度分析下各情境之 IRR 介於 2.8%~3.3%之間...。	P.178
15	十、營運規劃書(含財務評估) 捌、財務計畫	十、營運規劃書(含財務評估) 捌、財務計畫 二、基本假設及預期收支	P.268

序號	原規劃	修正情形說明	修正處頁碼
	<p>二、基本假設及預期收支 建置成本共約 16 億元，... 如下表 32 所示</p> <p>表 32、本計畫資本支出與相關費用之支出項目:項次 1：迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室 671,695(千元)；項次 2：質子照射驗證分析國家實驗室 60,279 (千元)；項次 3：中子應用國家實驗室 127,028(千元)；項次 4：土木建築 749,000(千元)；項次 5：系統工程(輻防與 PRA)47,898(千元)。</p>	<p>建置成本共約 18 億元 1 千萬，... 如下表 32 所示...</p> <p>表 32、本計畫資本支出與相關費用之支出項目:項次 1：迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室 840,809 (千元)；項次 2：質子照射驗證分析國家實驗室 52,312 (千元)；項次 3：中子應用國家實驗室 126,819 (千元)；項次 4：土木建築 749,000 (千元)；項次 5：系統工程(輻防與 PRA)42,034 (千元)。</p>	
16	<p>十、營運規劃書(含財務評估) 捌、財務計畫 二、基本假設及預期收支 (一) 現金流入及流出項目 表 33、評估期間現金流量估算(未折現)</p>	<p>十、營運規劃書(含財務評估) 捌、財務計畫 二、基本假設及預期收支 (一) 現金流入及流出項目更新 表 33、評估期間現金流量估算(未折現)</p>	P.269
17	<p>十、營運規劃書(含財務評估) 捌、財務計畫 二、基本假設及預期收支 (二) 財務分析指標在 40 年的營運期間計算出內部報酬率 IRR 為 4.4% (此為實質報酬率，與名目報酬率之差異約等於通貨膨脹率，即 3%通貨膨脹率假設下之內部報酬率約 7.6%).....。此外，從淨現值方面來看，..... 設定 2%與 3%的情境下，淨現值分別為 10.2 億元，5.1 億元，...將產生 10.2 億元的正淨現值，同時益本比達到 1.2，...若考慮要求報酬率為 3%的情況，仍將產生正的 5.1 億元的淨現值，益</p>	<p>十、營運規劃書(含財務評估) 捌、財務計畫 二、基本假設及預期收支 (二) 財務分析指標在 40 年的營運期間計算出內部報酬率 IRR 為 3.9% (此為實質報酬率，與名目報酬率之差異約等於通貨膨脹率，即 3%通貨膨脹率假設下之內部報酬率約 7%).....。此外，從淨現值方面來看，..... 設定 2%與 3%的情境下，淨現值分別為 8.5 億元，3.5 億元，...將產生 8.5 億元的正淨現值，同時益本比達到 1.19，...若考慮要求報酬率為 3%的情況，仍將產生正的 3.5 億元的淨現值，益本比降為 1.09，在投資決策上仍為可行。若以未折現下之回收期間來看，本建置計畫約</p>	P.271

序號	原規劃	修正情形說明	修正處頁碼
	本比降為 1.1，在投資決策上仍為可行。若以未折現下之回收期間來看，本建置計畫約 22 年可回收成本，相當於在第 23 年為本計畫帶來正的現金流量。	24 年可回收成本，相當於在第 25 年為本計畫帶來正的現金流量。	
18	捌、財務計畫 二、基本假設及預期收支 (二) 財務分析指標更新 圖 21、各期累積現金流量圖	捌、財務計畫 二、基本假設及預期收支 (二) 財務分析指標更新 圖 21、各期累積現金流量圖	P.272
19	十、營運規劃書(含財務評估) 玖、風險分析 二、財務敏感性分析 估算出內部報酬率為 4.4%。.....，則內部報酬率稍微下降為 3.7%，若是未來營運成本上漲 10% 的情況，內部報酬率為 3.8%，...。其次，....，如果整體收入降低 10%，將使得內部報酬率為 3.2%，而在科研計畫... 內部報酬率為 3.5%，而核醫藥物... 內部報酬率為 3.5%。 設定 2% 與 3% 的情境下，淨現值分別為 10.2 億元，5.1 億元，....，將產生 11.2 億元的淨現值，益本比為 1.2，回收期間為 27 年，屬於可接受的投資計畫；若要求報酬率提高為 3%，投資計畫仍將產生正的淨現值，益本比為 1.1，回收期間為 31 年，在投資決策上仍屬可行。	十、營運規劃書(含財務評估) 玖、風險分析 二、財務敏感性分析 估算出內部報酬率為 3.9%。....，則內部報酬率稍微下降為 3.2%，若是未來營運成本上漲 10% 的情況，內部報酬率為 3.3%，....。 其次，.....，如果整體收入降低 10%，將使得內部報酬率為 2.8%，而在科研計畫...，內部報酬率為 3.1%，而核醫藥物...，內部報酬率為 3.0%。 設定 2% 與 3% 的情境下，淨現值分別為 8.5 億元與 3.5 億元，顯示若該項投資計畫的要求報酬率為 2% 下，將產生 8.5 億元的淨現值，益本比為 1.19，回收期間為 29 年，屬於可接受的投資計畫；若要求報酬率提高為 3%，投資計畫仍將產生正的淨現值，益本比為 1.09，回收期間為 34 年，在投資決策上仍屬可行。	P.277~278
20	十、營運規劃書(含財務評估) 玖、風險分析 二、財務敏感性分析	十、營運規劃書(含財務評估) 玖、風險分析 二、財務敏感性分析更新	P.278

序號	原規劃	修正情形說明	修正處頁碼
	圖 22、各期累積現金流量(折現率 2%)及圖 23、各期累積現金流量(折現率 4%)	圖 22、各期累積現金流量(折現率 2%)及圖 23、各期累積現金流量(折現率 3%)	
21	<p>十、營運規劃書(含財務評估)</p> <p>玖、風險分析</p> <p>二、財務敏感性分析</p> <p>表 36、本計畫案財務效益敏感度分析中，<u>現值內部報酬率(IRR) (%)</u>，如下。</p> <p>基本預估為 4.4%；情境 1: 總投資成本增加 10% 為 3.7%；情境 2: 營運成本上漲 10% 為 3.8%；情境 3: 整體收入降低 10% 為 3.2%；情境 4: 科研計畫自主運用收入降低(30%降至 10%) 為 3.5%；情境 5: 藥物銷售收入降低 10% 為 3.5%。</p> <p><u>淨現值(NPV)</u>，如下。</p> <p>情境 6，現折率 2%: 1,015,824(千元)；</p> <p>情境 7，現折率 3%: 511,892(千元)</p> <p><u>益本比(B/C)</u>，如下。</p> <p>情境 6，現折率 2%: 1.2；</p> <p>情境 7，現折率 3%: 1.1</p> <p><u>投資回收期數(payback period) (年)</u>，如下。</p> <p>情境 6，現折率 2%: 27(年)；情境 7，現折率 3%: 31(年)</p>	<p>十、營運規劃書(含財務評估)</p> <p>玖、風險分析</p> <p>二、財務敏感性分析</p> <p>表 36、本計畫案財務效益敏感度分析中，<u>現值內部報酬率(IRR) (%)</u>，如下。基本預估 為 3.9%；情境 1: 總投資成本增加 10% 為 3.2%；情境 2: 營運成本上漲 10% 為 3.3%；情境 3: 整體收入降低 10% 為 2.8%；情境 4: 科研計畫自主運用收入降低(30%降至 10%) 為 3.1%；情境 5: 藥物銷售收入降低 10% 為 3.0%。</p> <p><u>淨現值(NPV)</u>，如下。</p> <p>情境 6，現折率 2%: 854,495(千元)；</p> <p>情境 7，現折率 3%: 354,315(千元)</p> <p><u>益本比(B/C)</u>，如下。</p> <p>情境 6，現折率 2%: 1.19；</p> <p>情境 7，現折率 3%: 1.09</p> <p><u>投資回收期數(payback period) (年)</u>，如下。</p> <p>情境 6，現折率 2%: 29(年)；</p> <p>情境 7，現折率 3%: 34(年)</p>	P.277
22	計畫時程表及各子項分年策略	計畫時程表及各子項分年策略	P.51、54、56、59、63、281~285

目錄

壹、基本資料.....	1
貳、計畫緣起.....	4
一、依據.....	7
二、未來環境預測說明	8
三、問題評析	20
四、社會參與及政策溝通情形	28
參、計畫目標	35
一、目標說明.....	35
二、績效指標、衡量標準及目標值	37
肆、現行相關政策及方案之檢討.....	39
伍、執行策略及方法	40
一、主要工作項目	40
二、分期(年)執行策略	48
三、執行步驟(方法)與分工	63
陸、期程與資源需求.....	70
一、計畫期程	70
二、經費來源及計算基準	70
三、經費需求(含分年經費)及與中程歲出概算額度配合情形	70
柒、預期效果及影響	73
捌、財務計畫	90
玖、附則	94
一、替選方案之分析及評估	94

二、風險管理	95
三、相關機關配合事項	110
四、中長程個案計畫自評檢核表及性別影響評估檢視表	111
五、參考文獻	126
六、儀器設備需求	133
七、原能會自評會議紀錄	150
八、114-117 年度中長程個案計畫審查會議紀錄	151
九、其他補充資料-選擇方案及替代方案之成本效益分析	157
十、行政院審查意見及答復說明	163
十一、行政院核定函及第一次變更核復函	175
十二、營運規劃書(含財務評估)	177

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	核能安全委員會				
預定執行機關 (單位或機構)	核能安全委員會				
預定計畫 主持人	姓名	林歲士		職稱	科長
	服務 機關	核能安全委員會			
	電話	02-22322080		電子郵件	stan@nusc.gov.tw
資源投入	112	人事費	-	土地建築	55,550
		材料費	4,265	儀器設備	173,652
		其他經常支出	10,447	其他資本支出	3,595
		經常門小計	14,712	資本門小計	232,797
		經費合計(千元)		247,509	
		人力(人/年)		79	
	113	人事費	-	土地建築	158,300
		材料費	9,080	儀器設備	157,988
		其他經常支出	20,955	其他資本支出	5,977
		經常門小計	30,035	資本門小計	322,265
		經費合計(千元)		352,300	
		人力(人/年)		80	
	114	人事費	-	土地建築	390,364
		材料費	4,475	儀器設備	414,793
		其他經常支出	13,192	其他資本支出	5,520
		經常門小計	17,667	資本門小計	810,677
		經費合計(千元)		828,344	
		人力(人/年)		79	
	115	人事費	-	土地建築	144,786
		材料費	9,275	儀器設備	180,808
		其他經常支出	47,255	其他資本支出	697
		經常門小計	56,530	資本門小計	326,285
		經費合計(千元)		382,821	
		人力(人/年)		78	

全程期間	112 年 01 月 01 日 至 115 年 12 月 31 日
計畫重點描述	<p>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。</p> <p>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(國家原子能科技研究院)、70-230 MeV 高能質子迴旋加速器 3 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。</p> <p>國家原子能科技研究院擁有全國唯一一座 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(112~115 年)在國家原子能科技研究院建置一座國家級 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。</p> <p>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。</p> <p>本計畫 112 年至 115 年預估總經費為新台幣 1,810,974 千元；屬「科技發展性質」的預算經費為 1,061,974 千元 (占 59%)，屬「公共建設性質」的預算經費為新台幣 749,000 千元(占 41%)。總經費新台幣 1,810,974 千元，其中，資本門 1,692,030 千元 (占</p>

	<p>93.4%) 與經常門 118,944 千元 (6.6%)；分述如下：(1)資本門 1,692,030 千元：屬於資本門之實驗室設備設施經費 943,030 千元 (占 56%)以及屬於公共建設性質之實驗室設備設施經費 749,000 千元 (占 44%)。(2)經常門 118,944 千元均屬於科技發展性質經費。</p> <p>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。</p>			
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	陳建中	職稱	副研究員
	服務機關	核能安全委員會		
	電話	02-22322077	電子郵件	ccchen@nusc.gov.tw
	姓名	徐碧璘	職稱	簡任副研究員兼副所長
	服務機關	國家原子能科技研究院		
	電話	03-4711400 轉 6097	電子郵件	plhsu@nari.org.tw

貳、計畫緣起

(109)年全界飽受 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，核能安全委員會(由原子能委員會改制，以下簡稱核安會)補助國家原子能科技研究院(由核能研究所改制，以下簡稱國原院)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。

核安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，戮力貢獻於社會安全、民生健康福祉、促進經濟成長與國家發展，與世界各國同步，追求國家的永續發展。核安會補助之國原院持續投入原子能與輻射應用相關領域之研究發展，參與國內核醫藥物與高階醫材之開發，積極推動各項衍生科技，已成功應用於微電網、儲能、太陽能、風能、生質能等綠能領域，儲蓄豐沛的研發能量。

國原院的 30 MeV 中型迴旋加速器已運轉 28 年，各項重要任務之一為國內短半衰期核醫藥物的生產與供應，經二十餘年的努力耕耘，國原院展現出具規模的豐碩成果，包括：自主穩定供應高品質放射性同位素與核醫藥物。所開發的心臟、腫瘤、甲狀腺、神經/精神、腦血流造影…等核醫藥物，已提供國內學研醫界，協助進行疾病病程的診斷或治療處置評估、平穩進口核醫藥物價格波動、成為國內核醫藥物研究發展重鎮並造福國內病患超過 125 萬人次以上。

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，國原院緊急投入生產，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，更突顯國原院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(如圖 1)與未來發展效益(如圖 1[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理制，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，屬於國原院機構的本職業務，國原院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，國原院也是執行此計畫最恰當的機構。

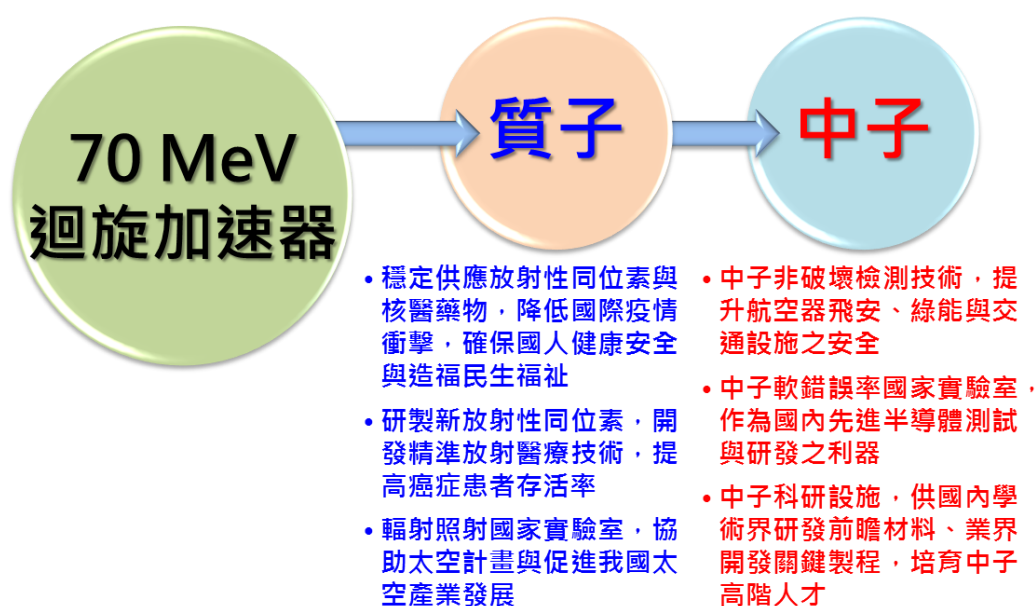


圖 1、設施功能



圖 2、設施未來效益

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)，國原院既有設施以及三座高能質子迴旋加速器 (70-230 MeV)，位於林口長庚醫院、高雄長庚醫院台北醫學大學附設醫院，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)	氙核能量(MeV)	電流(μA)
1	台北榮總	1992	(Sweden) Scanditronix	MCI7F	17		80
2	國原院(NARI)	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 (μ A)
12	林口長庚	2015	(Japan) Sumitomo Heavy Industries	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 Heavy Industries	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
16	台北醫學大學附設醫院	2022	(Belgium) IBA	Proton Therapy System	110-226.7		<1

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-111)、鎵-67(Ga-67)與鉍-201(Tl-201)。以及高能質子迴旋加速器 (70-230 MeV 或 110-226.7MeV)，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。

國原院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，國原院緊急投入生產與供應國內醫療急迫所需之「氯化亞鉍(鉍-201)注射劑」與「檸檬酸鎵(鎵-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「氯化亞鉍(鉍-201)注射劑」與「檸檬酸鎵(鎵-67)注射劑」，國內僅能由國原院自行產製供應，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」是下一世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 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)

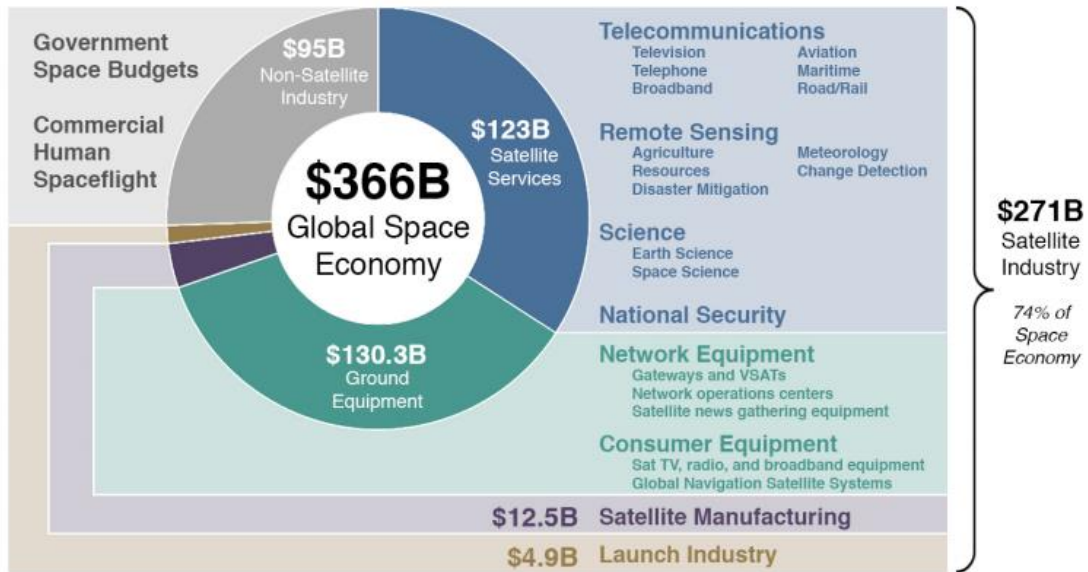


圖 3、2019 年全球太空產業總值

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，國原院建立 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) 的質子源功率升級從 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。

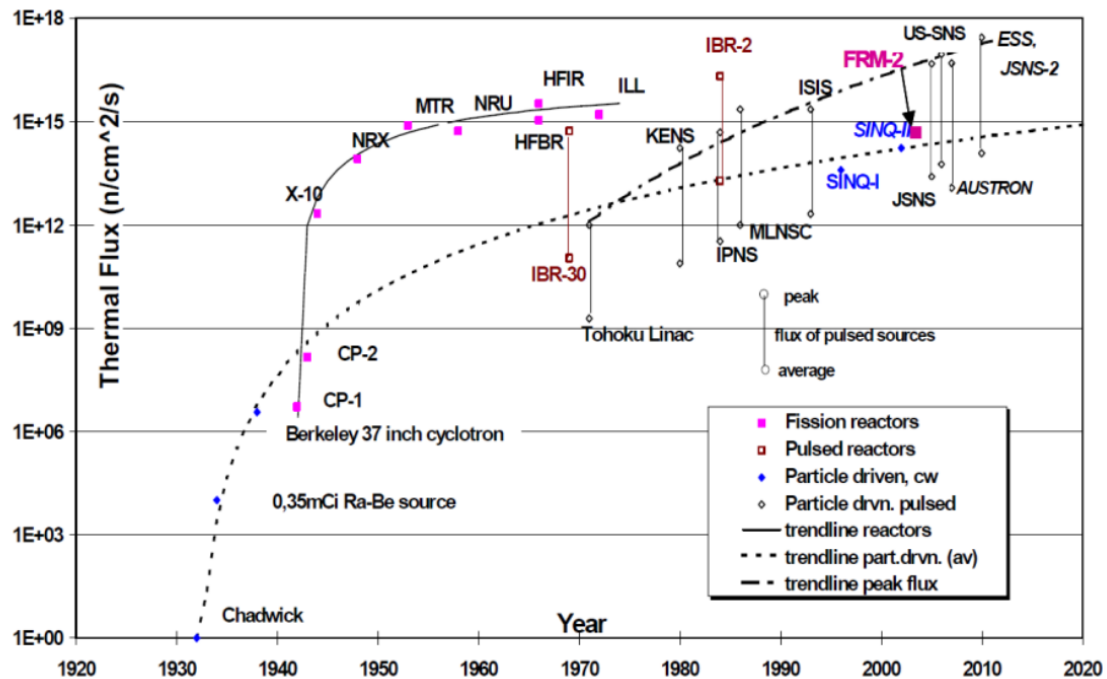


圖 4、國際中子源發展歷史軌跡[33]

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。

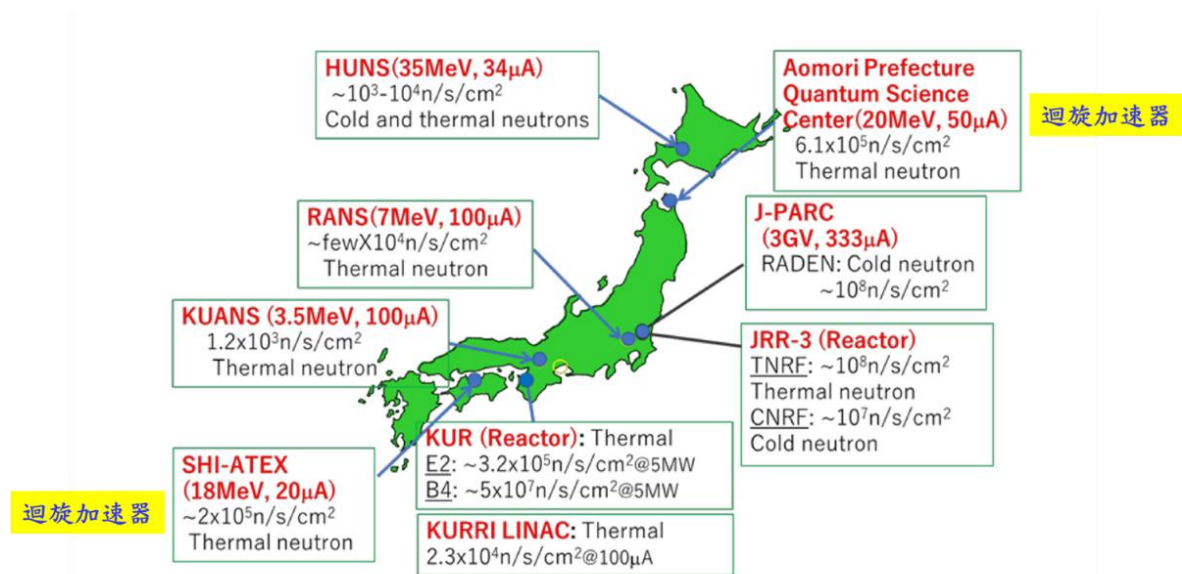


圖 5、日本的中子源分布圖[35]

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，國原院若能藉 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

國原院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」在國內僅能由國原院自行產製供應。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，國原院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、釷-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 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。

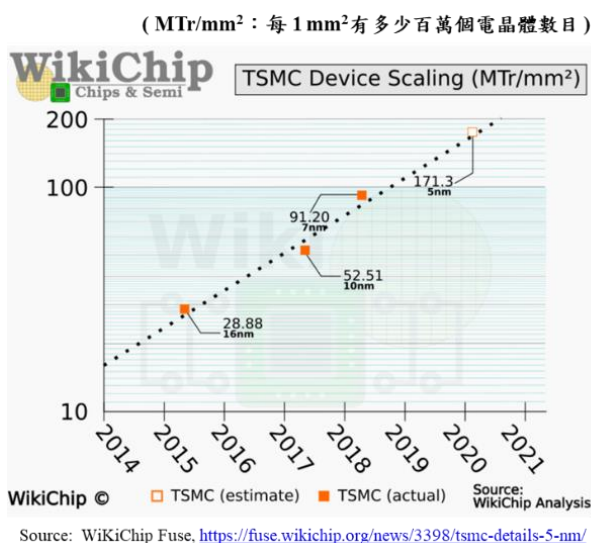


圖 6、台積電 IC 元件製程技術發展趨勢[44]

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 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。

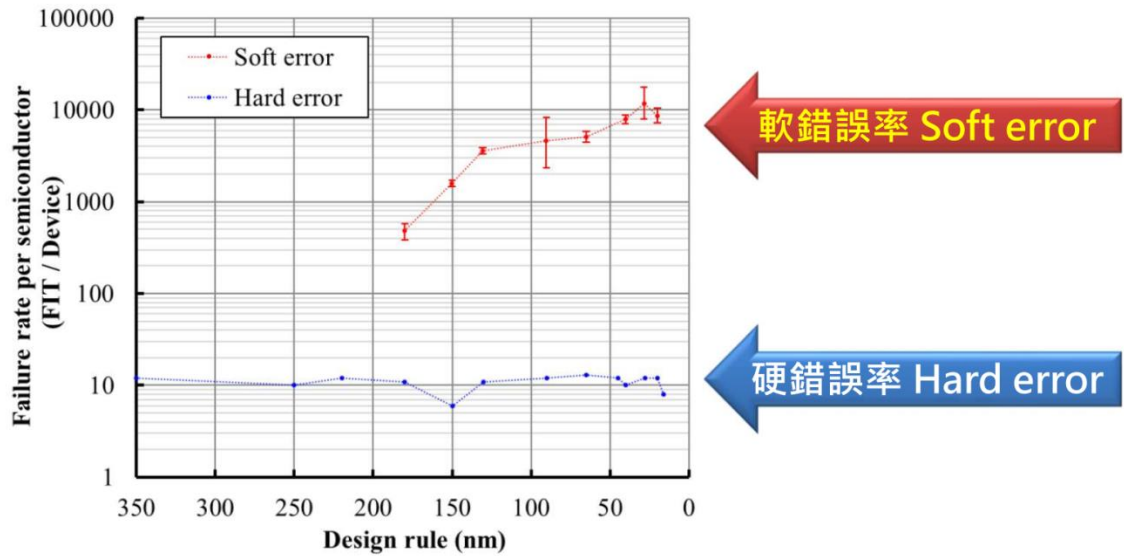


圖 7、記憶體軟錯誤率與半導體設計線寬之關係[46-48]

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，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。

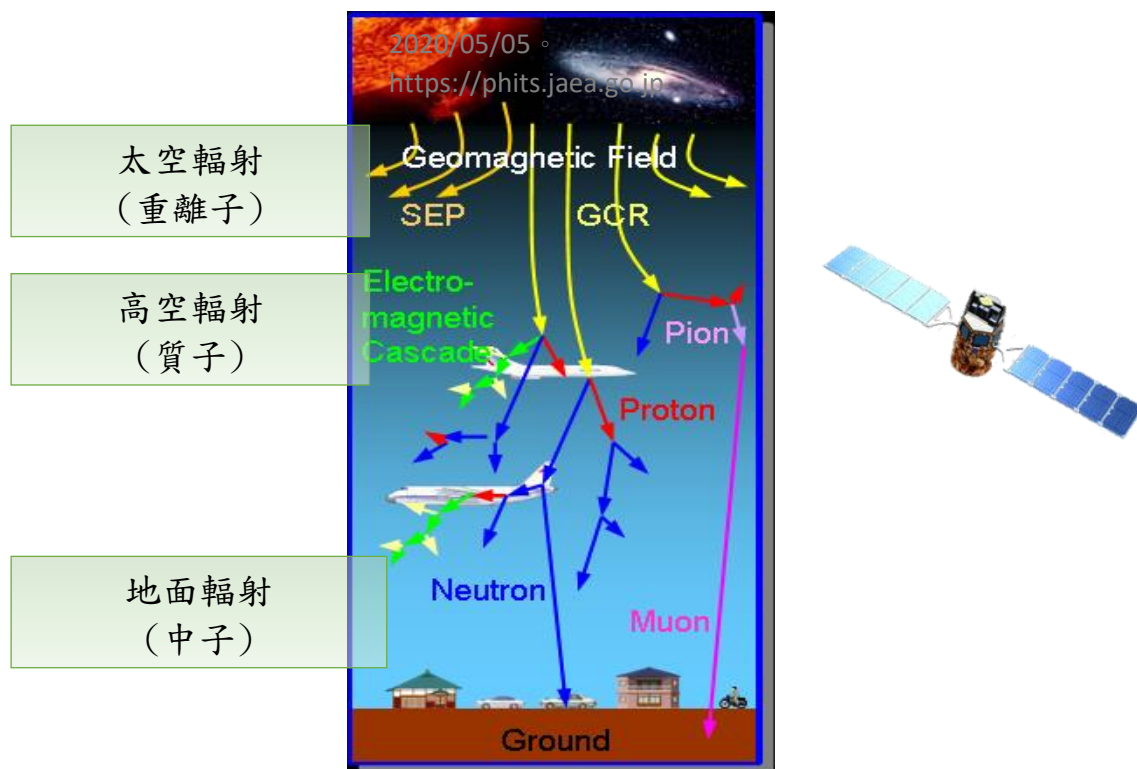


圖 8、宇宙射線輻射分佈

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。

國原院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

國原院 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。國原院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，國原院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、鈾-67、錫-117m 與銨-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。國原院目前與太空中心長期合作，利用國原院的 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，依國原院紀錄資料，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國原院簽訂合作協議，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。國原院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 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%。

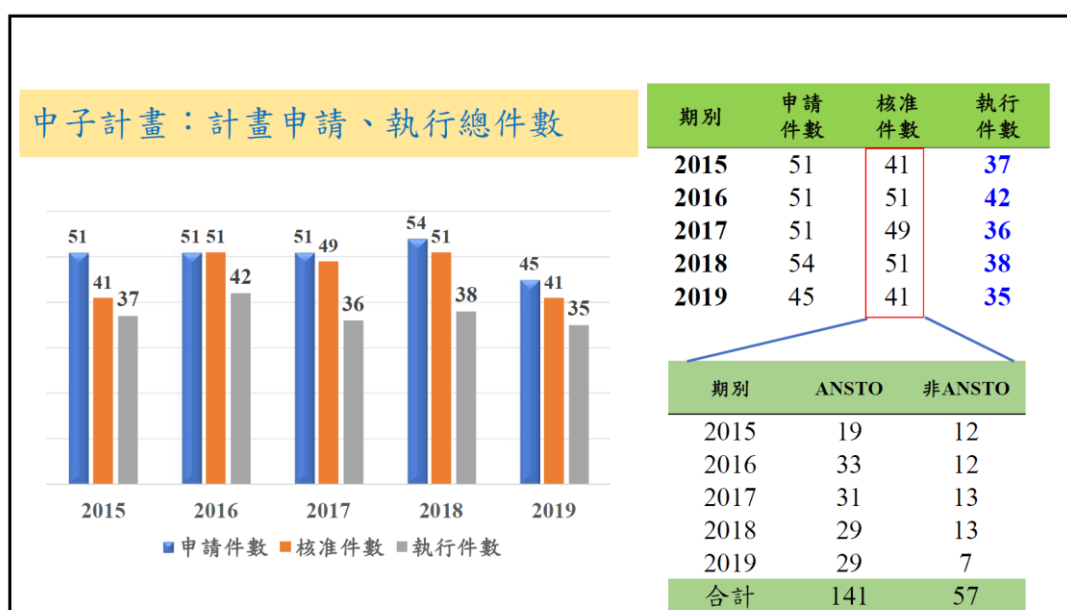
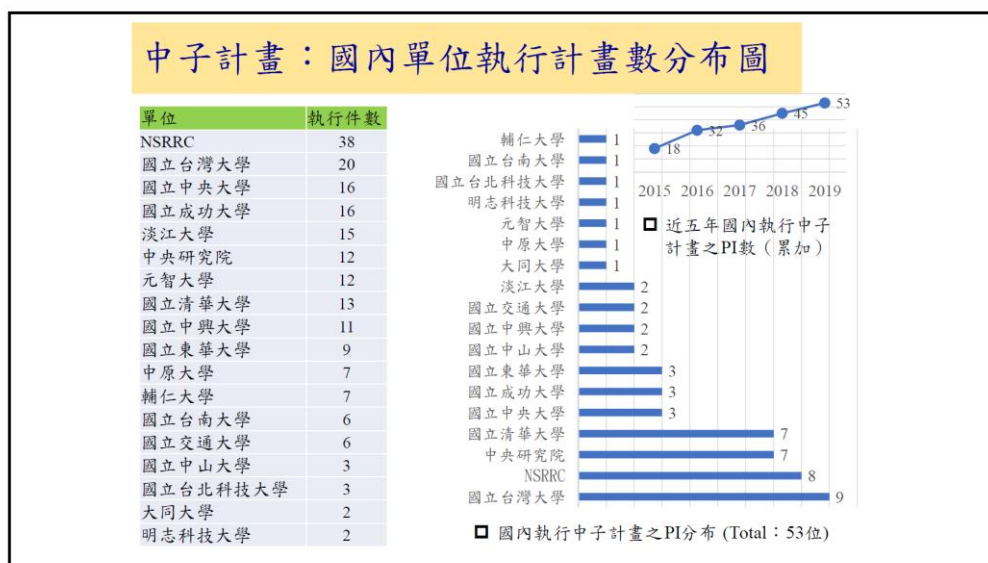


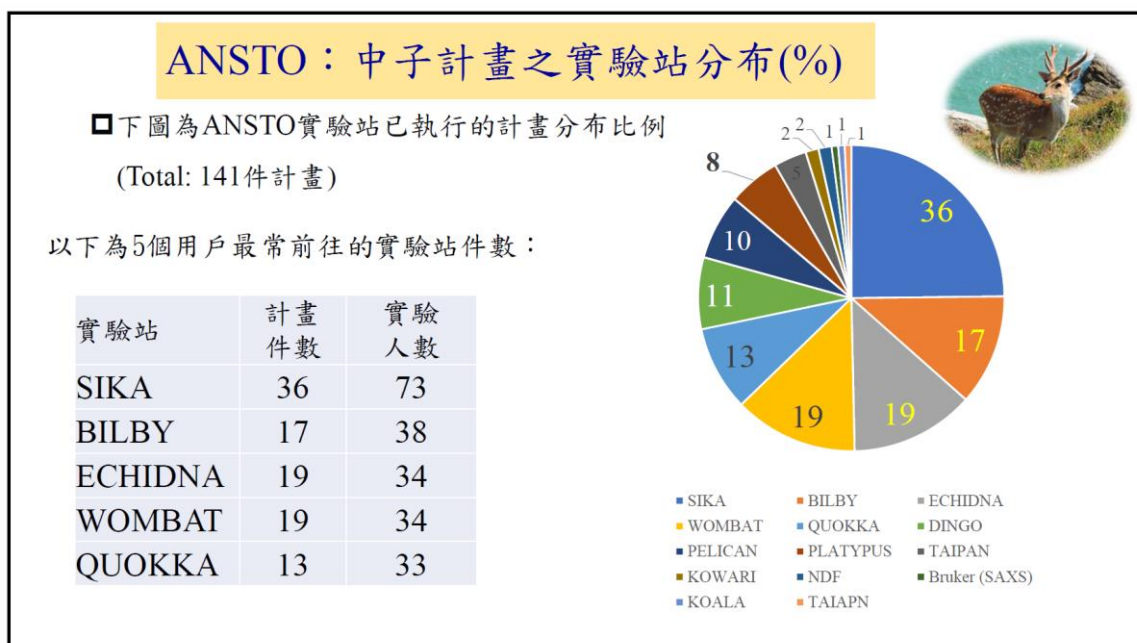
圖 9、2015-2019 年間國內中子計畫申請、執行總件數統計[43]

圖 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 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 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。國原院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

109 年 4 月初核研所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，太空中心與中研院研究人員於核研所進行測試。109 年 7 月 21 日核研所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

核安會補助國原院 70 MeV 迴旋加速器建置計畫，區分先期計畫(概念設計)與本期計畫(設施/設備建置)(四年預估總經費為新台幣 1,810,974 千元)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)：國原院已擬訂「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	121
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

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 $\geq 10^{15} \text{ n/s}$ 。 4-2 完成快中子照相設施建置，鋼材檢測厚度 $\geq 5 \text{ cm}$ 。 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 $\geq 10^6 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$ 。
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，未來直接向國原院申請提供此服務，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，國原院參考國際作法，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 111~125 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，前述第(1)、(2)、(3)與(5)項屬於科技發展性質；第(4)項屬於公共建設性質。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。

時程規劃

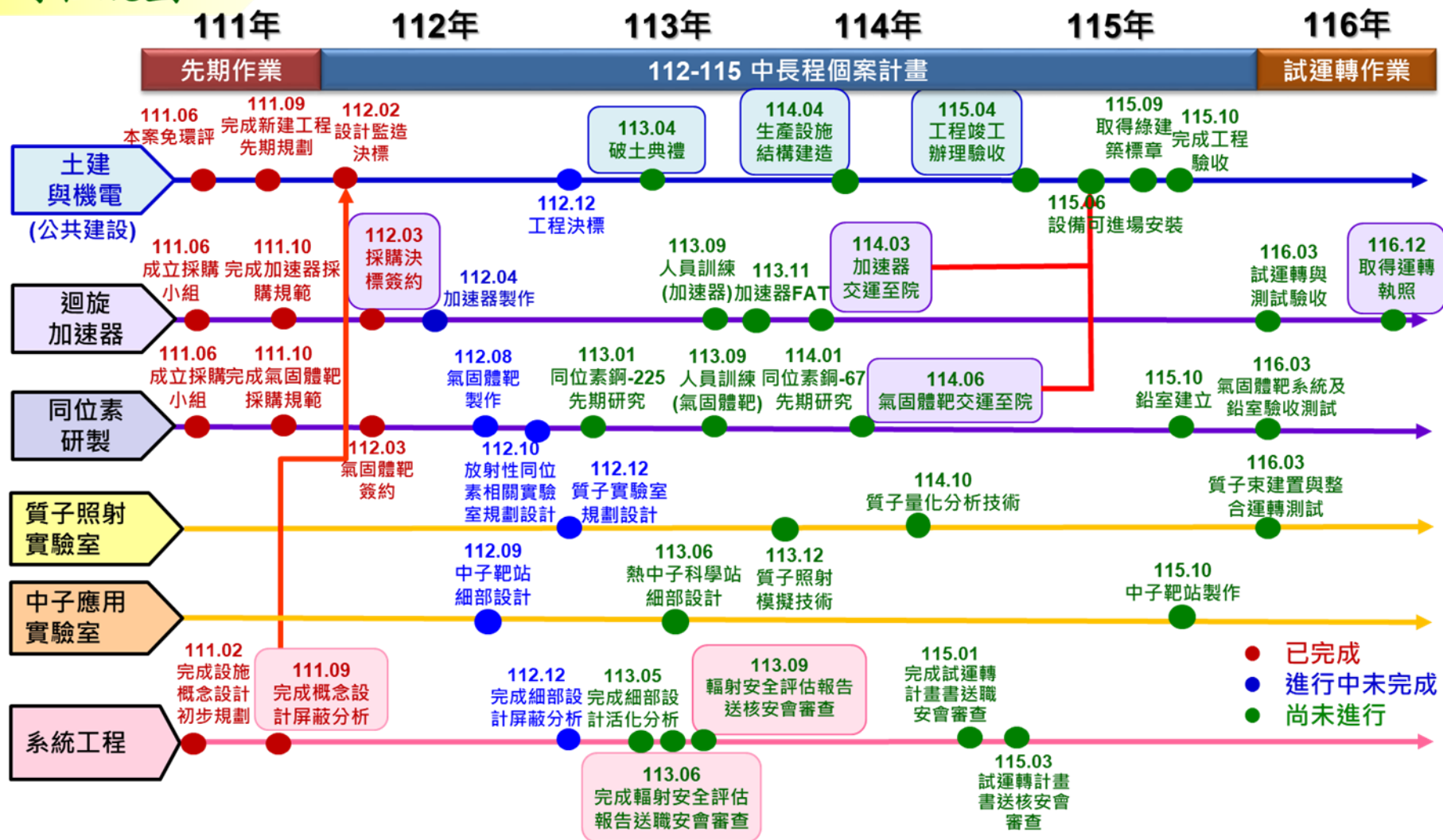


圖 14、70 MeV 迴旋加速器建置計畫之工作關聯圖

1. 迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室 (科技發展性質)

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，由國原院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 氣固體靶規格訂定及廠家評選：依據計畫需求訂定氣固體靶基本規格需求，收集國外氣固體靶製造廠家，並請其提供所生產氣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 氣固體靶採購案成立(規格審查、開標、訂約)：按經評選廠家和固體靶規格建立購案，由國原院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 氣固體靶運轉人員之駐廠訓練、現場安裝測試：選派未來氣固體靶運轉人員赴原廠接受駐廠訓練，並於氣固體靶現場安裝期間協助廠家安裝及測試事項，並同時接受氣固體靶運轉訓練。

2. 質子照射驗證分析國家實驗室 (科技發展性質)

- 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 (科技發展性質)

- 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(公共建設性質)

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，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：與前述土建工程統一進行發包評選廠商工作，並配合前述土建工程施工工期執行本項目，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：參照國原院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。

5. 系統工程 (科技發展性質)

5.1 射源項模擬計算與分析

5.1.1 加速器本體及各靶室之中子與光子能譜的模擬計算：根據加速器本體室、同位素生產靶室、快中子與熱中子靶室以及質子照射室的設計，建立各室中子與光子能譜分析模式，完成相關計算與分析，提供輻射屏蔽安全分析所需之重要依據。

5.1.2 加速器本體及各靶室空間網格之中子能譜模擬計算：建立加速器本體室、同位素生產靶室、快中子與熱中子靶室以及質子照射室等三維空間網格之中子能譜計算模式，完成相關計算與分析，提供活化產物評估所需之重要依據。

5.1.3 協助輻射安全評估報告撰寫與審查：協助撰寫輻射安全評估報告有關屏蔽與活化之中子與光子射源項分析之章節，並協助後續送審與意見回覆相關工作。

5.2 輻射安全評估

5.2.1 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。

5.2.2 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。

5.2.3 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。

5.2.4 院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國原院外各關鍵點進行所外民眾劑量評估，保障民眾之輻射安全。

5.3 系統可用度提升

運用量化風險評估(Probabilistic Risk Assessment, PRA)相關方

法[53,54]，整合設備可靠度程序，如圖 15 所示，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，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。

5.3.1 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。

5.3.2 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。

5.3.3 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。

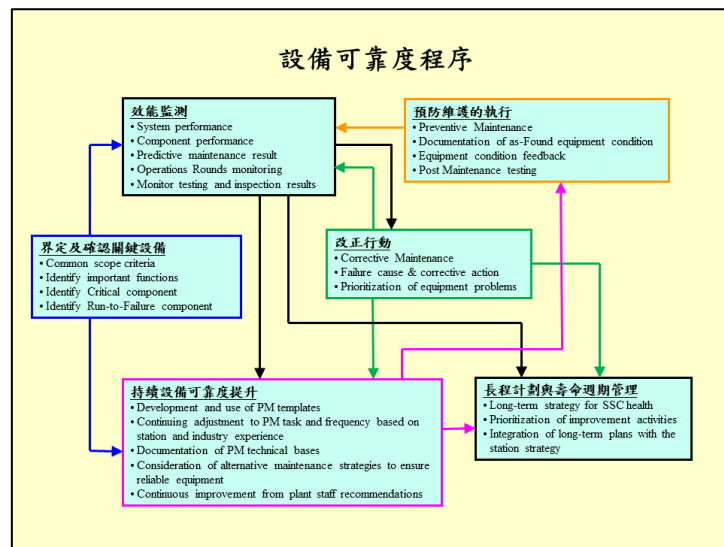


圖 15、設備可靠度程序

(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(科技發展性質)(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 116 年為試運轉期)

110-112 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)。
- 迴旋加速器廠商與國原院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。

112-114 年

- 迴旋加速器原廠製造。
- 迴旋加速器運轉人員赴國外駐廠訓練。(113-114 年)

114 年

- 迴旋加速器原廠製造完成。
- 迴旋加速器交運至國原院。

115-116 年

- 迴旋加速器現場安裝、測試。

- 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鉈-201 放射性同位素與碘-123 放射性同位素生產設施，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。鉈-201 醫用同位素生產設施固體靶系統與碘-123 放射性同位素生產設施氣體靶系統分年工作如下：(116 年為試運轉期)

112 年

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

112-114 年

- 氣體與固體靶系統原廠製造。
- 氣體與固體靶運轉人員赴國外駐廠訓練。(113-114 年)

114 年

- 氣體與固體靶系統原廠製造完成交運至國原院。

115-116 年

- 氣體與固體靶系統現場安裝測試。(配合加速器時程)
- 氣體與固體靶運轉人員現場訓練。
- 同位素生產鉛室設施建立。

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	112	113	114	115	116
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	111/01	111/12					
	迴旋加速器規格訂定	111/07	111/12					
	迴旋加速器採購案成立(規格審查、開標)	112/01	112/03	■				
	規格規定與採購訂約	112/04	112/06	■				
	迴旋加速器原廠製造與交運本院	112/04	114/03	■	■	■		
	迴旋加速器現場安裝，測試及驗收	115/06	116/03				■	■
	迴旋加速器原廠運轉人員赴國外駐廠訓練	113/09	114/12		■	■		
	迴旋加速器原廠運轉人員現場訓練	115/06	116/03				■	■
	氣固體靶之採購簽約與廠家製造，以及交運本院	112/04	114/06	■	■	■		
放射性同位素研製家實驗室	氣固體靶現場安裝，測試及驗收	115/06	116/03				■	■
	同位素生產鉛室設施建立	115/10	115/12				■	

2. 質子照射驗證分析國家實驗室 (科技發展性質) (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：

112 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)。

113 年

- 發展質子照射模擬技術與質子束射線量化技術，並於國原院 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。

114 年

- 完善質子照射模擬分析與質子量化分析平台設備，完成質子射線量化技術，並於國原院 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。
- 完善射束定位系統架設，建置質子劑量與劑量分布評估與量測系統。
- 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。

115 年

- 整合質子照射模擬分析平台、質子量化分析平台與周邊附屬設施，執行質子射束運轉測試(配合迴旋加速器試運轉與驗收)，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。
- 質子射束參考點劑量、劑量分布、射程(能量)驗證，與射束標準化。

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	112	113	114	115	116
質子照射實驗 室建置	質子照射模擬分析平台建置	112/01	113/12	■	■	■		
	質子射線量化分析平台建置	112/07	114/10		■	■	■	■
	其他附屬設施(輻射監測、控制等)建置	113/01	115/12		■	■	■	■
	質子射束(含準直器)建置與運轉測試	114/01	115/12			■	■	■

3. 中子應用研究國家實驗室(科技發展性質)(表 5)

建置中子源靶站及中子束分析設施如快中子測試平台、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、輻防規劃評估報告撰寫、設施的採購及測試、人員培訓等，分年主要工作項目如下：

112 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。

113 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射安全評估報告撰寫。
- 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。

114 年

- 中子源靶站及各中子照射分析平台的輻射安全評估報告撰寫
- 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。
- 中子靶站及設施的場地整建及週邊支援系統設計研究。

115 年

- 中子源靶站及各中子照射分析平台測試與屏蔽設計研究。
- 中子源靶站及各中子照射分析平台的試運轉報告之撰寫。
- 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設計。

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	112	113	114	115
靶站及準直器	需求討論與概念設計	111/01	112/04	■			
	赴國外研究機構學習靶站及準直器設計	112/04	113/04	■	■		
	細部工程設計	112/09	113/12		■	■	
	採購案申請、開標及合約訂立	113/04	114/06			■	■
	靶站及準直器建置及安裝	114/06	115/10			■	■
中子應用儀器	概念設計與供應商調查	111/01	112/04	■			
	赴國外研究機構學習繞射及影像分析	112/04	113/04	■	■		
	儀器規格確定	113/04	113/10		■		
	熱中子科學站細部設計	113/06	113/10		■		
	採購案申請、開標及合約訂立	113/10	114/04			■	
	儀器製作	114/04	115/10			■	■

4. 土木工程建造 (公共建設性質) (表 6)

4.1 館舍土木工程評估及新建作業

112 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。

113 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。

114 年

- 上部結構工程開始施工。
- 迴旋加速器之支撐基座施工。
- 輻射屏蔽牆、屏蔽樓板與屏蔽屋頂施工。

115 年

- 辦公室、公共空間與無障礙設施完成。
- 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。

4.2廠用系統設計及建廠試運轉作業

112 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。

113 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，以及依儀器接地需求進行地質電阻改良。

114 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。

115 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。
- 完成廠用系統設計及建廠試運轉作業與驗收。

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	112	113	114	115
土木工程評估及 新建作業	規劃、設計與地質調查	112/01	112/12	■			
	地盤改良工程	113/04	113/07		■		
	下部結構(基礎工程)	113/07	114/03		■		
	上部結構工程	114/04	114/12			■	
	建築裝修工程	114/10	115/04				■
廠用系統設計及 建廠試運轉作業	通風、空調	114/06	114/10			■	
	電氣、儀控、機械設備	114/10	115/04				■
	水、氣、消防	114/06	115/09			■	■
	廢棄物管理及周邊系統	114/12	115/04				■
	公共設施	114/12	115/04				■
	測試、調整及試運轉	115/04	115/12				■

5. 系統工程 (科技發展性質) (表 7)

5.1 射源項模擬算與分析

根據子項計畫一、二及三的設計，模擬計算加速器本體室與各靶室及照射室產生之中子及光子等放射性射源，以提供後續輻射屏蔽分析與活化產物評估。

112 年

- 建立各室之中子與光子能譜 MCNP 計算模式。
- 建立各室三維空間網格中子能譜 MCNP 計算模式。

113 年

- 進行完成各室之中子與光子能譜計算。
- 完成各室之三維空間網格中子能譜計算。
- 撰寫輻射安全評估報告有關屏蔽與活化之射源項分析章節。

114 年

- 回覆射源項模擬計算相關審查意見，協助輻射安全評估報告通過核安會審核。

115 年

- 協助完成加速器試運轉計畫所需之射源項分析，取得加速器安裝許可。

5.2 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。

112 年

- 建立加速器室及各靶室與照射實驗室分析計算模型，完成建物主屏蔽分析與劑量評估。

113 年

- 完成細部設計屏蔽分析計算。
- 完成細部設計活化產物評估。
- 完成加速器廠館工作人員劑量評估。
- 完成輻安評估報告相關章節撰寫。

114 年

- 回覆屏蔽與活化分析相關審查意見，協助輻射安全評估報告通過核安會審核。

115 年

- 協助完成加速器試運轉計畫所需之屏蔽與活化分析，取得加速器安裝許可。

5.3 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。

112 年

- 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數據和系統設計相關文件，釐清各系統功能與特性。

113 年

- 解析迴旋加速器各系統組件及關聯性。
- 建立系統故障樹運跑模型，研究可能失效組合。

114 年

- 以可用資料估算 70MeV 迴旋加速器組件失效率，識別系統關鍵潛在弱點。
- 研析原廠各系統與設備之維護保養計畫。

115 年

- 建立加速器運轉妥善率管控與維護流程，優化運維作業程序。

表 7、系統工程之分年策略

系統工程	工作項目	起	訖	112	113	114	115
射源項模擬計算與分析	加速器主體及各靶室、照射室之點射源中子與光子能譜的模擬計算(屏蔽)	112/01	112/11	■			
	加速器主體及各靶室、照射室之空間中子能譜的模擬計算(活化)	112/01	113/05	■	■		
	協助撰寫輻安評估報告並回覆審查意見	113/03	114/03		■	■	
	協助完成加速器試運轉計畫所需之射源項分析，取得加速器安裝許可	114/04	115/12			■	■
輻射安全評估	輻射屏蔽分析	112/01	112/12	■			
	活化產物評估	112/01	113/05	■	■		
	人員劑量評估及輻防措施規劃	113/01	113/05		■		
	完成輻安評估報告相關章節撰寫並回覆審查意見	113/03	114/03		■	■	
	協助完成加速器試運轉計畫所需之屏蔽與活化分析，取得加速器安裝許可	114/04	115/12			■	■
系統可用度提升	迴旋加速器運維策略研析	112/01	113/12	■	■		
	迴旋加速器試運轉資料蒐集與系統弱點分析	113/01	115/06		■	■	■
	迴旋加速器運維策略擬定	114/07	115/12			■	■

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(科技發展性質)

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 迴旋加速器交運至國原院。
- 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 氣固體靶系統廠商資料獲得與評選。
- 1.2.2 氣固體靶系統規格訂定和購案成立。
- 1.2.3 氣固體靶系統原廠製造。
- 1.2.4 氣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 氣固體靶系統交運至國原院。
- 1.2.7 氣固體靶系統現場安裝測試。
- 1.2.8 氣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(科技發展性質)

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(科技發展性質)

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 (公共建設性質)

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：配合國原院低放射性廢棄物

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。

5. 系統工程 (科技發展性質)

5.1 射源項模擬計算與分析

5.1.1 加速器主體及各靶室、照射之點射源中子與光子能譜的模擬計算(屏蔽)：針對各輻射源項，利用蒙地卡羅程式 MCNP，進行點射源之中子與光子能譜的模擬計算與分析，作為輻射屏蔽分析之依據。

5.1.2 加速器主體及各靶室、照射之空間中子能譜的模擬計算(活化)：針對各輻射源項，利用蒙地卡羅程式 MCNP，進行三維空間之中子能譜的模擬計算與分析，作為活化產物評估之依據。

5.1.3 協助撰寫輻射安全評估報告並回覆審查意見：協助撰寫輻射安全評估報告第三章輻射屏蔽計算與第五章活化產物評估與處理，並回覆送審後之審查意見的回覆。

5.1.4 協助完成加速器試運轉計畫所需之射源項分析，取得加速器安裝許可：配合加速器本體及各靶室及照射室的試運轉規畫，進行相關之射源項分析，協助取得加速器安裝許可

5.2 輻射安全評估

5.2.1 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。

5.2.2 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。

5.2.3 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。

5.2.4 完成輻射安全評估報告相關章節撰寫並回覆審查意見：完成輻射安全評估報告第三章輻射屏蔽計算、第五章活化產物評估與處理以及第六章人員劑量評估，並回覆送審後之審查意見的回覆。

5.2.5 協助完成加速器試運轉計畫所需之屏蔽與活化分析，取得加速器安裝許可：配合加速器本體及各靶室及照射室的試運轉規畫，進行相關之屏蔽與活化分析，協助取得加速器安裝許可。

5.3 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：

5.3.1 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。

5.3.2 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。

5.3.3 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 112 年至 115 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 1,810,974 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 1,810,974 千元（經費編列詳見表 8）；

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

- (一) 本計畫 112 年至 115 年預估總經費為新台幣 1,810,974 千元；屬「科技發展性質」的預算經費為 1,061,974 千元（占 59%），屬「公共建設性質」的預算經費為新台幣 749,000 千元（占 41%）。總經費新台幣 1,810,974 千元，其中，資本門 1,692,030 千元（占 93.4%）與經常門 118,944 千元（6.6%）；分述如下：(1)資本門 1,692,030 千元：屬於資本門之實驗室設備設施經費 943,030 千元（占 56%）以及屬於公共建設性質之實驗室設備設施經費 749,000 千元（占 44%）。(2)經常門 118,944 千元均屬於科技發展性質經費。(70 MeV 迴旋加速器本體與射束線之預估經費，請參見捌、附則(六)儀器設備需求，附錄一、儀器設備需求與送審彙總表（第 131~149 頁）。

經常門	資本門
-----	-----

項目 子項計畫	科技發展	(公共建設 性質之) 工程管理	科技發展	公共建設	小計 (千元)	總經費 (千元)
(一) 迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室	49,074	-	791,735	-	840,809	1,810,974
(二) 質子照射驗證分析國家實驗室	18,231	-	34,081	-	52,312	
(三) 中子應用研究國家實驗室	16,434	-	110,385	-	126,819	
(四) 土木工程建造(土建與機電)	-	-	-	749,000	749,000	
(五) 系統工程(輻防與PRA)	35,205	-	6,829	-	42,034	
小計	118,944	-	943,030	749,000		
(小計) 經費百分比	100%	0%	56%	44%		
合計	118,944		1,692,030			
(合計) 經費百分比	6.6%		93.4%			

(二) 預算分年經費需求，如表 8 所示：

1. 112 年度：共計 247,509 千元，其中資本門 232,797 千元(占 94%)，經常門 14,712 千元(占 6%)。

2. 113 年度：共計 352,300 千元，其中資本門 322,265 千元(占 91%)，經常門 30,035 千元(占 9%)。

3. 114 年度：共計 828,344 千元，其中資本門 810,677 千元(占 98%)，經常門 17,667 千元(占 2%)。

4. 115 年度：共計 382,821 千元，其中資本門 326,291 千元(占 85%)，經常門 56,530 千元(占 15%)。

表 8、各子項計畫之分年經費規劃表

年度	112		113		114		115		小計 (千元)
項目 子項	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	3,650	172,349	12,245	133,129	130	373,878	33,049	112,379	840,809
(二) 質子照射驗證分析國家實驗室	3,277	1,551	6,310	13,521	4,466	12,552	4,178	6,457	52,312
(三) 中子應用研究國家實驗室	3,461	3,335	4,376	10,498	3,850	33,883	4,747	62,669	126,819
(四) 土木工程建造 (土建與機電)	0	55,550	0	158,300	0	390,364	0	144,786	749,000
(五) 系統工程(輻防與 PRA)	4,324	12	7,104	6,817	9,221	0	14,556	0	42,034
小計	14,712	232,797	30,035	322,265	17,667	810,677	56,530	326,291	
經費百分比	6%	94%	9%	91%	2%	98%	15%	85%	
合計(經常門+資本門)	247,509		352,300		828,344		382,821		
總經費	1,810,974								

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 1,810,974 千元。

二、預期效果及影響

國原院 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)

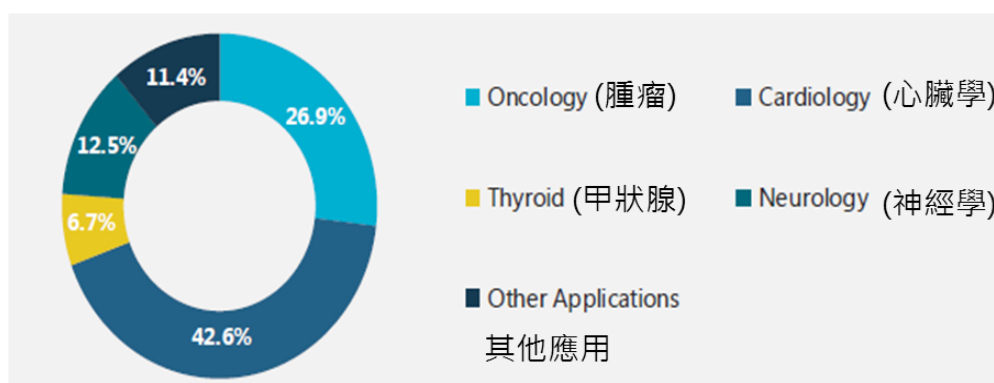


圖 16、核醫學放射性同位素市場 (依醫學應用領域分類)

另外，從放射性同位素類型來看，市場收入百分比依序為鎝-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

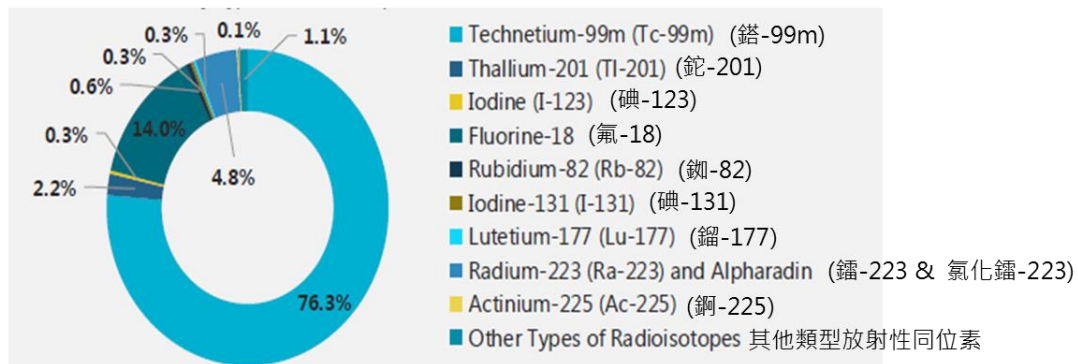


圖 17、核醫學放射性同位素市場 (依放射性同位素分類)

其中，鉍-201 是國內目前僅能由國原院之 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，如圖所示。

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

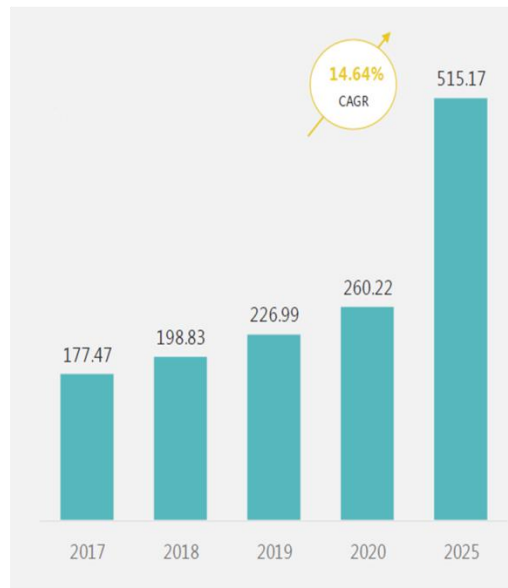


圖 18、2017-2025 全球營業收入：鉈-201

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。例如鉈-225。鉈-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.公司開發鉈-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。鉈-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 期間鉈-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，如圖所示。

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

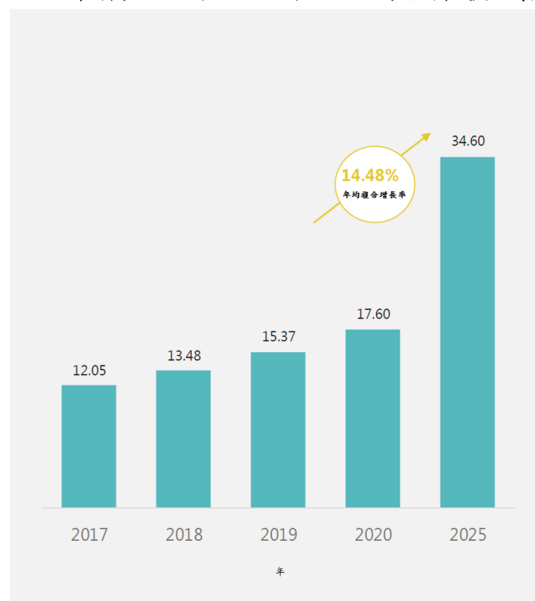


圖 19、2017-2025 全球營業收入：銅-225

除銅-225 外，銅-67、錫-117m 與銥-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、氦核或是 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 $\text{Sb-nat}(p, 2p3n \text{ 或 } p, 2p5n) \text{Sn-117m}$ 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。

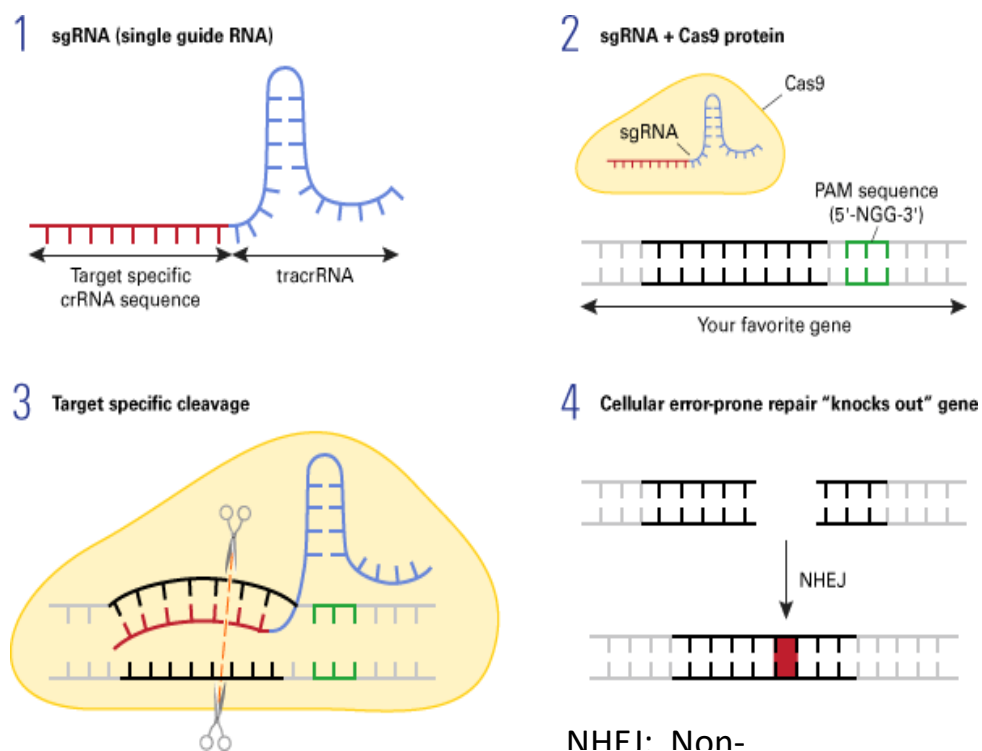


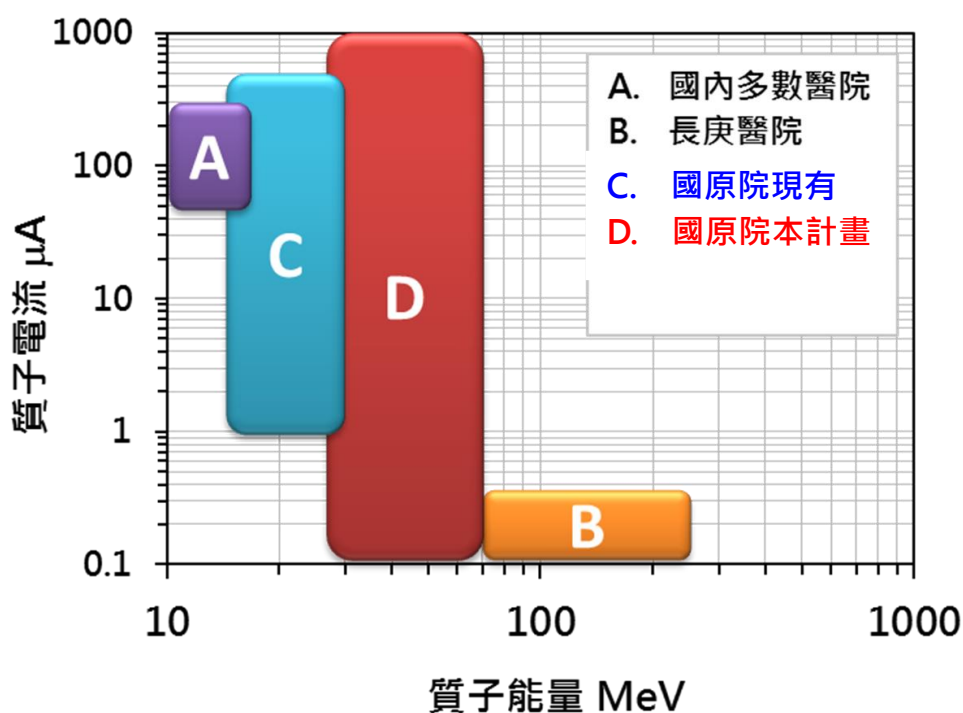
圖 20、CRISPR/Cas 基因組編輯技術步驟

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，國原院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三座(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模)，本計畫所建置 70 MeV 迴旋加速器與國內現況之互補性，如圖所示。



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，無法生產鉈化物核醫藥物。
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. 國原院 (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. 國原院 (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，雖國原院緊急生產，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，國原院為我國唯一「氯化亞鉈(鉈-201)注射劑」及「檸檬酸鎳(鎳-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，國原院受命可擴大生產 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，將可穩定供應鉈-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。國原院的中型迴旋加速器質子束亦可作為太空輻射測試源，國原院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。目前在國內國原院現有的 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。

國原院已為「台灣太空輻射環境驗測聯盟」成員之一，國原院現有的 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國原院服務，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。

精進國原院游離輻射國家標準，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。

拓展國原院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，亦為國原院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，國原院建置的快/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在意的事情；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。國原院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，國原院擬藉此 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核安會補助之國原院科技預算額度內納編，必須向行政院專案申請預算支應。未來完成設施建置與開始營運後，營運 40 年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

建置階段，本計畫共計有五個子項計畫，預估總經費為新臺幣 1,810,968 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：854,809 千元。

(二) 質子照射驗證分析國家實驗室：52,312 千元。

(三) 中子應用國家實驗室：126,819 千元。

(四) 土木工程建造：749,000 千元。

(五) 系統工程：42,034 千元。

建置完成與開始營運後，營運 40 年之成本支出包含人事、水電、附屬設備及既有輔助設備運維等費用每年約需 1.09 億元，詳細內容請參見第玖章附則(九)、營運規畫書(含財務評估)之第 247~260 頁(財務計畫與風險分析章節)。

三、收入項目

本計畫於建置時期，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 等多種放射性同位素產製作業，預估每年應可達 60,000 千元以上之收入。

(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以上收入。

(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。

建置完成與開始營運後，預估營運總收入約可由每年 0.9 億元逐步成長至每年 2 億元，詳細內容請參見第玖章附則(九)、營運規畫書(含財務評估)之第 264~278 頁(財務計畫與風險分析章節)。

四、現金流量分析

建置階段，本計畫預估總經費為新臺幣 1,810,968 千元，四年建置期間之經費需求額度分別為 112 年 247,509 千元、113 年 352,300 千元、114 年 828,344 千元與 115 年 382,821 千元。

建置完成與開始營運後，假設營運 40 年，依據各年之收入及支出預估現金流量，所計算出之財務指標分析，詳列於第玖章附則(九)、營運規畫書(含財務評估)之第 264~278 頁(財務計畫與風險分析章節)。簡述如下：內部報酬率(IRR)為 3.9%，顯示該投資計畫具有穩定的報酬率，考量計畫具有國家實驗室的性質，研究導向，該財務數據應屬可接受的投資方案，未折現下之回收期間約為 24 年；換言之，在折現率(可視為投資人對投資計畫的要求報酬率，或是資金的機會成本)設定 2%與 3%的情境下，淨現值皆為正，同時益本比皆大於 1，在投資決策上屬於可接受的投資計畫。

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：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。建置完成與開始營運後，營運 40 年之自償率可大於 1。

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，若建置完成與開始營運後，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，更詳細之經濟效益質化分析可參見捌、附則(九) 營運規畫書 (含財務評估)之第 267~274 頁。

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	1,810,974 千元	1,658,900 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，已併同於計畫書之第 151~156 頁「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	112 年至 115 年
計畫經費	1,810,974 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，國原院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

國原院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。	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
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。	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
B1： 無法達到 採購目標	依「政府採購法」與國原院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。	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
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。	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
C2：	本計畫執行施工履約時，承	1. 定期召開工地會議檢討工進。	期程

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。	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。	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	國原院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。	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。	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，國原院依計畫期程，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%

國原院所辨識之各項風險，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)×(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。	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。	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」與國原院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。	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。	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。	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。	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	國原院熟悉履約管理之資深人員陸續離退，專業技術人力之	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。	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

國原院依據前述 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($R=3\sim4$)：仍需進行控管活動降低其風險。

低度風險($R=1\sim2$)：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。	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。	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」與國原院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	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)	
	完成決標作業。									
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。	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	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。	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	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。	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	無	1	2	2
E1：	國原院熟悉履約管	1. 慎選委託技術服務廠商。	期程	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)	
專業人力缺口	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。	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。	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。	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，國
原院規劃監督作法如下：

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	(1)是否評估民間參與之可行性,並撰擬評估說明(編審要點第4點)		V		V	本計畫未涉及公共建設促參部分。
	(2)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
	(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、本於提高自償之精神	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	
	所擬訂各類審查及補助規定					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，其資金籌措係由行政院專案計畫支應。 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.本計畫為70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫，經費比約1：11。 6.本計畫為70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫，建置階段(112-115年)不具自償性。
	(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	
	(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	
	(6)屬具自償性者，是否透過基金協助資金調度		V		V	
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(112-115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	

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	
6、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。
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，建置地點均於國原院內，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	
	(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、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114-121頁。
10、環境影響分析 (環境政策評估)	是否須辦理環境影響評估		V		V	本計畫因無涉及開發行為，故毋須進行環境影響評估。
11、淨零轉型通案 評估	(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。
	(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)是否強化因應氣候變遷之調適能力，並納入淨零排放及永續發展概念，優先選列臺灣2050淨零排放路徑、淨零科技方案及淨零轉型十二項關鍵戰		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	
	略、臺灣永續發展目標及節能相關指標					
	(4)是否屬臺灣2050淨零排放路徑、淨零科技方案及淨零轉型十二項關鍵戰略相關子計畫		V		V	
	(5)屬臺灣2050淨零排放路徑、淨零科技方案及淨零轉型十二項關鍵戰略之相關子計畫者，是否覈實填報附表三、中長程個案計畫淨零轉型通案自評檢核表，並檢附相關說明文件		V		V	
12、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。
13、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。
14、落實公共工程或房屋建築全生命週期各階段建造標準	是否瞭解計畫目標，審酌其工程定位及功能，對應提出妥適之建造標準，並於公共工程或房屋建築全生命週期各階段，均依所設定之建造標準落實執行	V		V		本計畫採鋼筋混凝土構造，同時考量輻射防護屏蔽要求進行建造，並依公共工程委員會頒布之公共工程全生命週期管控機制參考手冊各階段之建造標準落實執行。
15、公共工程節能減碳及生態檢核	(1)是否依行政院公共工程委員會(下稱工程會)函頒之「公共工程節能減碳檢核注意事項」辦理		V		V	本計畫已規劃取得綠建築及智慧建築合格級標章，(符合公共工程節能減碳檢核注意事項第二項第四款免辦條件)。
	(2)是否依工程會函頒之「公共工程生態檢核注意事項」辦理		V		V	本計畫已規劃取得綠建築及智慧建築合格級標章，(符合公共工程生態檢核注意事項第二項第五款免辦條件)。

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	
16、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。
17、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。
18、營(維)運管理計畫	是否具務實及合理性(或能否落實營運或維運)	V		V		
19、房屋建築朝向近零碳建築方向規劃	是否已依工程會「公共工程節能減碳檢核注意事項」及內政部建築研究所「綠建築評估手冊」之綠建築標章及建築能效等級辦理	V		V		本計畫已規劃取得綠建築及智慧建築合格級標章，(符合公共工程節能減碳檢核注意事項第二項第四款免辦條件)。
20、地層下陷影響評估	屬重大開發建設計畫者，是否依「機關重大開發建設計畫提報經濟部地層下陷防治推動委員會作業須知」辦理		V		V	本計畫工程地點位於桃園市龍潭區國家原子能科技研究院範圍內，非屬於地下水一級管制區或彰化、雲林及嘉義地區高鐵沿線左右各1.5公里範圍內，因此本案不屬於重大開發建設計畫。
21、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		將配合國原院資安政策，進行各項資通安全防護作業。

主辦機關核章：承辦人

副研究員陳建中

單位主管

綜合規劃組
組長李綺思

首長

主 任 陳東陽
主 委 賈

主管部會核章：研考主管

綜合規劃組
組長李綺思

會計主管

科長何雲

首長

主 任 陳東陽
主 委 賈

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.cy.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>評估項目</p>	<p>評估結果</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><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：</p> <p>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：</p> <p>(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、彈性工時與工作平等性別友善措施；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）	核研所將持續繼續努力，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. 高梓木，國家中子與質子科學應用研究：核研所 70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫簡介，2021 台灣中子科學學會年會暨中子散射技術研討會，2021 年 11 月 19 日。
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, Sjögreen-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 $^{117\text{m}}\text{Sn}$ 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. Albulet 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.

六、儀器設備需求

申購單價新臺幣 1000 萬元以上科學儀器送審彙總表

申請機關：國家原子能科技研究院

(單位：新臺幣千元)

編號	儀器名稱	使用單位	數量	單價	總價	優先順序		
						1	2	3
1	70 MeV 迴旋加速器(含射束線)及附屬固體靶站與鉛室 (含 5%稅，美金匯率 28.5)	國家原子能科技研究院	1	633,600	633,600	✓		
總計					633,600			

填表說明：

1. 申購單價新臺幣 1000 萬元以上科學儀器設備者應填列本表。
2. 本表中儀器名稱以中文為主，英文為輔。
3. 本表中之優先次序欄內，請確實按各項儀器採購之輕重緩急區分為第一、二、三優先。
 - (1) 「第一優先」係指為順利執行本計畫，建議預算有必要充分支援之儀器項目。
 - (2) 「第二優先」係指當本計畫預算刪減逾 10%時，得優先減列之儀器項目。
 - (3) 「第三優先」係指當本計畫預算刪減逾 5%時，得優先減列之儀器項目。

申購單價新臺幣 1000 萬元以上科學儀器送審表(B007)
中華民國 112 年度

申 請 機 關(構)	核能安全委員會				
使 用 部 門	國家原子能科技研究院				
中 文 儀 器 名 稱	70 MeV 迴旋加速器(含射束線)及附屬固體靶站與鉛室				
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)	633,600	總價(千元)	633,600
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 </p>					

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。

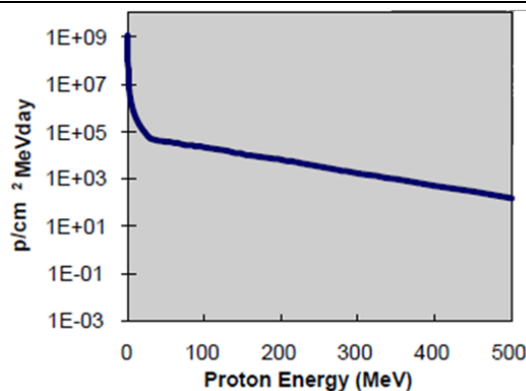
4.購置必要性說明：

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。

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；利用國原院 $15\sim 30$ 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國原院進行測試已有數年，他們是與中研院人員一起合作到國原院進行測試，國原院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。國原院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，因此國原院的中子研究因欠缺中子設施暫停一段時期。近年為回復國原院中子方面研究，改採建立加速器中子源，目前是利用國原院現有 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

國原院 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鉈-201(Tl-201)、鎳-67(Ga-67)、氟-18(F-18)、碘-123(I-123)、銦-111(In-111)、鉀-81/氪-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，例如生產鉈-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，為備援國原院現有 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。

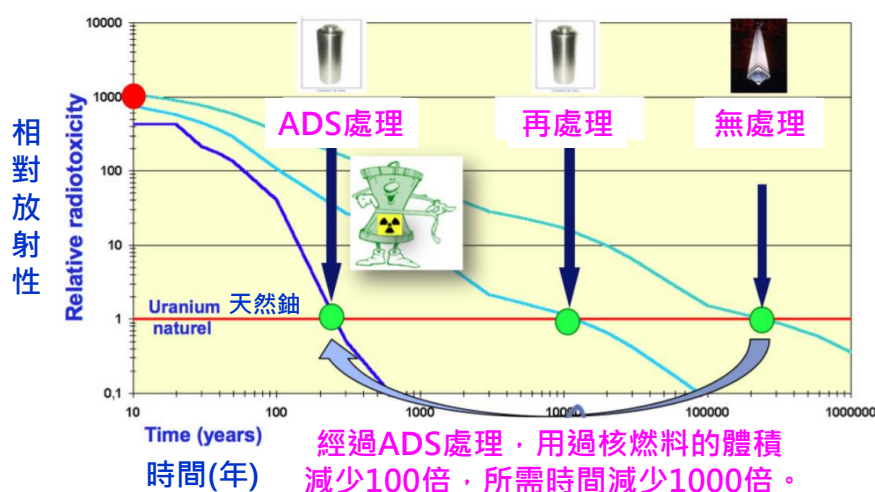


圖 A：用過核燃料與天然鈾的相對放射性隨時間衰減的變化情形

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

圖編輯：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) 備援生產國原院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，可大幅提高國原院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：國原院自行維護

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 30 MeV 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：國原院運轉加速器，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，未附報價單。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℃~22℃	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 μ A combined beam current
- Higher currents available (1000 μ A)

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

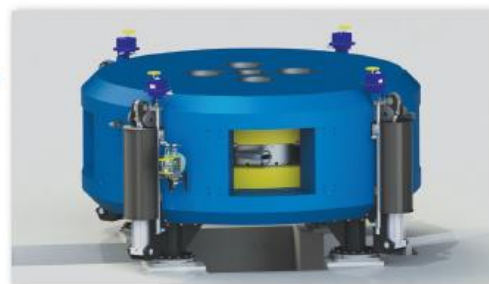
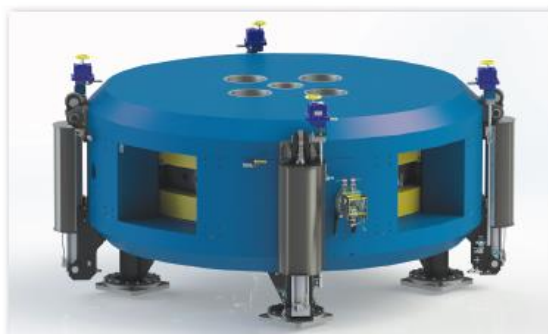
Base pressure.....	<1 x 10 ⁻⁷ Torr
Operating pressure	<2 x 10 ⁻⁷ Torr
Pumps	Cryogenic pump system

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.

附件二、IBA Cyclone 70 規格單和報價

Cyclone[®] 70 installed over the world

IBA IS THE ONLY COMPANY ABLE TO PROVIDE A HIGH LEVEL
OF EXPERTISE AND SUCCESS WITH THE INSTALLATION AND
OPERATION OF A 70 MEV CYCLOTRON. ALL OVER THE WORLD,
IBA CYCLONE[®] 70 USER ARE

HIGH ENERGY FOR SPECIFIC APPLICATIONS



Exposure to personnel and activation of equipment is minimized thanks to the use of negative ion acceleration technology. Radiation exposure to personnel is drastically reduced, even during maintenance, thanks to the design optimization and the use of low activation material.

From cyclotron start-up to beam on target the routine operation of the cyclotron is automated using beam libraries.

Optimized proton-only cyclotron with high reliability, efficiency and uptime for industrial production of ^{67}Sr and ^{67}Ge .

The Cyclone® 70 XP is the perfect tool, combining routine isotope production with the new generation of medical radioisotopes used in the field of diagnosis and therapy, as well as research work.

148

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加值服務，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加值服務，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、114-117 年度中長程個案計畫審查會議紀錄

壹、會議時間：112 年 10 月 25 日 10:00～15:30

貳、會議地點：核能安全委員會 2 樓會議室

參、召集人：陳東陽主任委員

紀錄：陳文亮技佐

肆、出席人員：

核能安全委員會：張欣副主任委員、王重德主任秘書、李綺思組長、
高斌組長、張淑君組長、廖家群組長、陳鴻斌組
長、黃賜琳研究員、陳莉惠主任、邱清威主任、林
歲士科長、陳建中副研究員、陳文亮技佐

國原院：李海光代理院長、徐獻星代理副院長、高梓木執行秘書、楊
慶威所長、王正忠所長、陳永枝副研究員、李振弘所長、黃
金城所長、徐碧璘副所長、魏華洲所長、郭家倫副研究員、
楊曉義副處長、賴文祺副研究員

伍、報告及審查：

(五)國原院簡報：

(一)「國家研究用核子設施除役及清理計畫(第一期)」：略。

(二)「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」
變更案：略。

(三)「淨零排放-永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫」：略。

(六)會議意見回復：如附表

陸、會議決議：

原則同意計畫申請案，請國原院依據會議審查意見，充實及修正計
畫書，俾辦理後續行政作業。

柒、散會時間：15 時 30 分

附表：會議意見回復

(二)「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」變更案：

審查意見	意見回復
李組長綺思	
<p>1. 本計畫擬請增 0.32 億部分，請加強論述。</p> <p>2. 原規劃提送輻射安全評估報告審查時程請依法規要求調整修訂。</p> <p>3. 本計畫去年才同意變更，請再評估本次變更是否有其急迫性？</p>	<p>1.本計畫於 110 年 10 月編列 5.42 億元加速器採購預算，112 年 3 月 10 日加速器採購決標，該經費將全數支付加速器款項。112 年 6 月行政院審議 113 年度科技發展經費，提出加速器廠館尚未完成即編列 1.7 億元採購加速器週邊設備之意見，本計畫回復加速器為高單價設備，製造到安裝需時三年，必須提前訂製週邊設備進行安裝前之功能測試，但行政院審議結果仍刪減 0.32 億元，將影響已決標設備之履約付款，因此擬請增 0.32 億元。以上強化論述將於請增說帖中增補。</p> <p>2.將依據委員審查意見檢討計畫時程規劃，調整後時程規劃表將更新於說帖與中長程計畫書。</p> <p>3.本計畫因應國外設備採購匯率變動及廠館建造原物料上漲因素，於 111 年 9 月提報第一次計畫變更，請增科技預算 2.84 億元及公建 1.12 億元，行政院同意公建請增，但科技預算請增未獲准。由於加速器採購已決標，且金額因配合行政院審議建議之規格要求，以及匯率、國際原物料價格調漲，高於原中長程計畫書所編列預算，為依約支付 114 年加速器貨款，提報第二次計畫變更實有其必要性與急迫性。</p>
高組長斌	
1.財務與效益評估部分提及 29 年回收	1.加速器運轉使用期限為 40 年，運轉 29

審查意見	意見回復
<p>期，是否已過設備之堪用期？</p> <p>2.本計畫對國內醫療的助益，請加強量化說明，以爭取產業界支持。</p>	<p>年期程之設備仍在堪用期之內。</p> <p>2.本計畫書之第十一章營運規劃書(含財務評估)，已量化說明本計畫核醫藥物和新開發放射性同位素建廠完成後之服務產能(詳見計畫書第 199 頁)，未來也將積極進行技術推廣，爭取產業界支持。</p>
張組長淑君	
<p>1.本案申請放射性物質生產設施之建造許可，應於預定建造日期 6 個月前檢附文件及資料向核安會申請審查，俟審查合格並核發安裝許可後始得為之，爰請注意時程規劃。</p> <p>2.本次(第 2 次)計畫變更，對於新增靶材部分，也是輻射安全評估報告的審查範圍，後續相關經費及時程有否相應調整？又上開審查文件的準備時程亦須要注意。</p>	<p>1.本計畫土建時程規劃 113 年 4 月破土，114 年 4 月將進行生產設施結構建造，原規劃 113 年 12 月輻射安全評估報告送核安會審查，為符合法規要求將提前至 113 年 9 月，調整後時程規劃表將更新於說帖與中長程計畫書。</p> <p>2.新增靶材已納入加速器擴充規格採購及經費規劃，並調整時程進行相關輻安評估，以符合法規要求輻射安全評估報告送審期限。</p>
廖組長家群	
<p>1. 本計畫第 2 次變更說帖的說明重點在於「為何請增？」例如第 1 次變更並未核准新增加速器規格部分，而本次又為何仍須請增之說明，此類似有申覆性質。</p> <p>2.本計畫請增 2.01 億經費。總經費由 16.56 億增加至 18.11 億，非 2.01 億，此不易理解，建議加強闡述。</p>	<p>1.將於說帖中強化本次科技預算請增的必要性，積極爭取行政院의 同意。</p> <p>2.簡報第 16 頁詳細說明總經費 16.56 億經 112 年科技預算刪減 0.14 億與 113 年科技預算刪減 0.32 億後降為 16.1 億元，加上擬請增 2.01 億後，總經費將增加至 18.11 億。將於簡報第 5 頁及計畫書加強闡述。</p>
陳組長鴻斌	
<p>請增理由文字須加強說明，以利溝通。</p>	<p>已加強請增理由的可讀性以利審查(詳見說帖第 2 頁)。</p>

審查意見	意見回復
黃賜琳研究員	
<p>1.因土建房舍增加了地下室，雖 112 年 1 月增加了公建預算 1.12 億，仍很吃緊，是否仍可如期於原定時程 112 年 12 月底前發包？</p> <p>2.土建招標已公告，未來配合設備的採購介面工作，宜多加注意。</p>	<p>1. 112 年為 70MeV 加速器館新建工程主要設計與工程採購階段。經完成基本設計並經核安會(組改前之原能會)及工程會核定後，目前亦已完成細部設計並經審查修訂。此外，10 月 23 日本案工程採購標也正式於政府採購網公告生效，將公開招標並採最有利標決標。本採購案預計 30 天等標期，可於 11 月 22 日第一次開標，並納入如未達 3 家投標，第二次招標等標期為 5 天後，如有 1 家投標，且符合資格，即可進入評選作業，規劃在 12 月中旬完成決標。而考量本案預算、建物較為特殊及目前缺工、缺料及工程物價上漲等情形，將持續主動並積極探詢潛在優質營造廠，以期能屆時發包順利。</p> <p>2.加速器設備及工程設計與施工的介面，一直是本案關注的重點。從 7 月起，由本院召開工程介面視訊會議並邀集設計單位台灣世曦公司及加拿大 Best(BCSI, inc)加速器廠家共同參與討論 4 次，並經多次 email 討論，以順利進行相關細部設計。此外，依加速器採購合約，為加強工程介面聯繫與確認，加速器合約期間總計安排 6 次工程介面確認，Best 公司人員亦將於 112 年 10 月 30 至 11 月 3 日至本院確認工程相關介面等工作。</p>
陳主任莉惠	
<p>1. 用匯率、加速器採購已簽約等作為請增經費的理由，似不樂觀、不夠充分。</p>	<p>1.匯率波動導致加速器採購經費不足已事先懇請行政院長官協助，112 年 8 月 31 日行政院院長聽取原子能委員會(組改後為核能安全委員會)報告「核能安全委員會未來運作規劃」與核能研究</p>

審查意見	意見回復
<p>2. 有關「第二次變更分年經費規劃表」備註，請修訂為「行政院」核定。</p>	<p>所(組改後為國家原子能科技研究院)報告「國家原子能科技研究院定位與未來發展」兩份簡報後，就旨揭本案中長程個案計畫經費請增案，指示有關部會繼續支持。為期盼行政院之同意，已強化請增理由之充分性與必要性說明(於說帖第2頁)。</p> <p>2.已依審查意見修訂。</p>
邱主任清威	
<p>1. 建照核發也會影響工程採購進度，會增加在 112 年 12 月底前決標的困難度，請多加注意。</p> <p>2. 有關結構外審，目前據悉進度都正常，似無相關審查修訂，亦請多加注意。</p>	<p>1.計畫單位將會密切留意建照核發作業。70MeV 加速器館新建工程案的建照已於 8 月 24 日送件，經了解作業時程約需 2 個半月，因此預計 11 月底前應可取得建照。</p> <p>2.有關結構外審目前已完成第二次審查，除地下室外牆厚度將由原 60cm 增為 150cm，已由台灣世曦納入局部修改外，目前尚無其他修正，11 月初台灣世曦將提交修正報告，整體結構外審也預計可於 11 月底前完成核定。</p>
王主秘重德	
<p>須注意輻射安全評估報告的審查時間，以免影響土建的進度</p>	<p>目前規劃 114 年 4 月進行生產設施結構建造，原規劃 113 年 12 月輻射安全評估報告送核安會審查，為符合法規要求已提前至 113 年 9 月。</p>
張副主委欣	
<p>1.本計畫涉及法規面的部分，一定要與輻防組釐清並確認一致。</p> <p>2.請參考審查意見，清楚說明計畫變更部分，並強化請增經費的論述，同時強調未違背原計畫設定的目標意旨。</p>	<p>1.遵照辦理並已於 10 月 26 日與輻防組釐清並確認一致(已修正計畫書第 41 頁)。</p> <p>2.依審查意見修訂說帖。</p>
陳主委東陽	

審查意見	意見回復
<p>每個工作都會有一些不確定性，爰對本計畫未來發展需有因應備案。</p>	<p>謝謝主席的建議，本計畫將滾動式檢討期程與經費，制定因應對策以降低不確定因素及預想可能最壞的情境，並積極應對以達成計畫目標。</p>

九、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(112-115 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。

國家原子能科技研究院擁有全國唯一一座 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(112~115 年)在國家原子能科技研究院建置一座國家級 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

核安會補助之國原院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，地點位於同位素所加速器館(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	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

方案 考量點	新建廠址 (052 館旁空地)	改建廠址 (016 館)
	位素之便利性、搭配性與互補性佳	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	1,825,009 千元	1,658,900 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：

1. 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。

2. 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。
3. 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術缺口，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(112~115 年)，本計畫 112 年至 115 年預估總經費為新台幣 1,825,009 千元；屬「科技發展性質」的預算經費為 1,076,015 千元(占 59%)，屬「公共建設性質」的預算經費為新台幣 748,994 千元(占 41%)。總經費新台幣 1,825,009 千元，其中，資本門 1,705,267 千元(占 93.4%)與經常門 119,742 千元(6.6%)；分述如下：(1) 資本門 1,699,117 千元：屬於資本門之實驗室設備設施經費 956,273 千元(占 56%)以及屬於公共建設性質之實驗室設備設施經費 748,994 千元(占 44%)。(2)經常門 119,742 千元均屬於科技發展性質經費。

(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 $\geq 10^6$ $\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$ 。

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

本計畫由國原院負責執行，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術缺口，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。

十、行政院審查意見及答復說明

檔 號：

保存年限：

行政院秘書長 函

地址：10058臺北市忠孝東路1段1號

聯絡人：洪偉鈞02-2737-7701

電子信箱：wchung@ey.gov.tw

受文者：行政院原子能委員會核能研究所

發文日期：中華民國110年8月11日

發文字號：院臺科會長字第1100181865號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如文(39411_1100181865-0-0.docx)

主旨：貴會函報「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」一案，請依審查意見修正後再行報院。

說明：

- 一、復貴會110年4月23日會綜計字第1100005186號報院函。
- 二、經整體評估貴會所送「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」，認建置70MeV中型迴旋加速器之計畫有其必要性。
- 三、審查意見如下：
 - (一)針對70 MeV中型迴旋加速器營運規劃應強化說明，並確認各項經費規劃之合理性。
 - (二)鑒於111年度科技計畫已逾可申請期限，旨揭計畫應調整執行期程，改自112年度啟動執行。
 - (三)旨揭計畫中實驗室設施設備建置，屬科技發展性質，至於實驗室土木工程建置部分，屬公共建設性質，應於計畫書中區分工作項目與對應經費。
 - (四)針對醫療、半導體與太空領域之科技創新研發工作，若有先期評估之需求，建議優先調整貴會既有111年度「原子能系統工程跨域整合發展計畫」與「新穎性腫瘤微環境標靶藥物開發計畫」分項二「核醫藥物與醫材之開發及市場連結」之經費支應。



1100005186

四、檢附審查委員及有關機關之書審意見彙整表1份，併供參酌。

正本：行政院原子能委員會

副本：國家發展委員會、行政院主計總處、財政部、科技部前瞻司、行政院原子能委員會核能研究所(均含附件)

電子20200808核記

裝

訂

線

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 行政院審查意見及答復說明報告

中華民國 110 年 08 月 25 日

1. 針對 70 MeV 中型迴旋加速器營運規劃應強化說明，並確認各項經費規劃之合理性。

答復說明：

國內第一部 70 MeV 中型迴旋加速器及相關設施，包含中型迴旋加速器、核醫生產室(含鉛室)與核醫研究室、中子照射室與質子照射室等。主要生產線係由迴旋加速器為本體延伸發展生產流程與技術服務流程，其設計佈局分為放射性同位素研製、質子與中子照射研究等。質子與中子照射產品定位於「服務」與放射性同位素研製產品定位於「商業化產品」。

其中，放射性同位素研製之營運模式是以核醫藥物一條龍式產業供應鏈角度與高度來進行規劃，整體範圍涵蓋 70 MeV 迴旋加速器、30 MeV 迴旋加速器與核醫製藥中心等三部分，生產放射性同位素、放射性核醫藥物與凍晶製劑。使用兩台加速器照射生產核醫藥物，可互為備援，大幅提升供藥的穩定度，滿足醫界的穩定供藥需求。生產流程為 70 MeV 迴旋加速器質子照射完後的放射性同位素靶材，傳送到原料藥廠之核醫生產室(含鉛室)與核醫研究室，進行放射性同位素分離與純化，經品管分析作業後，透過自動傳送裝置，傳送進入 GMP 原料藥廠以及 PIC/S GMP 核醫製藥中心進行放射性針劑藥物生產。70 MeV 迴旋加速器建置完成開始營運時，30 MeV 迴旋加速器亦將邁入使用 35 至 40 年營運末期的階段，屆時新建置完成與正式營運的 70 MeV 迴旋加速器在 40 年的營運期間即可發揮效用，無縫接軌核醫藥物生產，而凍晶製劑屬於 70 MeV 迴旋加速器核醫藥物供應鏈之一環，自應列入營運整體規劃。

此外，財務分析亦以完整核醫藥物供應鏈角度進行整體評估，範圍包括目前既有核醫製藥中心銷售產品(放射性針劑藥物與凍晶製

劑)，目前凍晶製劑僅有「核研瑪格鎔腎功能造影劑」、「核研雙肱乙酯腦造影劑」與「核研美必鎔心臟造影劑」等三項產品生產供應。

經財務評估計算，凍晶製劑對整體營運收入(含放射性核醫藥物、凍晶製劑、放射性同位素與質子與中子照射服務等收入)影響有限。說明如後。經重新評估不含凍晶製劑之財務分析，結果得知，前述三項凍晶製劑之年收入預估合計約 5,620 千元，營運第一年占整體營運收入僅 5.6%，且新藥開發將增加新的收入來源，凍晶製劑之年收入占比亦會逐年下降，至營運第 10 年僅占 2%~3%，對整體收入影響有限。所以，經保守評估，若完全不計上述三項凍晶製劑藥物之收入，其它設備、運維、人事等成本不變，僅扣除凍晶製劑材料成本，內部報酬率(IRR)由 4.8%略減為 4.5%，投資回收年限僅延後 1 年，仍顯示本計畫具有穩定的報酬率，財務數據應屬可接受的投資方案(IRR>資金成本或替代方案 IRR，則該計畫值得執行。資金成本可為利率、公債利率或投資人要求之特定報酬率等，參考我國交通建設經濟效益評估作業之研究，我國 10 年期公債 20 年平均利率水準約 2%，而該研究建議之折現率區間範圍 3.7%~4.2%)。各項指標之變化對照如表一。

表一. 不含凍晶製劑收入之財務指標對照表

			折現率 2%			折現率 4%		
	內部報酬率(IRR)	回收年限(PP)	淨現值(NPV)(千元)	益本比分析(B/C)	回收年限(PP)(年)	淨現值(NPV)(千元)	益本比分析(B/C)	回收年限(PP)(年)
含凍晶製劑	4.8%	21	1,123,283	1.3	25	237,660	1.1	34
不含凍晶製劑	4.5%	22	992,900	1.2	26	148,661	1.04	37

換言之，不論投資計畫的要求報酬率為 2%或 4%，從淨現值方面來看，即便不含凍晶製劑之收入，淨現值仍為正，益本比仍大於 1。

2. 鑒於 111 年度科技計畫已逾可申請期限，旨揭計畫應調整執行期程，改自 112 年度啟動執行。

答復說明：

已依審查意見進行計畫書之全面審視與更新，並調整計畫執行期程為 112 年 01 月至 115 年 12 月。

3. 旨揭計畫中實驗室設施設備建置，屬科技發展性質，至於實驗室土木工程建置部分，屬公共建設性質，應於計畫書中區分工作項目與對應經費。

答復說明：

已依審查意見進行計畫書之全面審視與更新，並註記區分所執行工作內容關於實驗室設施設備建置之分屬「科技發展性質」或「公共建設性質」及其相對應的預算經費。本計畫 112 年至 115 年預估總經費為新台幣 1,544,735 千元；屬「科技發展性質」的預算經費為 907,735 千元 (占 58.8%)，屬「公共建設性質」的預算經費為新台幣 637,000 千元(占 41.2%)。總經費新台幣 1,544,735 千元，其中，資本門 1,423,135 千元(占 92%)與經常門 121,600 千元(占 8%)；分述如下：(1)資本門 1,423,135 千元：屬於資本門之實驗室設備設施經費 805,935 千元 (占 57%)以及屬於公共建設性質之實驗室設備設施經費 617,200 千元 (占 43%)。(2)經常門 121,600 千元：經常門屬於科技發展性質經費 101,800 千元 (占 84%)以及屬於(公共建設性質之)工程管理性質經費 19,800 千元 (占 16 %)，工作項目及其經費之科技發展性質與公共建設性質之區分，如表二。詳細內容請參見「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」第伍章與第陸章(第 41~71 頁)。

表二、科技發展性質與公共建設性質之區分

項目 分項計畫	經常門		資本門		小計 (千元)	總經費 (千元)
	科技發展	(公共建設 性質之) 工程管理	科技發展	公共建設		
(一) 迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室	44,000	—	633,600	—	677,600	1,544,735
(二) 質子照射驗證分析國家實驗室	20,800	—	48,200	—	69,000	
(三) 中子應用研究國家實驗室	20,000	—	124,000	—	144,000	
(四) 土木工程建造(土建與機電)	—	19,800	—	617,200	637,000	
(五) 系統工程(輻防與PRA)	17,000	—	135	—	17,135	
小計	101,800	19,800	805,935	617,200		
(小計) 經費百分比	84%	16%	57%	43%		
合計	121,600		1,423,135			
(合計) 經費百分比	8%		92%			

4. 針對醫療、半導體與太空領域之科技創新研發工作，若有先期評估之需求，建議優先調整貴會既有 111 年度「原子能系統工程跨域整合發展計畫」與「新穎性腫瘤微環境標靶藥物開發計畫」分項二「核醫藥物與醫材之開發及市場連結」之經費支應。

答復說明：

原能會重視醫療、半導體與太空領域等對國家未來發展有重要價值的研發工作。核研所已於 110 年度開始執行科發基金計畫「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」(一年期計畫，執行期間：110 年 05 月 01 至 111 年 04 月 30 日，經費 8,200 千元)，著手進行 70 MeV 迴旋加速器整廠概念設計。鈞院建議優先調整既有 111 年度「原子能系統工程跨域整合發展計畫」與「新穎性腫瘤微環境標靶藥物開發計畫」分項二「核醫藥物與醫材之開發及市場連結」等兩

計畫之研究經費以支應醫療、半導體與太空領域等先期評估研究。前述兩計畫於 111 年度的規劃工作項目已通過鈞院審定且研究經費經審議已酌刪部分經費(分別為 11%與 20.5%)，實無調整的空間，敬請諒察。

因此，針對醫療、半導體與太空領域之科技創新研發等先期評估研究工作，僅能於(1)既有 111 年度「原子能系統工程跨域整合發展計畫」經費額度內努力執行「迴旋加速器廠商資料獲得與評選」、「迴旋加速器規格訂定」、「中子應用靶站及準直器之需求討論與概念設計」與「中子應用儀器概念設計與供應商調查」以及(2)積極爭取申請 111 年度科發基金研發計畫，目前預定申請二項科發基金計畫以進行 70 MeV 迴旋加速器先期研發工作，一為「電子零組件輻射與真空環境耦合測試研究」(二年期計畫，111 年度計畫經費 5,500 千元，112 年度計畫經費 8,000 千元)，先以執行質子束照射模擬與降能量測技術開發工作；另一為「迴旋加速器固體靶測試站建置與靶產製同位素之應用研究」(一年期計畫，111 年度計畫經費 26,000 千元)，先以執行固體靶站維修自主化與組件模擬整合平台以及建置氣體靶預防維護計畫等研發工作。核研所將透過積極爭取前述二項 111 年度科發基金研發計畫暨已於 110 年度開始執行之科發基金「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」計畫，來銜接 112 年度的 70 MeV 中型迴旋加速器建置計畫。

另有關鈞院主計總處關切之「原子能系統工程跨域整合發展計畫」加速器中子源靶站建置與本計畫中子源建置研究之資源重複配置疑慮。經核研所審慎檢視兩者並無資源重複配置問題，而且彼此具有先期測試與擴大應用範疇之緊密扣合關聯性：

- (1)實施策略：中子研究及其應用技術開發是核研所的重要工作目標之一，核研所以往之中子源來自核反應器，後因核研所研究用反應器

停止運轉而暫停中子相關研究。從 110 年起，核研所回復中子相關研究並計畫建立加速器中子源技術。但因國內無加速器產生中子的經驗，因此，在實施策略上，第一階段是利用核研所現有 30 MeV 迴旋加速器建立小規模中子源，執行先期測試並建立中子量測技術，以獲取相關經驗應用於後續 70 MeV 迴旋加速器建置規劃；第二階段是以先前的經驗為基礎，利用 70 MeV 迴旋加速器產生較大規模中子源，以獲得達到工業、國防、醫學等的應用規格。

- (2)效能加值：111 年度「原子能系統工程跨域整合發展計畫」規劃於現有 30 MeV 迴旋加速器衍生中子源研究工作，為核研所先期投資中子源及其應用研究，以期建立中子技術能量，其中子源建置經費(總經費約 10,000 千元，包含 110 年 4,500 千元與 111 年：5,450 千元)僅占該計畫年度經費的 2%。但核研所現有的 30 MeV 迴旋加速器因其規格及場地受限，加上輻射安全法規規定，已無擴充空間，中子研發項目與規模也因而受限，無法再安置或增設相關中子儀器設備，也缺乏未來擴展性，因此不宜也無法建立較大規模中子源。

70 MeV 迴旋加速器中子源建置金額，相關總經費約 144,000 千元，約為先期中子源應用研究的 14 倍。70 MeV 迴旋加速器於研製質子與中子源之效能優於 30 MeV 迴旋加速器的效能，包括提升 2 倍質子能量、提高質子電流 10 倍、快中子照射空間增加 75 倍、熱中子照射空間增加 67 倍、最大中子產率增加 100 倍、快中子通率提升 1,000 倍、熱中子通率提升 100 倍以上、可應用於快中子厚片影像分析以及可應用於國安飛機渦輪機葉片檢測之快中子影像、熱中子影像與熱中子繞射研究。詳細比較 30 MeV 與 70 MeV 迴旋加速器於中子源的研究目標與層級設施，請參見表三。

綜上，透過本計畫 70 MeV 中型迴旋加速器中子國家實驗室的建

置，在提昇中子源性能及空間配置上可提供更佳未來擴展性，對於我國當今重要的半導體業及太空科技、國安(如飛機發動機葉片檢修)等，扮演不可替代之至關重要角色。

表三：30 MeV 與 70 MeV 迴旋加速器研製質子與中子之規格比較

	(111 年) 原子能系統工程跨域 整合發展計畫	(112-115 年) 國家中子與質子科學 應用研究：70MeV 中型迴旋加速器建置 計畫	補充說明
執行目標	執行先期測試並建立 中子量測技術	產生較大規模中子源， 以達到工業、國防、醫 學等的應用規格。	
中子源	30 MeV 加速器中子源	70 MeV 加速器中子源	
經費預估(千元)	10,000	144,000	
迴旋加速器質子規格			
質子能量	15~30 MeV	28~70 MeV	能量範圍不同，70 MeV 加速器較 30 MeV 加速 器提升 2 倍質子能量
最大質子電流	100 μ A (受輻防與場地限制)	1000 μ A	70 MeV 加速器較 30 MeV 加速器質子電流提 高 10 倍。
空間			
快中子照射可用空間	僅剩長寬高 3m×2m×2.5m (052 館 154 室)	規劃長寬高 9m×25m×5m	30 MeV 加速器場地受限 輻防安全，已無法再擴 增。70 MeV 加速器場地

	(111 年) 原子能系統工程跨域 整合發展計畫	(112-115 年) 國家中子與質子科學 應用研究：70MeV 中型迴旋加速器建置 計畫	補充說明
熱中子照射可用空間	僅剩長寬高 5m×5m×1.8m (052 館 154 室之下層地 下室)	規劃長寬高 20m×30m×5m	可以妥善規劃。
未來擴充空間	無	可	70 MeV 加速器建置計畫 已預留空間供未來擴充 使用。
中子規格			
最大中子產率	10^{13} n/s	10^{15} n/s	70 MeV 加速器較 30 MeV 加速器最大中子產 率增加 100 倍。
擬單能 快中子能量範圍	10~25 MeV	25~70 MeV	中子能量範圍不同，且 30~50 MeV 為半導體抗 輻射測試的重要能量範 圍。
快中子通率	10^6 n/(cm ² ·s) @ 1 m	10^9 n/(cm ² ·s) @ 2.5 m	70 MeV 加速器較 30 MeV 加速器快中子通率 提升 1,000 倍。
熱中子通率	10^5 n/(cm ² ·s) @ 3 m	$>10^7$ n/(cm ² ·s) @ 3 m	70 MeV 加速器較 30 MeV 加速器熱中子通率 提升 100 倍以上。
中子技術應用與發展			
熱中子影像	靜態照相	斷層影像、動態照相	70 MeV 加速器可擴充熱 中子影像應用

	(111 年) 原子能系統工程跨域 整合發展計畫	(112-115 年) 國家中子與質子科學 應用研究：70MeV 中型迴旋加速器建置 計畫	補充說明
快中子影像	無	厚片影像	70 MeV 加速器可增加快中子影像應用
國安飛機渦輪機 葉片檢測	無	快中子影像 熱中子影像 熱中子繞射	70 MeV 加速器可增加國安應用(優先發展項目)
前瞻材料開發	無	中子繞射儀器站	70 MeV 加速器可增加前瞻材料開發應用
結構材料應力分析	無	中子繞射儀器站	70 MeV 加速器可增加結構材料分析應用
中子輻射照射	無法	可以	70 MeV 加速器可支援太空計畫
先進半導體元件開發 大氣宇宙射線(中子) 輻射照射服務	擬單能中子(15~30 MeV)	擬單能中子(28~70 MeV)	70 MeV 加速器可強化我國半導體產業優勢

十一、行政院核定函及第一次變更核復函

(一) 行政院核定函

檔 號：

保存年限：

行政院 函

地址：10058臺北市忠孝東路1段1號

聯絡人：洪偉鈞02-2737-7701

電子信箱：wchung@ey.gov.tw

受文者：行政院原子能委員會核能研究所

發文日期：中華民國110年10月21日

發文字號：院臺科會字第1100029165號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：

主旨：所報「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」（以下簡稱本計畫）一案，准予照辦。

說明：

一、復110年9月10日會綜字第1100012470號函。

二、以下意見併請照辦：

(一)本計畫之每年度資本門預算皆大於經常門，資本門預算占90%以上，相關設備採購案之執行應遵循政府採購規範，且應與本院公共工程委員會確認實驗室土木建築設施是否需要符合永續建築工程之規範。

(二)本計畫中屬「公共建設性質」應循「政府公共建設計畫先期作業實施要點」核實辦理，屬「科技發展性質」則循「政府科技發展計畫先期作業實施要點」核實辦理，且科技計畫預算以增額經費辦理，額度屆期回收。

正本：行政院原子能委員會

副本：財政部、科技部、國家發展委員會、行政院主計總處、行政院原子能委員會核能研究所

(二) 第一次變更核復函

檔 號：
保存年限：

行政院 函

地址：臺北市和平東路二段106號
聯絡人：彭靖瑀 研究員
電話：02-2737-7731
傳真：
電子信箱：cypeng@nstr.gov.tw

受文者：行政院原子能委員會

發文日期：中華民國112年1月5日
發文字號：院授科會科辦字第1120001381號
速別：普通件
密等及解密條件或保密期限：
附件：

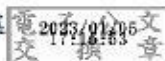
主旨：有關貴會所屬核能研究所「國家中子與質子科學應用研究—70MeV中型迴旋加速器建置計畫」修正計畫書一案，復如說明，請查照。

說明：

- 一、復111年10月31日會綜字第1110015183號函。
- 二、有關請增列計畫經費，公共建設預算部分原則尊重，科技預算部分因非屬重大計畫內容或經費新增變更，請於會內既有科技預算額度自行調整運用。

正本：行政院原子能委員會

副本：國家發展委員會、財政部、行政院主計總處



院長 蘇貞昌



十二、營運規劃書(含財務評估)

**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
營運規劃書(含財務評估)**

中華民國 112 年 09 月

目 錄

壹、 計畫摘要	183
貳、 產業及產品	187
一、產業定位、結構、特性、關連性趨勢.....	187
二、產品定位、規格、用途、生命週期、未來發展性.....	193
三、產品計畫	202
參、 製造與技術	204
一、原料來源.....	204
二、產能.....	206
三、設備.....	211
四、製造方式、流程.....	213
五、技術來源、取得方式、使用成熟度	222
六、技術研發計畫.....	229
七、專利權.....	229
肆、 建廠計畫	233
一、設廠地點、佔地面積、概要設計圖	233
二、建廠規劃時程.....	237
三、建廠技術來源.....	239
四、電力使用情形、能源消耗程度	239
伍、 行銷計畫	241
一、整個市場評估、市場區隔、佔有率	241
二、行銷與推廣策略.....	253
陸、 競爭力分析	259
一、國內外現有主要競爭者產品分析	259
二、競爭分析.....	263

三、SWOT 分析	264
柒、組織分析	266
一、組織系統、職掌.....	266
二、人力規劃.....	267
三、經營團隊.....	268
四、經營理念及策略.....	268
捌、財務計畫	270
一、假設條件.....	270
二、基本假設及預期收支.....	273
玖、風險分析	281
一、主要風險及因應措施.....	281
二、財務敏感性分析.....	282
壹拾、附件.....	285

表 目 錄

表 1、放射性製劑產品主要原材料.....	204
表 2、放射性製劑產品主要原材料分析表.....	204
表 3、放射針劑 - 核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑產能分析表	206
表 4、放射針劑 - 核研檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑產能分析表	207
表 5、放射針劑 - 核研心交碘-123 注射劑產能分析表	207
表 6、凍晶製劑 - 馬格鎂腎功能造影劑 (MAG3) 產能分析表.....	208
表 7、凍晶製劑 - 美必鎂心臟造影劑 (MIBI) 產能分析表	208
表 8、凍晶製劑 - 雙肱乙酯腦造影劑 (ECD) 產能分析表	208
表 9、銅-225 放射性同位素產能分析表.....	209
表 10、銅-67 放射性同位素產能分析表.....	209
表 11、鋇-82 放射性同位素產能分析表.....	210
表 12、中子和質子照射服務時間分配表.....	210
表 13、五年內擬採購之生產設備.....	211
表 14、70 MeV 實驗室可提供之藥品與服務	253
表 15、未來年主要推廣客戶	258
表 16、國內各單位運轉中之迴旋加速器能量範圍.....	259
表 17、核能研究所中型迴旋加速器規劃應用比較表.....	260
表 18、國外現有主要競爭者產品分析.....	263
表 19、國內民間業者競爭分析	264
表 20、本計畫 SWOT 分析	265
表 21、營運團隊人力規劃	267
表 22、本計畫預計提供之核醫藥物與照射服務.....	270
表 23、核醫藥物及新核種藥物銷售預估.....	272
表 24、本計畫資本支出與相關費用	273

表 25、評估期間現金流量估算(未折現).....	274
表 26、財務分析指標及判讀原則.....	275
表 27、設施營運階段風險分析及因應措施.....	281
表 28、本計畫案財務效益敏感度分析.....	284
表 29、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	286
表 30、建置質子照射驗證分析國家實驗室之分年策略.....	287
表 31、建置中子應用研究國家實驗室之分年策略.....	288
表 32、土木工程建造之分年策略.....	289
表 33、系統工程之分年策略.....	290

圖 目 錄

圖 1、核醫產業關聯圖	193
圖 2、生產線生產流程設計佈局	215
圖 3、PIC/S GMP 管制流程圖	217
圖 4、GMP 原料藥與 PIC/S GMP 核醫藥物品質系統	220
圖 5、質子與中子照射測試作業品質系統	221
圖 6、產品關鍵技術關聯圖	222
圖 7、GMP 原料藥與 PIC/S GMP 核醫藥物技術來源分析圖	223
圖 8、質子照射實驗室技術來源分析圖	224
圖 9、中子照射實驗室技術來源分析圖	225
圖 10、基地位置圖	233
圖 11、地籍配置圖	234
圖 12、廠房設計概要圖 (一樓)	235
圖 13、廠房設計概要圖 (二樓)	236
圖 14、70 MeV 迴旋加速器建置計畫之工作關聯圖	238
圖 15、核醫學放射性同位素市場 (依醫學應用領域分類)	242
圖 16、核醫學放射性同位素市場 (依放射性同位素分類)	242
圖 17、2017-2025 全球營業收入：鉈-201	243
圖 18、2017-2025 全球營業收入：銅-225	244
圖 19、全球診斷及治療用途之同位素需求	246
圖 20、組織結構圖	266
圖 21、各期累積現金流量圖	277
圖 22、各期累積現金流量(折現率 2%)	283
圖 23、各期累積現金流量(折現率 3%)	283

壹、計畫摘要

配合總統在 109 年就職演說「六大核心戰略產業」中的「臺灣精準健康戰略產業」、「國防及戰略產業」、「民生及戰備產業」等三大產業發展，核能安全委員會(由原子能委員會改制，以下簡稱核安會)補助之國家原子能科技研究院(由核能研究所改制，以下簡稱國原院)預計於桃園市龍潭園區內建置完成「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(以下簡稱 70 MeV 迴旋加速器)」，用以提供國內產學研界所需高能的中子與質子，應用於醫療、科學、工程、半導體科技、國防安全等領域。

70 MeV 加速器能量範圍涵蓋 28~70 MeV，其中 28-30 MeV 可以生產國原院原先 30 MeV 迴旋加速器的同位素核醫藥物，達到穩定供藥與緊急備援的雙重目標，尤其是去年因全球 COVID-19 疫情及華航罷工事件影響，造成國際供藥短缺，我國因有國原院中型迴旋加速器穩定營運，使國內短半衰期核醫藥物供應獲得舒解，而凸顯政府防疫施政效能與國原院臨危授命的重要角色。另就國內產業與科研迫切需求之中子及質子檢測，可提升國內如太空、國防、半導體、能源及機械等產業的技術發展及能力，藉由一併建置，將可補足國內的產官學研需求。有鑑於 70 MeV 迴旋加速器能有效填補目前國內核醫藥物研發與供藥缺口，並能及時扣合國家重要科技發展之需求，核安會與國原院即著手規劃，在此同時立法委員亦體認上述需求於民生與科技發展有其迫切性，乃要求儘可能於 111 年度努力獲得政府認可，儘快付諸執行。

70 MeV 迴旋加速器建置期程為 112~115 年，建置金額約新台幣 18 億 1 千萬元，建置完成後於 116 年試運轉後由法人(國家原子能科技研究院)營運，營運策略與方向定位於研究發展與商業化運轉二方面。建置計畫包

含一套中型迴旋加速器、核醫生產室(含鉛室)、核醫研究室、中子照射室與質子照射室等。

核醫生產室(含鉛室)、核醫研究室連結現有 30 MeV 迴旋加速器以及核醫製藥中心，成為診斷與治療用放射性同位素以及各類核醫藥物研究與商品化的一條龍式供應鏈。國原院地理位置鄰近北二高，具有台灣北中南通運之便利性與快捷性，計畫建置 70 MeV 迴旋加速器產製開發診斷與治療用放射性同位素，拓展銷售通路系統，建立本土核醫產業，增加就業人口，取代國外進口減省外匯，並配合國家新南向政策等外交策略，伺機推廣外銷東南、東北亞等國外地區。

此外，中子與質子照射試驗為我國航太空產業與半導體產業發展之關鍵核心技術。我國太空發展法已於 110 年 5 月 31 日立法院會三讀通過，政府鼓勵民間投資太空事業、推動高附加價值太空技術產業應用、協助關聯產業發展與國際接軌、培育太空產業發展人才。本計畫將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的基礎設施。

國原院積極導入目標與關鍵成果 (Objectives and Key Results; OKR) 管理模式，形塑創新的組織文化。在有限資源下權衡取捨，聚焦發展有潛力項目，以能技轉技服為目標，利於爭取更多合作機會。因此，規劃 70 MeV 迴旋加速器經營團隊包括主要經營管理者、營運團隊(跨國原院 8 成的研究所)與營運指導委員會。營運團隊人力係以編制員工與聘僱人員為基礎，共計 35 人。營運管理透過目標與關鍵成果 (OKR) 管理模式逐步踏實來達成預期成果。本計畫未來營收主要來自所生產的各種核醫藥物，在注射劑方面有核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑、核研檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑與核研心交碘-123 注射劑等；而凍晶製劑則有馬格鎂腎功能造影劑(MAG3)、美必鎂心臟造影劑(MIBI)及雙肱乙酯腦造影劑(ECD)等藥品。在新核種開發

方面，目前規劃有鈾-225、銅-67、鋨-82 等放射性同位素的生產。此外，本計畫建置之中子、質子實驗室亦能產生相關中子、質子照射技術服務收入等，並有相關衍生性收入如科研計畫自主運用收入以及技術轉移收入等項目。

本營運計畫以未來各期之現金流量計算內部報酬率、回收期間、淨現值、益本比等為指標，觀察營運計畫的可行性。其中內部報酬率(IRR)約3.9%。若以不同資金成本要求來看，在2%折現率下淨現值為8.5億元、益本比為1.19，回收期為29年。3%折現率淨現值大於零、益本比仍大於1，皆具有財務可行性。此外本計畫在財務敏感度分析方面，考慮未來成本、營收不同等構面進行分析，結果顯示成本增加的情境對於本計畫內部報酬率的影響有限，而營收下降的風險增加，對整體計畫的財務績效影響較大，因此，未來本計畫將致力於維持營收能夠達到目標。此外，敏感度分析下各情境之 IRR 介於 2.8%~3.3%之間，仍在報酬穩健之範圍內，可以獲得預期的現金收益，因此，本 70 MeV 迴旋加速器營運可符合市場需求及達到財務平衡。

本計畫亦期帶動長期之經濟效益，包含建立本土核醫產業，提升自給率，促進醫藥產業出口成長；計畫所提供之質子及中子照射服務，將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，加速協助國內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；開創中子應用的首試平台，讓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，同時也建立我國研究特色。基此，本計畫將積極協助國家提升精準醫療診斷治療能量、同時滿足發展航太級關鍵電子零組件晶片產業之高能粒子(質子、中子)輻射環境驗證量測需求，以及構建國家產學科研技術發展所需中子研究能量，提昇我國研發實力以面對全球經濟環境與供應鏈板塊變動的挑戰與威

脅。

貳、產業及產品

一、產業定位、結構、特性、關連性趨勢

(一) 產業簡介

配合總統在 109 年就職演說「六大核心戰略產業」中的「臺灣精準健康戰略產業」、「國防及戰略產業」、「民生及戰備產業」等三大產業發展，核安會補助之國原院預計於桃園市龍潭園區，在四年內建置完成「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(以下簡稱 70 MeV 迴旋加速器)」。本計畫主要鎖定於「生技醫藥(核醫藥物)」、「衛星航太與半導體」等產業應用領域。

1. **生技醫藥(核醫藥物)**：為擺脫國外廠商的依賴，國原院已具備國內從上游核醫放射性核種之生產、核醫藥物之製造、至下游行銷通路建立之核醫產業完整能力，近程目標在使各醫院能在最短時間內取得活性最高、品質佳的優良藥物，並增加國內就業率；遠程目標則可以就近供應鄰近東南亞、東北亞及大陸等地區，以時間較短、活性減少較少的優點，和歐美產品競爭並取代之。

核醫製藥是原子能科技應用，利用核物種放出具有能量之射線進行疾病之診斷與治療，屬於人類健康之醫療產業、化學製藥工業、生技產業等。核醫藥物係將具有放射性之物質與小分子化合物結合，利用小分子化合物與人體器官之親和性，以及生理代謝吸收機制到達人體內部之器官或組織，將核醫藥物在一定器官中之表現，應用單光子放射斷層掃描(SPECT)與正子放射斷層掃描(PET)產生生理上診斷影像，提供醫師進行診斷，或進行局部病變之治療。

核醫藥物產業利用放射性核種結合載體的藥物，產生生理上診斷影像與治療作用，用於診斷之放射性核種為產生加馬能譜之放射

性同位素，如單光子放射斷層掃描之碘-123、鉈-201、鎵-67、鎳-99m及正子放射斷層掃描之氟-18等；核醫藥物診斷具有分子功能性檢測，因此，可以在病變初期則可發現，屬於具有早期診斷的高精確性特質，此特點對於疾病的診斷及治療有非常大的幫助。

2. **衛星航太與半導體**：中子與質子等高能粒子因涉及高強度放射性物質與輻射安全管制，一般民營公司難以獨立投資及營運，世界先進國家多由國家進行資本投資。

中子與同步輻射光源是探討自然界微結構的兩樣利器，兩者都是學術研究的重要工具，但國內目前尚欠缺可方便應用之中子源。中子科技已廣泛應用在航太工業、飛機製造工業、農業、醫學、國防工業及原子能科技...等領域，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，像是橋樑的防蝕、大型金屬管線焊接課題、電廠使用渦輪葉片劣化檢測與飛航安全，以及交通基礎建設中的鐵軌檢測等。未來中子源設置完成後，將可運用於太空衛星電子元件抗輻射測試(中子軟錯誤率)、儲能組件評估檢測、用過核子燃料乾式貯存筒與核電廠用過燃料池之中子吸收板效能評估、土壤岩層內的水流移動、風機塔架之銲接結構件的殘留應力量測評估、含低原子序元素(如: H、C...等)的電池電極組織結構分析與銅焊/錫焊/高分子黏著等接合部位觀測。

(二) 市場結構

包含以下要點：

1. 世界及國內市場現有或潛在市場需求

(1) **生技醫藥(核醫藥物)**：放射精準醫療為精準醫療之重要領域，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

年評估為 103.528 億美元，預計到 2025 年將達到 201.43 億美元，並於 2019-2025 年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)核醫學、單光子斷層掃描(SPECT)與正子斷層造影(PET)的廣泛應用以及(3)病患對於醫療健保的意識逐漸抬頭...等。在各種治療用核子醫藥中，以反應器生產之 Y-90、Re-188、P-32、Sr-89、Pd-103、I-131、Sn-117m 等成長最為快速。

(2)衛星航太與半導體：「衛星」是下一世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。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，全球太空經濟產值超過 4,000 億美元。依據美國衛星工業協會(Satellites Industry Association, SIA) 2020 年報告，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，這區塊將是台灣最適合切入的部分。

2. 現有或潛在市場是否有地域性、法律性之特殊限制

(1)生技醫藥(核醫藥物)：核醫藥品有物理半衰期限制、衛生福利部食品藥物管理署(TFDA)藥廠國際醫藥品稽查協約組織(PIC/S)認證與藥品許可證之限制，以及市場地域性，法律性之特殊限制需要克服，如欲將產品外銷，除物理半衰期限制、輸出國藥廠國際醫藥品稽查協約組織優良藥品製造規範 PIC/S GMP 認證與輸出國藥品許可證之限制外，尚需注意貿易障礙之限制條件，如輸出量、智財權與關稅問題。但和歐美大廠比較，台灣對鄰近的中國大陸、東南亞、東北亞距離較近，運輸時間較短，競爭性上優於歐美核醫大藥廠。

(2)衛星航太與半導體：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，顯示極為重視輻射對於通訊系統半導體元件的威脅。國內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。隨著半導體製程微縮，可預測未來積體電路產業對 IC 元件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。

3. 現有或潛在競爭者市場供給能力及佔有概況

(1) 生技醫藥(核醫藥物)：目前台灣主要核醫藥物供應商除國原院外，尚有以代理並銷售進口藥品的新吉美碩、元新與昶洋等公司，供應藥品包括 Tc-99m 發生器、各種 Tc-99m 標誌所需之凍晶產品及其它各種同位素產品。國原院核醫製藥廠已通過衛福部 PIC/S cGMP 認證，國原院中型迴旋加速器 TR30/15 所生產放射性同位素如：Tl-201, Ga-67, In-111, I-123 及 F-18 等，產製之核醫藥物有 Tl-201-chloride, Ga-67-citrate 等。凍晶製劑核醫藥物有 MIBI, ECD, MAG3 等。國原院藥廠成立後，國原院可依法將這些已商品化並銷售國內的藥劑技轉給廠商，可即刻加入生產銷售，國原院由於係以自營方式產銷，除可取代大部分的國外進口廠商藥品；另本計畫藥廠位於北部，且交通便捷亦具備有串聯國內北、中、南醫院市場通路的優勢。

(2) 衛星航太與半導體：目前國內衛星元件高能質子輻射測試方面，並無專責實驗室，現行方案是由國內各研發需求單位，如太空中

心、中科院等，自行設法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。國內元件製造商雖在元件製造商方面，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、測試方法亦不熟悉，亦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。而台灣在福衛系列衛星計畫框架下，同時發展太空技術並延伸國內太空產業，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。立法院院會110年5月31日三讀通過「太空發展法」，奠定我國太空發展法制基礎的重要一步，提供公部門與民間企業法律依循，提升我國太空相關產業的競爭力。

中子繞射散射應用更是頂尖學術及技術發展的重要利器，中子繞射廣泛用於多數與中子分析有關的論文(估算約80%)，而國內缺乏中子散射(繞射及小角度散射)設備，目前國內中子相關研究都是到國外執行，根據2015~2019年的統計數據，經執行的研究計畫約為需求的70~77%左右，實驗人數約為80人/年，而業界則是需透過學界協助前往國外進行分析，若國內能建立相關設施，必能提升國內產學合作，增進國內科技發展。

國外研究機構的中子影像應用包含土壤岩層內的水流移動、機械潤滑薄膜觀測、多孔材料的孔隙大小與分部觀測、流體觀測、燃料電池運作、鋰電池及儲氫材料，繞射散射應用更是頂尖學術及技術發展的重要利器。

(三) 對國內產業發展之關聯性

1. 生技醫藥(核醫藥物)：國原院將承繼國內核能研究所所有研發上市

或研發中之藥物，發展核醫藥物應用科技，建立國內核醫產業及銷售系統，以擺脫國外進口之限制並進而外銷國外；國原院除建立分子影像研發應用技術外，亦將建構治療用核醫藥物、核醫分子與功能診斷、基因表現造影、細胞活性造影及標靶治療等產品服務。從供應鏈角色及相關零組件供應等，對國內產業之帶動影響，在迴旋加速器方面：與自動控制、機械、真空系統、電子、電機、輻射防護設備等產業相關；原料藥方面：與化學工業、電子、機械加工、輻射防護設備等產業相關；藥廠方面：與機械、電子、輻射防護設備、化學工業、品管分析設備等產業相關；通路方面：則可與藥局及代銷商等所形成產業合作供應鏈來替代進口，如此一來，將帶動上、下游產業產量及產值之相關貢獻。

2. **衛星航太與半導體**：從國家戰略層級來看，太空與衛星相關的技術，與現代國防發展息息相關。然而，推動台灣由半導體產業強國邁向太空級耐輻射電子元件供應國，以及協助本土電子元件廠商技術升級，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。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，業者可參與其中承接低軌道衛星的訂單，從設計、製作到組裝等，未來可以帶動更多市場空間。本計畫規劃建置質子照射實驗室，因應太空元件高能質子輻射測試需求，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，以符合第三期國家太空科技長程發展計畫的重要目標。此外，本計畫亦規劃建置中子相關實驗設施後，提供國內執行中子軟錯誤率測試(太空衛星電子元件抗輻射測試)。

本計畫之產業關聯圖如圖 1，70 MeV 迴旋加速器可產製放射性同位素與核醫藥物產品，例如鉈-201(Thallium-201, Tl-201)與核研氣

化亞鉈[鉈-201]注射劑、鎳-67(Gallium-67, Ga-67)與核研檸檬酸鎳[鎳-67]注射劑等將可替代進口藥物。本計畫將在政府及產業支援下，提升台灣核醫領域研發能量，針對規劃重點核醫藥物取得國際 FDA 認證，並扶植及拓展核醫產業，落實本土化，開拓外銷市場，進而領先國際。

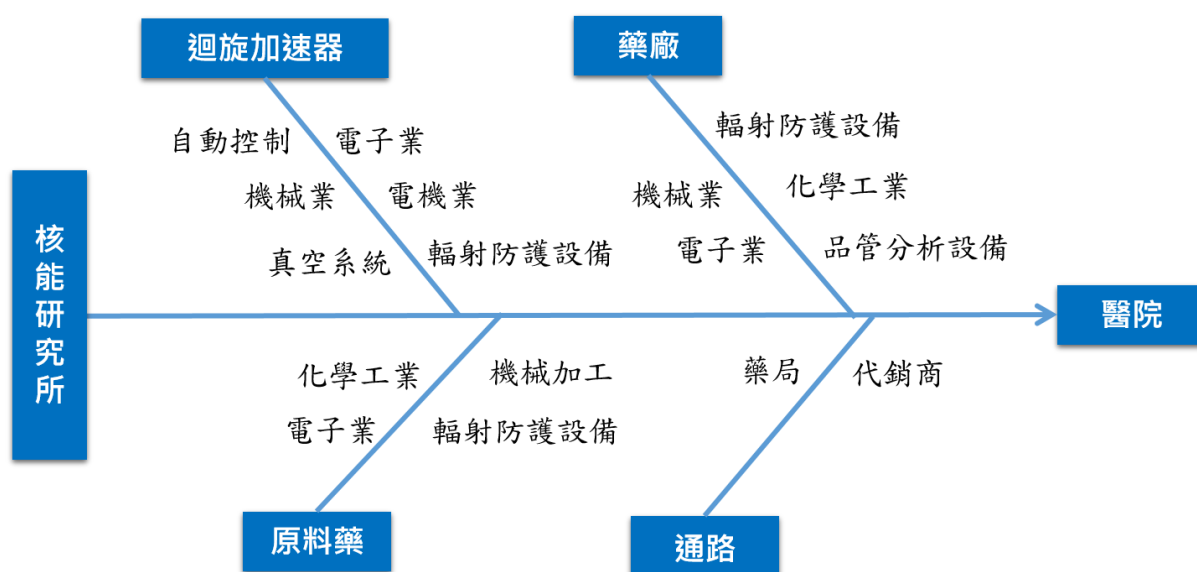


圖 1、核醫產業關聯圖

二、產品定位、規格、用途、生命週期、未來發展性

(一) 產品定位

國原院建造國內第一部 70 MeV 中型迴旋加速器及相關設施，生產診斷放射性同位素與治療性放射性同位素，並產製與提供核醫藥物給國內外核醫影像部門，以進行相關病灶的影像醫學診斷及治療。本計畫旨在開發核醫藥物生產及技術，整合國內所有相關產學研的研發能力，建置國內真正的本土核醫產業，落實政府推廣生技產業政策，並以服務國內病患為要務。以及，質子及中子照射實驗室定位為第三

方公正實驗室，依據國際驗證標準規範，逐步建立實驗室能量，完善國內太空科技研究與國內產業發展所需基礎設施，承接國內產、學、研等各單位之委託測試服務，支援國內太空及半導體等產業發展。產品定位於「商業化產品」或「服務」等二項。

1. 國原院可提供商業化產品或服務計有：

本計畫提供的商業化產品或服務鎖定於「生技醫藥(核醫藥物)」、「衛星航太與半導體」等二大產業應用領域。

產業類別	產品或服務
生技醫藥 (核醫藥物)	(1) 單光子放射心肌造影藥物 - 核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑。 (2) 單光子放射腫瘤與發炎組織造影藥物 - 核研檸檬酸鎳[鎳-67]注射劑。 (3) 單光子放射心臟與交感神經藥物 - 核研心交碘-123注射劑。 (4) 鉈-225 (Ac-225) 放射性同位素。 (5) 銅-67 (Cu-67) 放射性同位素。 (6) 銦-82(Sr-82)放射性同位素。
衛星航太與 半導體元件 檢測	(1) 太空元件質子照射驗證測試與評估。 (2) 高劑量率(200 μ A)質子照射服務。 (3) 大面積(30 cm*30 cm)質子照射服務。 (4) 快中子軟錯誤率晶片檢測服務。 (5) 快中子影像檢測服務。 (6) 熱中子靜態影像檢測服務。 (7) 熱中子動態影像檢測服務。

(8) 熱中子繞射分析服務。

2. 產品技術與國內現有技術及世界技術之比較

國內早於 1993 年第一部 30 MeV 中型迴旋加速器建立後，便開始發展核醫藥物研製技術，經過近 30 年學研等單位共同之努力，目前加速器產製診斷用核醫藥物的技術已與國際大型核醫機構（如加拿大 Nordion、美國通用(GE)公司等)相當。但核能研究所尚未建立 70 MeV 中型迴旋加速器，無法開發治療用放射性同位素與核醫藥物，因此國內有需求的治療用放射性同位素與核醫藥物，僅能完全由國外進口獲得。針對上述取得困難且國內無相關之核醫藥物研製能力，本計畫期望未來在國內產學研醫等共同合作下，可望與世界發展同步前進。

此外，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，難以參與以及成為太空元件供應鏈之一環。相關比較國內、外現有產品及技術如下：國內迴旋加速器運轉與照射技術、靶電鍍技術、化學分離純化技術、靶材回收技術、原料藥分析技術、放射針劑研製技術與品管分析技術與國外技術相符，但質子照射模擬分析技術、質子束射線量化分析技術、質子照射多維度智慧掃描技術與質子照射多應力複合驗證技術則須加強並迎頭趕上。

中子影像及其繞射散射應用為是頂尖學術及產業技術發展的重要利器。中子繞射廣泛用於多數與中子分析有關的論文(估算約 80%)，國內缺乏中子散射(繞射及小角度散射)設備，目前國內中子相關研究

都是到國外執行；國內目前僅有清大 THOR 反應器中子可執行相關影像檢測(但相關運用技術仍有待強化)，未來期待國內中子影像及繞射應用等技術可以積極發展及運用。

(二) 產品規格

1. 功能規格：

(1) 生技醫藥(核醫藥物)：國原院將以生產銷售短半衰期且國外進口困難的核醫藥物為主，進行相關腦神經系統、腫瘤、心臟、腎臟、肝臟、腦血流、骨密度等等疾病核醫影像診斷及標誌同位素放射線治療等業務為核心事業。國原院執掌業務範圍將包含最上游的迴旋加速器產製核醫同位素，及 PIC/S GMP 化學分離及製藥等中游任務到最終產品藥物生產銷售。因此，國原院穩定供應核醫藥物以滿足醫界臨床診斷需求，亦以國原院中型迴旋加速器及 PIC/S GMP 藥廠等核心設施及核醫製藥技術為基礎，整合國內產學研各單位，專注於醫療未滿足的需求，開發各類診斷、治療用核醫藥物。

(2) 衛星航太與半導體元件檢測：在配合行政院「積極推動我國太空科技發展」政策上，國原院目前已與太空中心建立長期合作夥伴關係，利用國原院現有的 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。

太空輻射環境主要包含高能質子、中子、電子與重離子，我國現階段發射的衛星皆屬於低軌道衛星，係以質子為主，大約占 95%。國內高能量質子照射(70~230 MeV) 目前可在長庚醫院進行測試，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，填補了太空輻射環境驗證的現今缺口，未來國原

院可執行更廣的中、低質子能量(15~70 MeV)質子照射測試，可以讓我國太空計畫執行更臻周全完善。

(三) 產品用途

1. 近程將取得國原院相關核醫藥物產品或服務，用途如下：

類別	產品
生 技 醫 藥 (核醫藥物)	<p>(1) 單光子放射心肌造影藥物 - 核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑，應用於臨床上心肌梗塞之檢測。</p> <p>(2) 單光子放射腫瘤與發炎組織造影藥物 - 核研檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑，應用於臨床上腫瘤和發炎組織之偵測。</p> <p>(3) 單光子放射心臟與交感神經藥物 - 核研心交碘-123 注射劑，應用於嗜鉻細胞瘤或神經母細胞瘤與心肌交感神經功能之偵測。</p> <p>(4) 鉈-225 (Ac-225) 放射性同位素，應用於癌症治療。</p> <p>(5) 銅-67 (Cu-67) 放射性同位素，應用於放射免疫療法 (RAIT, radio-immunotherapy)、淋巴瘤、結腸癌和膀胱癌治療。</p> <p>(6) 銦-82(Sr-82)放射性同位素可製作為 Sr-82/Rb-82 發生器發生器，應用於心肌正子斷層掃描診斷。</p>
衛 星 航 太 與 半 導 體 元件檢測	<p>(1) 太空元件質子照射驗證測試與評估。</p> <p>(2) 高劑量率(200 μA)質子照射服務。</p> <p>(3) 大面積(30 cm*30 cm)質子照射服務。</p> <p>(4) 快中子軟錯誤率晶片檢測服務。</p> <p>(5) 快中子影像檢測服務。</p>

	(6) 熱中子靜態影像檢測服務。 (7) 熱中子動態影像檢測服務。 (8) 熱中子繞射分析服務。
--	--

2. 此產品或服務可能替代那些產品或服務，以及未來可能被那些產品或服務替代 (70 MeV 同位素)。

- (1) 單光子放射心肌造影藥物 - 核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑，主要用於評估心肌血管存活狀況，可鑑別是缺血或梗塞等症狀，為目前國際上廣泛應用之核醫藥物，可替代風險高之心血管攝影技術；未來可能被更高階之電腦斷層和磁振造影等替代，但在價格上仍有競爭優勢。另外，可與鎝-99m 標誌心臟造影劑相輔相成，在臨床上進行心肌梗塞之檢測應用。
- (2) 單光子放射腫瘤與發炎組織造影藥物 - 核研檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑，應用於臨床上腫瘤和發炎組織之偵測，若與正子放射的[氟-18]去氧葡萄糖注射劑的價格接近時，則核研檸檬酸鎂[鎂-67]未來可能會被取代在腫瘤造影的臨床應用。
- (3) 單光子放射心臟與交感神經藥物 - 核研心交碘-123 注射劑應用於(1)偵測嗜鉻細胞瘤或神經母細胞瘤之原發病灶或轉移病灶，以作為其他診斷檢查的輔助使用；(2)藉由心臟與縱膈(Heart to Mediastinum, H/M)放射性攝取比值，評估心肌交感神經功能。
- (4) 銦-225 (Ac-225) 放射性同位素，利用放射性同位素及其衰變產物所釋放的 α 粒子，可殺死身體內的癌細胞，稱為標靶 α 射線治療法(targeted alpha therapy, TAT)。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(約數細胞的直徑)，成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，而提高標靶治療的安全性。所以，標靶 α 射線治療法(TAT)的核醫藥物開發，是全球學術界和商業研究的重點活躍領域。目前無相關產品可取代。

- (5) 銅-67 放射性同位素，銅-67(Cu-67)放射性同位素的物理性質，適合應用於放射免疫療法(RAIT, radio-immunotherapy)，因銅-67(Cu-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 2 毫米，非常合適於治療直徑 5 mm 的腫瘤，並同時具有 91~184 keV 能量，適合於治療前診斷加馬成像。目前銅-67(Cu-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。目前無相關產品可取代。
- (6) 銥-82(Sr-82)放射性同位素，銥-82(Sr-82)放射性同位素的產製困難度高且價格不斐，尤需要高強度的質子束能量(約 40-100 MeV)。銣-82(Rb-82)是由銥-82(Sr-82)經由電子捕獲衰變而來【銥-82(Sr-82)半衰期有 25.34 天，銣-82(Rb-82)半衰期只有 75 秒】，銣-82(Rb-82)衰變是以 β^+ 能量釋放，所以銣-82 很適合用來做短期的心肌灌注正子斷層掃描，並且可以重複診斷且吸收劑量較低。美國食品藥品監督管理局(FDA)已批准 $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ 發生器【商品名：CardioGen-82®】在美國商業使用，銣-82(Rb-82)已應用心肌正子斷層掃描診斷。心肌灌注診斷最需要立即且快速的掃描過程，可以達到早期治療與預防目的。目前無相關產品可取代。
- (7) 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，太空輻射試驗與環境測試是不可或缺之工作。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。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，目前 SpaceX 星鏈網絡中大約有 3% 的衛星失效，變成太空垃圾。未來的挑戰將是衛星可靠度的提升，即延長太空組件之壽命。

(四) 生命週期

國原院 30 MeV 中型迴旋加速器已運轉達 28 年，本計畫提出建置一部新的 70 MeV 迴旋加速器，提供能量範圍 28-70 MeV 的質子射束，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，鎖定生技醫藥、國安、太空、半導體等領域優先應用。

中型迴旋加速器(30MeV 與 70MeV)所產製之四種核子醫學主要的臨床造影藥物：單光子放射心肌造影藥物 - 核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑、單光子放射腫瘤與發炎組織造影藥物 - 核研檸檬酸鎳[鎳-67]注射劑；單光子放射心臟與交感神經藥物 - 核研心交碘-123 注射劑，每一項估計均有 50 年以上的銷售生命週期。

另有關衛星航太與半導體元件檢測之質子與中子，根據摩根士丹利(Morgan Stanley)最新預測[Morgan Stanley Research. A New Space Economy on the Edge of Liftoff. 2020.]，到 2040 年，太空產業鏈經濟規模將達到 1 兆美元，世界各國莫不積極搶進太空領域。「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，依此估計高能質子輻射驗證領域應用至少有 30 年以上生命週期。

(五) 未來發展性

1. 生技醫藥(核醫藥物)：中型迴旋加速器產製單光子放射心肌造影藥物 - 核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑、單光子放射腫瘤與發炎組織造影藥物 - 核研檸檬酸鎳[鎳-67]注射劑、單光子放射心臟交感神經 - 核研心交碘-123 注射劑等，這些核醫藥物具臨床應用性，同時亦具備了發展放射性鎳、碘、鉈、碳、氮、氧、鎢同位素的新分子藥物的研發能力。這些新分子核醫藥物的研發，未來發展於腦部、心臟和腫瘤或其它功能性造影，均有特定的功效，且能與非放射性的新分子藥物研發銜接。以放射性的高靈敏度的特點，輔助新分子藥物之研究與開發，未來發展性高。國原院目前開發中的藥物如：多醣體肝功能藥物、I-123 ADAM 憂鬱症診斷藥物、R-188 liposome 癌症治療藥物、I-123 Epidepride 躁鬱症診斷用藥等等，皆為國原院未來可以生產銷售用藥；另就全球角度來說，美國與日本等國家，正大規模推動與發展，台灣亦須趕上核醫藥物黃金發展階段和契機。

2. 衛星航太與半導體元件檢測：提升我國太空電子元件輻射驗證能量，滿足質子射束驗證全域需求，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。此外，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，未來 5 年內半導體產業仍會努力實現製程微縮的目標，半導體產業對輻射照射測試服務的需求將持續大幅成長，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。

中子照射服務包含晶片中子軟錯誤率檢測、快中子影像檢測服務、熱中子靜態影像檢測、熱中子動態影像檢測及熱中子繞射分析等。中子軟錯誤率為航太等級晶片的必要檢測項目；繞射分析為產學研界於

材料分析的廣泛使用技術；快中子影像檢測服務預期運用於厚件物體檢測；熱中子靜態影像及動態影像檢測則為物件非破壞檢測及製程開發的重要檢測技術。中子應用範圍日趨普遍，目前將預留 2 條射束線供未來應用擴充，將可朝向硼中子捕獲治療、冷中子影像、冷中子繞射等運用發展。

三、產品計畫

國原院將為國內首座加速器設施可同步提供診斷用與治療用放射性同位素、核醫藥物製劑與質子與中子研究服務等之研究單位，包含 70MeV 迴旋加速器、核醫藥廠、專業質子照射站、中子靶站、射束線、熱中子影像實驗站、快中子實驗站及熱中子繞射分析實驗站以及相關輻防監測設施。除了迴旋加速器取得與中子設備之建立必須外購外，其餘相關設施、廠房建造等將由國內廠商提供，運轉維護所需之相關人力及定期保養耗材也將以我國相關廠商為主，故國原院核醫藥物產業、中子與質子應用產業的建立，將同時帶動國內相關產業之投入並提供相關就業契機。

1. **硬體建立：**建立中型迴旋加速器、放射性同位素分離熱鉛室、化學原料合成、原料藥廠、PIC/S GMP 核醫藥廠、質子照射靶站、質子照射模擬分析平台、質子束射線量化分析平台、射束降能模組(含準直器)、快中子靶站、熱中子靶站、射束線、熱中子影像實驗站、快中子實驗站及熱中子繞射分析實驗站等硬體設施。

2. **軟體建立：**

- (1) 原料藥品質系統：放射性同位素原料藥與化學合成原料藥。
- (2) 核醫藥物 PIC/S GMP 品質系統：放射性口服液劑、放射性最終滅菌製劑、放射性無菌充填製劑核醫藥物。

- (3) 低中能階質子照射站：高能質子能階調變模擬技術，搭配磁極或多元材質檔板之降能模組設計驗證，以因應衛星元件低、中能階質子射束測試需求。
- (4) 高能階質子照射站：建立質子照射分析模擬技術，支援大尺度電子元件模組高能質子輻射照射驗證分析。
- (5) 軟錯誤率與影像檢測：軟錯誤率測試分析軟體、熱中子影像檢測分析軟體、熱中子繞射分析軟體。

3. 產品：

- (1) 生技醫藥(核醫藥物)：研製放射性同位素、放射性核醫藥物製劑與其他核醫藥物，銅-225 (Ac-225) 放射性同位素原料藥許可證申請、銅-67 (Cu-67) 放射性同位素原料藥許可證申請以及銨-82(Sr-82)放射性同位素原料藥許可證申請，及其他核醫藥物將依序提出申請並上市。
- (2) 衛星航太與半導體元件檢測：衛星電子元件穩定性檢測、快中子軟錯誤率晶片檢測、快中子影像檢測、熱中子靜態影像檢測、熱中子動態影像檢測與熱中子繞射分析服務。

參、製造與技術

一、原料來源

1. **生技醫藥(核醫藥物)**：計畫產品主要分為放射性製劑和凍晶製劑。放射性製劑產品包括核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑、核研檸檬酸鎳[鎳-67]注射劑、核研心交碘-123 注射劑、鉈-225 (Ac-225)放射性同位素、銅-67 (Cu-67)放射性同位素以及銦-82(Sr-82)放射性同位素；凍晶製劑產品包括腦部多巴胺造影凍晶製劑、心臟造影凍晶製劑、腎功能造影凍晶製劑、腦血流造影凍晶製劑。

放射性製劑產品主要原材料及來源列於表 9，放射製劑的原材料最主要為照射靶材，因為它們是純度很高的穩定同位素，需要利用特殊儀器設備製備。

表 9、放射性製劑產品主要原材料

產品名稱	主要原材料/來源
核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑	濃縮鉈 203/Isotec INC. USA
核研檸檬酸鎳[鎳-67]注射劑	濃縮鎳 68 氧化物/Isotec INC. USA
核研心交碘-123 注射劑	Xe-124 氣體/Isotec INC. USA
鉈-225 (Ac-225)放射性同位素	鈷-232/Rosatom Russia
銅-67 (Cu-67)放射性同位素	鎳-68/Isoflex USA
銦-82(Sr-82)放射性同位素	銦-85/Isoflex USA

(1) 原材料及零組件來源分析表

其中放射性製劑產品主要原材料分析如表 10。

表 10、放射性製劑產品主要原材料分析表

金額單位：新台幣千元

主要原材料	主要提供者	價格	佔產品成本%	次要提供者	價格	佔產品成本%
-------	-------	----	--------	-------	----	--------

濃縮鈹-203	CMR, Enrich International company, Isonics	50-60/g	2.5%	Isotec	55-60/g	2.8%
濃縮鋅-68 氧化物	CMR	15-25/g	0.4%	Isotec	20-30/g	0.6%
Xe-124 氣體	Enrich International company	600-900/liter	0.2%	Isotec	700- 900/liter	0.2%
鈷-232	Rosatom	10/Kg	<0.1%	—	—	—
濃縮鋅-68	CMR	15-25/g	13%	—	—	—
濃縮鉬-85	Isoflex	20-30/g	5%	—	—	—

上表中佔產品成本百分比是以每年使用成本來計算。

(2) 對可能提供原材料及零組件提供者所提供主要零組件之差異、比較分析說明

放射性製劑產品主要原材料分析，分為功能、價位及穩定性，分別說明如下：

功能：就原材料的規格功能而言，基本上，主要提供者和次要提供者皆能提供符合規格原材料。

價位：就原材料的價位而言，主要提供者的價位略低於次要提供者。但為求穩定原料來源，次要提供者仍應讓其保持一定供應量。

穩定性：就原材料的後續技術發展支援的長期穩定性而言，次要提供者的技術及所規模較主要提供者佳，因考慮價格因素及規格符合，所以採用主要提供者。

(3) 未來我國自行供應本項零組件可行性說明：

未來國內對於放射性製劑產品主要原材料如濃縮鈹-203、濃

縮鋅-68 氧化物、Xe-124 氣體等，由於設原料廠成本高且市場上已方便購得，由國內自行供應可行性較低。

2. 衛星航太與半導體元件檢測：質子及中子照射室僅使用迴旋加速器產生之高能質子作為射源應用，建立執行模擬輻射試驗及其標準度量技術能量，相關試驗設備建置完成後，無需其他原材料及零組件。

二、產能

本計畫核醫藥物和新開發放射性同位素建廠完後十年生產計畫，說明如下：

(一) 放射性核醫藥物和凍晶製劑產能

1. 放射針劑生產線預定於本計畫完成試運轉後，配合國原院現有核醫製藥廠和 30 MeV 迴旋加速器設施開始執行生產銷售。使用兩台加速器執行照射生產核醫藥物，可使供藥穩定度大為提升，滿足醫院穩定供藥的需求，進而增加市場佔有率，預定放射針劑包括核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑、核研檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑、核研心交碘-123 注射劑等，各放射針劑之產能分析表，如表 3-5 所示。

表 11、放射針劑 - 核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑產能分析表

金額單位：新台幣千元

核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑										
項目	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
單一生產線之月產能(瓶)	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
計畫建置之生產線數	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
全部生產線之年產能(瓶)	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800
台灣總需求瓶/劑數(瓶, 40mCi/瓶)	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500
台灣市佔率	30%	40%	50%	55%	55%	60%	62%	65%	67%	70%
計畫實際生產數量(瓶)	2,848	3,797	4,747	5,222	5,222	5,696	5,886	6,171	6,361	6,646
預估之總銷售量(瓶)	2,250	3,000	3,750	4,125	4,125	4,500	4,650	4,875	5,025	5,250
預估之單位生產成本(千元/瓶)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
預估之單位銷售額(千元/瓶)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
預估之總生產值	62,658	83,544	104,430	114,873	114,873	125,316	129,494	135,759	139,937	146,203
預估之總銷售額	49,500	66,000	82,500	90,750	90,750	99,000	102,300	107,250	110,550	115,500
Tl-201 Ga-67 共用一條產線，以Tl-201 8批/週、Ga-67 1批/週生產估算。每年可生產月數訂為11個月。										
實際生產數量-總銷售量 = 品管檢驗和留樣量										

金額單位：新台幣千元

表 12、放射針劑 - 核研檸檬酸鎳[鎳-67]注射劑產能分析表

金額單位：新台幣千元

核研檸檬酸鎳[鎳-67]注射劑										
項目	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
單一生產線之月產能(瓶)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
計畫建置之生產線數	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
台灣總需求瓶/劑數(瓶, 30mCi/瓶)	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960
台灣市佔率	60%	65%	70%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
全部生產線之年產能(瓶)	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
計畫實際生產數量(瓶)	835	904	974	1,043	1,043	1,043	1,043	1,043	1,043	1,043
預估之總銷售量(瓶)	576	624	672	720	720	720	720	720	720	720
預估之單位生產成本(千元/瓶)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
預估之單位銷售額(千元/瓶)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
預估之總生產值	8,348	9,043	9,739	10,435	10,435	10,435	10,435	10,435	10,435	10,435
預估之總銷售額	5,760	6,240	6,720	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200
Tl-201 Ga-67 共用一條產線，以Tl-201 8批/週、Ga-67 1批/週生產估算 金額單位：新台幣千元 實際生產數量-總銷售量 = 品管檢驗和留樣量										

表 13、放射針劑 - 核研心交碘-123 注射劑產能分析表

金額單位：新台幣千元

核研心交碘-123注射劑										
項目	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
單一生產線之月產能(瓶)	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
計畫建置之生產線數	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
台灣總需求瓶/劑數(瓶, 10mCi/瓶)	3,333	3,333	3,333	3,333	3,333	3,333	3,333	3,333	3,333	3,333
台灣供給率	21%	21%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	37%	37%
全部生產線之年產能(瓶)	1,760	1,760	1,760	1,760	1,760	1,760	1,760	1,760	1,760	1,760
計畫實際生產數量(瓶)	1,760	1,760	1,760	1,760	1,760	1,760	1,760	1,760	1,760	1,760
預估之總銷售量(瓶)	704	704	1,232	1,232	1,232	1,232	1,232	1,232	1,232	1,232
預估之單位生產成本(千元/瓶)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
預估之單位銷售額(千元/瓶)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
預估之總生產值	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000
預估之總銷售額	8,800	8,800	15,400	15,400	15,400	15,400	15,400	15,400	15,400	15,400
I-123 MIBG 共用一條產線，以4批/週生產估算 金額單位：新台幣千元 I-123 MIBG 因目前產能有限，暫時無法足量供應市場需求量。需改善製程以提升產能。 實際生產數量-總銷售量 = 品管檢驗和留樣量 第1,2年 每批生產10瓶，銷售4瓶。第3年後製程改善，每批生產20瓶，銷售14瓶。										

2. 凍晶製劑生產線預定於本計畫完成後，配合國原院現有核醫製藥廠開始執行生產銷售，包括馬格鎳腎功能造影劑(MAG3)、美必鎳心臟造影劑(MIBI)、雙肱乙酯腦造影劑(ECD)等，各凍晶製劑之產能分析表，如表 6-8 所示。

表 14、凍晶製劑 - 馬格鎂腎功能造影劑 (MAG3) 產能分析表

金額單位：新台幣千元

核研馬格鎂腎功能造影劑										
項目	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
單一生產線之月產能(瓶)	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
計畫建置之生產線數	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
全部生產線之年產能(瓶)	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800
台灣總需求瓶/劑數(瓶)	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
台灣市佔率	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
計畫實際生產數量(瓶)	1,520	1,520	1,520	1,520	1,520	1,520	1,520	1,520	1,520	1,520
預估之總銷售量(瓶)	1,140	1,140	1,140	1,140	1,140	1,140	1,140	1,140	1,140	1,140
預估之單位生產成本(千元/瓶)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
預估之單位銷售額(千元/瓶)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
預估之總生產值	3,496	3,496	3,496	3,496	3,496	3,496	3,496	3,496	3,496	3,496
預估之總銷售額	2,622	2,622	2,622	2,622	2,622	2,622	2,622	2,622	2,622	2,622

MAG3、ECD及MIBI共用一條產線，MAG3佔4批/月，MIBI佔2批/月，ECD生產佔1批/月

金額單位：新台幣千元

表 15、凍晶製劑 - 美必鎂心臟造影劑 (MIBI) 產能分析表

金額單位：新台幣千元

核研美必鎂心臟造影劑										
項目	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
單一生產線之月產能(瓶)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
計畫建置之生產線數	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
全部生產線之年產能(瓶)	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400
台灣總需求瓶/劑數(瓶)	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500
台灣市佔率	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%
計畫實際生產數量(瓶)	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253
預估之總銷售量(瓶)	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
預估之單位生產成本(千元/瓶)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
預估之單位銷售額(千元/瓶)	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
預估之總生產值	1,647	1,647	1,647	1,647	1,647	1,647	1,647	1,647	1,647	1,647
預估之總銷售額	1,235	1,235	1,235	1,235	1,235	1,235	1,235	1,235	1,235	1,235

MAG3、ECD及MIBI共用一條產線，MAG3佔4批/月，MIBI佔2批/月，ECD生產佔1批/月

金額單位：新台幣千元

表 16、凍晶製劑 - 雙肱乙酯腦造影劑 (ECD) 產能分析表

金額單位：新台幣千元

核研雙肱乙酯腦造影劑										
項目	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
單一生產線之月產能(瓶)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
計畫建置之生產線數	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
全部生產線之年產能(瓶)	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200
台灣總需求瓶/劑數(劑)	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640
台灣市佔率	72.5%	72.5%	72.5%	72.5%	72.5%	72.5%	72.5%	72.5%	72.5%	72.5%
計畫實際生產數量(瓶)	619	619	619	619	619	619	619	619	619	619
預估之總銷售量(瓶)	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464
預估之單位生產成本(千元/瓶)	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
預估之單位銷售額(千元/瓶)	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
預估之總生產值	2,351	2,351	2,351	2,351	2,351	2,351	2,351	2,351	2,351	2,351
預估之總銷售額	1,763	1,763	1,763	1,763	1,763	1,763	1,763	1,763	1,763	1,763

MAG3、ECD及MIBI共用一條產線，MAG3佔4批/月，MIBI佔2批/月，ECD生產佔1批/月

金額單位：新台幣千元

(二) 放射性同位素產能

本計畫擬開發放射性同位素包括銅-225放射性同位素、銅-67放射性同

位素和鋨-82 放射性同位素等，這些放射性同位素預定於本計畫完成試運轉後開始進行研發測試，開發時程預計 4 年，第 5 年後開始營運。各新開發射設性同位素之產能分析表，如表 9-11 所示。

表 17、銅-225 放射性同位素產能分析表

金額單位：新台幣千元

項目	5 年	6 年	7 年	8 年	9 年	10 年
單一生產線之批次產能(mCi)	500	500	500	500	500	500
計畫建置之生產線數	1	1	1	1	1	1
全部生產線之年產能(mCi)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
計畫實際年生產數量(mCi)	1000	1000	1300	1300	1500	1500
預估之年總銷售量(mCi)	1000	1000	1300	1300	1500	1500
預估之單位生產成本						
預估之單位銷售額(千元/mCi)	15	15	15	15	15	15
預估之總生產值(千元)	15,000	15,000	19,500	19,500	22,500	22,500
預估之總銷售額(千元)	15,000	15,000	19,500	19,500	22,500	22,500

表 18、銅-67 放射性同位素產能分析表

金額單位：新台幣千元

項目	5 年	6 年	7 年	8 年	9 年	10 年
單一生產線之批次產能(mCi)	150	150	150	150	150	150
計畫建置之生產線數	1	1	1	1	1	1
全部生產線之年產能(mCi)	1800	1800	3300	3300	3300	3300
計畫實際年生產數量(mCi)	1500	1800	2100	2700	3000	3000
預估之年總銷售量(mCi)	1500	1800	2100	2700	3000	3000
預估之單位生產成本						
預估之單位銷售額(千元/mCi)	3	3	3	3	3	3
預估之總生產值(千元)	4500	5400	6300	8100	9000	9000
預估之總銷售額(千元)	4500	5400	6300	8100	9000	9000

註：每批照射 5 天

表 19、銾-82 放射性同位素產能分析表

金額單位：新台幣千元

項目	5 年	6 年	7 年	8 年	9 年	10 年
單一生產線之批次產能(mCi)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
計畫建置之生產線數	1	1	1	1	1	1
全部生產線之年產能(mCi)	20000	20000	20000	20000	20000	20000
計畫實際年生產數量(mCi)	20000	20000	20000	20000	20000	20000
預估之年總銷售量(mCi)	20000	20000	20000	20000	20000	20000
預估之單位生產成本						
預估之單位銷售額(千元/mCi)	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
預估之總生產值(千元)	25000	25000	25000	25000	25000	25000
預估之總銷售額(千元)	25000	25000	25000	25000	25000	25000

註：每批照射 1 週，每年照射 10 批

(三) 質子與中子照射服務產能

質子與中子照射服務預定於本計畫完成後開始實施，質子與中子照射服務時間分配請見表 20。本計畫 70 MeV 迴旋加速器主要用途為核醫藥物生產照射、質子服務照射、中子服務照射和一般研究照射，時間分配表初期如表 20 所示。當有新的服務照射開發完成後，可配合調增服務照射佔比，增加年收入。初期規劃是中子照射服務項目為中子照相和軟錯誤率測試，質子服務照射為衛星元件照射。照射服務費是針對基本照射服務而訂定，如需增加額外服務，將另外論件計酬。

表 20、中子和質子照射服務時間分配表

	使用比例	年使用日數	年收入(單位:萬元)
核醫藥物	40%	88	6,000 (*)
研究照射	35%	77	無實質收入(**)
中子照射	15%	33	1,238
質子照射	10%	22	825

工作日數 250 日/年

維修保養日數 30 日/年

年可用日數 220 日/年

照射服務費 25000 元/小時

*核醫藥物年收入係以第一年總銷售金額(逾 6,000 萬)，以保守估計來計算。

**研究照射年收入指國原院內部研發計畫照射，無實質收入。

三、設備

(一) 現有設備及預計採購設備

1. 目前：國原院目前用於核醫藥物生產得主要設備為 30 MeV 迴旋加速器、靶站設備、同位素處理鉛室以及 PICS/GMP 核醫製藥廠。
2. 未來五年：本計畫擬建置 70 MeV 中型迴旋加速器及相關設施，生產診斷放射性同位素與治療性放射性同位素，以及執行質子與中子服務照射。新購 70 MeV 中型迴旋加速器搭配現有 30 MeV 迴旋加速器執行照射生產核醫藥物，可使供藥穩定度大為提升，可滿足醫院穩定供藥的需求。本計畫未來五年內擬採購之生產和應用研究設備如下表 21 所列。

表 21、五年內擬採購之生產設備

● 中型迴旋加速器

設備名稱	用途	數量
1. 加速器廠房(空調、儀電等)設備	輔助產製放射性同位素	1
2. 中型迴旋加速器 (Compact Cyclotron)	產製放射性同位素	1
3. 固、液、氣體靶系統	產製放射性同位素	1
4. 放射性熱鉛室一組	產製放射性同位素	1

● 質子照射室

設備名稱	用途	數量
1. 質子照射模擬分析平台	照射模擬分析	1

2. 質子束射線量化分析平台	射線量化分析	1
3. 多維度智慧掃描平台	自動化平台	1
4. 輻射監測設備	確保人員安全	1
5. 測試控制設備	遠端控制	1

● 中子照射室

設備名稱	用途	數量
快中子靶站	產生快中子	1
熱中子靶站	產生熱中子	1
快中子射束線	導引快中子	1
快中子實驗站	執行軟錯誤率測試及快中子影像擷取	1
熱中子射束線	導引熱中子	1
熱中子影像實驗站	熱中子影像擷取	1
熱中子繞射分析實驗站	熱中子繞射分析	1

(二) 生產線及預計增加生產線計畫

國原院現有的核醫藥物生產線可分放射性製劑生產線和凍晶製劑生產線，本計畫 70 MeV 迴旋加速器亦可照射生產放射性同位素製成核醫藥物，但為連接現有放射性製劑生產線(即 PICS/GMP 核醫製藥廠)，需增射放射性同位素處理鉛室和傳送管道以連結現有生產線。另外，新開發放射性同位素需設立其處理鉛室以執行生產作業。本計畫新增生產線類別分述如下：

1. 放射性核醫藥物生產線：由 70 MeV 迴旋加速器、新設放射性同位素處理鉛室、現有原料藥廠、現有 GMP 核醫製藥廠形成。
2. 新開發放射性同位素生產線：由 70 MeV 迴旋加速器、新設放射性同位素處理鉛室形成。

四、製造方式、流程

(一) 生產線佈局

1. 生產線生產流程設計佈局

國內第一部 70 MeV 中型迴旋加速器及相關設施，包含中型迴旋加速器 1 間、核醫生產室(含鉛室) 1 間與核醫研究室 1 間、中子照射室 1 間與質子照射室 1 間等。主要生產線係由迴旋加速器為本體延伸發展生產流程與技術服務流程，其設計佈局分三部份，如下圖 2 所示。

第一部分 (放射性同位素研製)：研製放射性同位素所需空間包括 70 MeV 迴旋加速器、核醫生產室(含鉛室)與核醫研究室，連結現有 30 MeV 迴旋加速器以及 PIC/S GMP 核醫製藥中心。以 70 MeV 迴旋加速器質子照射完後的放射性同位素靶材，傳送到原料藥廠之核醫生產室(含鉛室)與核醫研究室，進行放射性同位素分離與純化，經品管分析作業後，透過自動傳送裝置，傳送進入 GMP 原料藥廠以及 PIC/S GMP 核醫製藥中心進行藥物生產。

第二部分 (質子照射)：質子照射與檢測中心所需空間包括 70 MeV 迴旋加速器、質子照射室及試驗樣品暫留區。質子照射室內共規劃兩條質子射束線、質子射束四極磁鐵整流區與射束降能模組研究測試區。試驗流程首先由 70 MeV 迴旋加速器輸出質子束，於質子照射室內確認射出質子束之能量、通量、射程與計讀校正。完成後配合多維度智慧掃描平台架設待測物，量測樣品接收劑量，樣品表面質子束能量，並模擬太空輻射試驗。試驗後將待測物送樣品暫留區置放，並確認樣品無活化後，再請委託廠商取回。

第三部分 (中子照射)：中子照射部分需要空間包括 70 MeV 迴

旋加速器、快/熱中子靶站及各中子實驗站。以 70 MeV 迴旋加速器產生出質子後，導引質子至快/熱中子靶站產生不同能量的中子束，相關中子束經準直器導引加上其他需求條件處理 (如: 能量篩選、面積限制)後照射樣品，依據測試分析需求進行快中子軟錯誤率、快中子影像、熱中子靜/動態影像及熱中子繞射等分析。

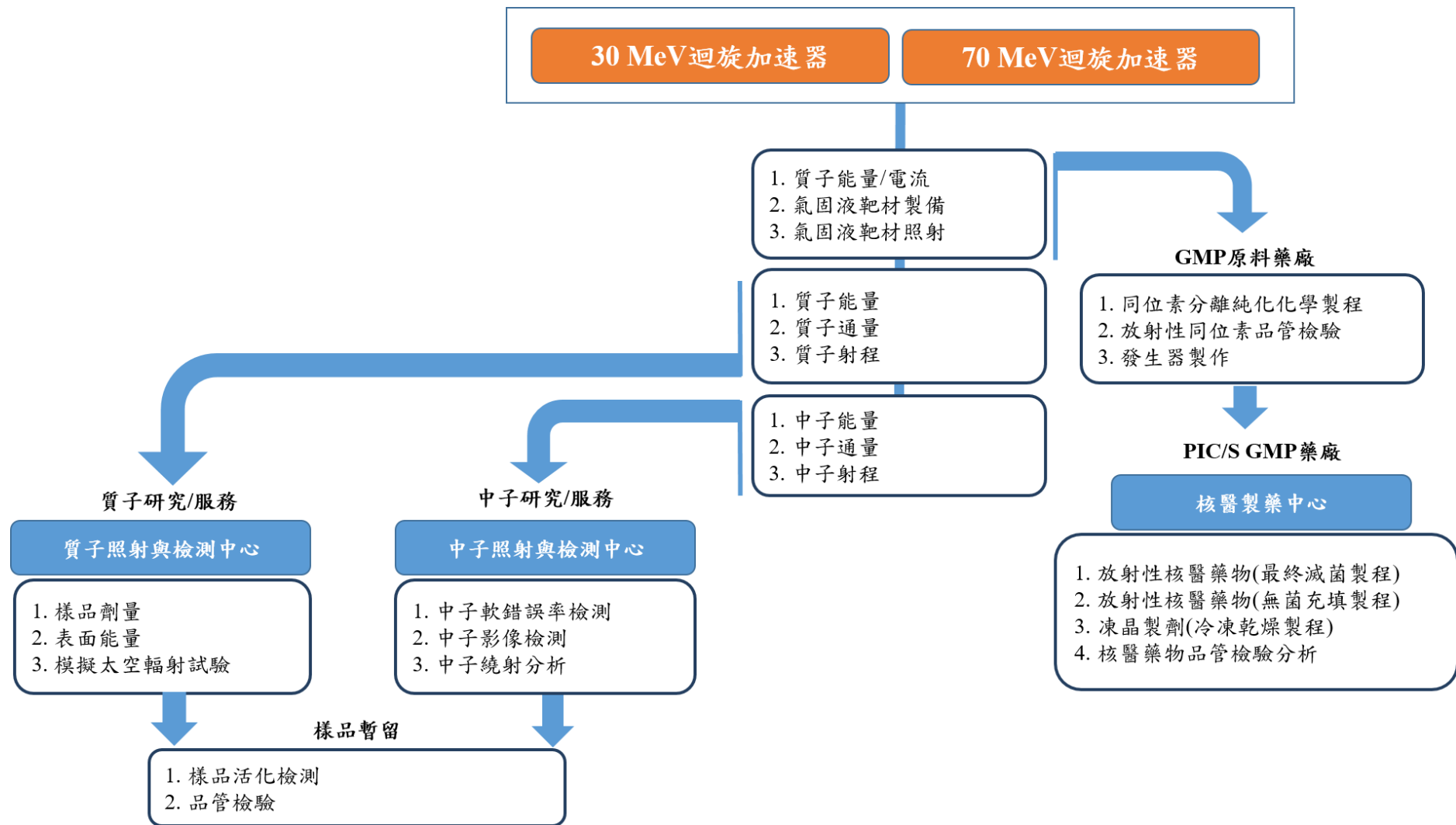


圖 2、生產線生產流程設計佈局

(1) 迴旋加速器醫用同位素生產佈局

為提升國原院供藥穩定度以滿足醫院穩定供藥的需求，核醫藥物生產線佈局將是新購 70 MeV 中型迴旋加速器搭配現有 30 MeV 迴旋加速器，共同執行照射生產核醫藥物與研究。現有 30 MeV 迴旋加速器包括加速器室 1 間和 4 間照射靶室(靶站系統有 2 個固體靶站、1 個氣體靶站、1 個液體靶站)。靶站與原料藥廠間佈置有自動傳送裝置，照射完後的同位素靶材可傳送到原料藥廠進行下一步作業。本計畫新建 70 MeV 迴旋加速器建置完後，其中兩條射束線將規劃於醫用同位素生產，可與現有 30 MeV 迴旋加速器併聯照射生產放射性同位素製成核醫藥物，可大為提升供藥穩定度，利於爭取市場佔有率。未來 30 MeV 迴旋加速器除役後，新購 70 MeV 迴旋加速器亦可無縫接軌核醫藥物生產，不使國內發生核醫藥物缺口，可持續提供鉈-201、鎂-67、銥-111、碘-123 與氟-18 等放射性同位素。70 MeV 中型迴旋加速器，除可提供鉈-201、鎂-67、銥-111、碘-123 等放射性同位素外，並可提供鈾-225、銅-67 與鋇-82 等放射性同位素。

(2) GMP 原料藥廠生產線生產流程設計佈局

因應國際原料藥管理趨勢及衛福部法規要求，本計畫已規劃建置 GMP 原料藥廠，將以「西藥藥品優良製造規範」(PIC/S: Guide to Good Manufacturing Practice)第二部(原料藥)為本計畫原料藥 GMP 之標準(涉及放射性原物料的部份另按現行輻射防護法規相關規定辦理)。

本計畫依 PIC/S GMP 第二部要求規劃原料藥六大系統，包括：品質系統、設施與設備系統、原/物料系統、生產系統、包裝及標

籤系統、實驗室品管系統。

其中生產系統即為同位素分離實驗室，本計畫以放射性同位素照射靶技術與分離技術設備為基礎，發展新方法與新製程以研發並應用於診斷用或治療用放射性同位素之製造技術。本計畫將陸續完成診斷用放射性同位素碘-123、鉈-201、鎳-67 以及治療用放射性同位素銥-225、銅-67、鋁-82 等製程，完成 GMP 原料藥製造技術並技術移轉至本計畫放射製藥廠，以提供生產技術服務。

(3) PIC/S GMP 核醫藥物生產線生產流程設計佈局

因應國際醫藥品管理趨勢及衛福部法規要求，本計畫已規劃 GMP 放射製劑廠，將以 PIC/S GMP 第一部及其附則為本計畫藥品 GMP 之標準(涉及放射性藥品的部份另按現行輻射防護法規相關規定辦理)。

本計畫依 PIC/S GMP 第一部及其附則要求規劃，管制流程圖如圖 3。

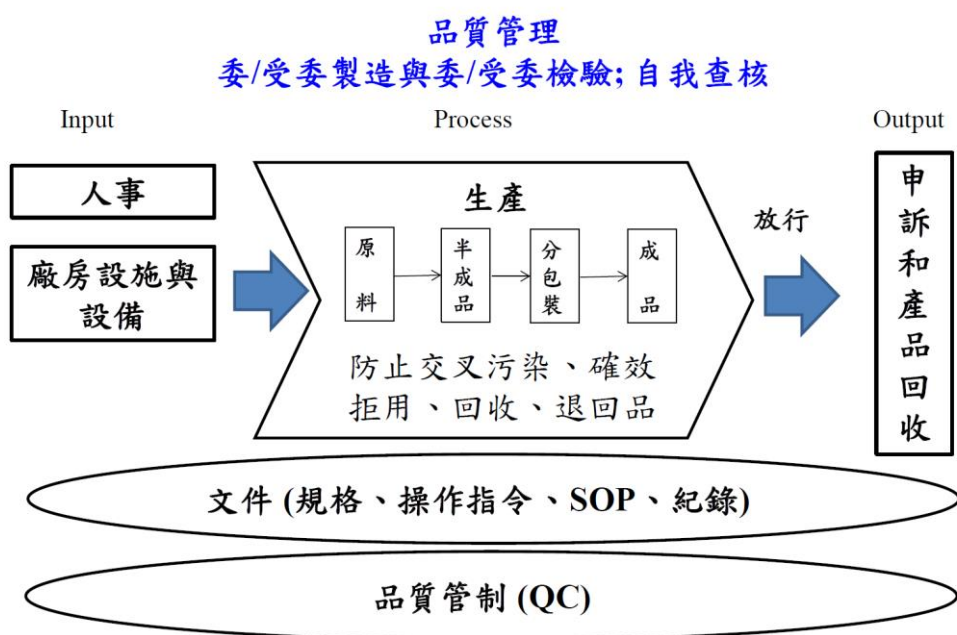


圖 3、PIC/S GMP 管制流程圖

依 PIC/S GMP 第一部及其附則規範，等級要求最嚴謹之無菌製備凍晶製劑分為 ABCD 四個作業級區，須包括滿足該區域內設備、組成物、暴露的產品，以及在該區內所執行之作業活動所要求之微生物學的與微粒子的明確標準。並採人流、物流、氣流、產品流與廢棄物流等分流概念設計，以防範因不需要的活動提高將污染物引入暴露之產品、容器/封蓋系統、或周遭環境的可能性。

2. 品質系統

(1) GMP 原料藥與 PIC/S GMP 核醫藥物：

品質管制與檢驗方式在 PIC/S GMP 第一部總則第一章「品質管理」之原則中提到，藥物製造許可證的持有者，應依法規與品質的要求製造藥品，使藥品不致因為其安全性或有效性之欠缺，而使病人發生用藥上之危險。為確保藥品適合其預定之效用，將以良好的品質系統達成藥廠既定之品質目標。

GMP 原料藥與 PIC/S GMP 核醫藥物品質系統如圖 4 所示，本系統依廠內實際的狀況，經過全面廣泛性的考量與設計並正確的實施，遵循衛福部公告之 PIC/S GMP 相關規定進行產製核醫藥物。因藥品不同於其他工業產品，除需符合一般工業的品質要求外，更注重藥品之安全、有效及均一性；因此，須相當注意：(1)充分文件化：建立廠內品質系統之運作方式的相關文件說明；(2)定期監測其效果：品質系統建立後並非就永遠適用，建立定期評估及監測效果制度。

(2) 質子照射室流程設計佈局

拓展國原院零組件輻射驗證技術應用，將建立太空元件質子

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。在品質管制與檢驗方式需求層面，質子照射實驗室為達到專業測試技術能力及一致性之運作，確保公正性、增進公信力，使品質持續提昇。基礎上參考國際認證規範，建立質子照射測試作業品質系統，如圖 5 所示，以滿足技術服務顧客端需求。

(3) 中子照射室流程設計佈局

為增進國原院中子測試及分析技術應用，建立晶片快中子軟錯誤率、快中子影像、熱中子靜/動態影像及熱中子繞射等測試分析技術及品保系統，並結合國內外學研單位與廠家，開發相關儀器與設備。在品質管制與檢驗方式需求層面，為使相關中子實驗室達到專業測試技術能力及一致性之運作，並確保測試分析的公正性及公信力，亦將參考國際認證規範，建立測試分析作業品質系統，如圖 5 所示，以滿足技術服務顧客端需求。

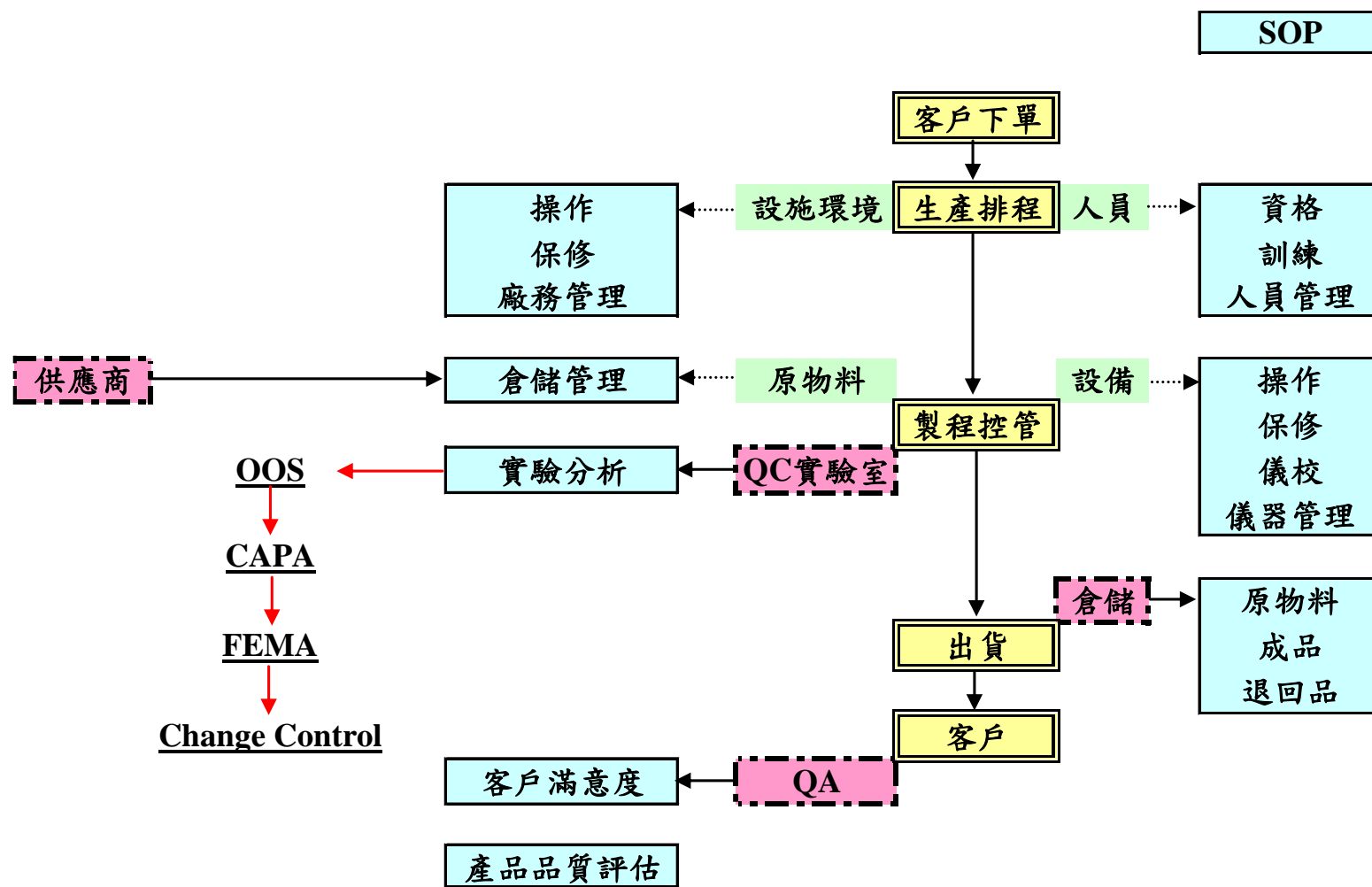


圖 4、GMP 原料藥與 PIC/S GMP 核醫藥物品質系統

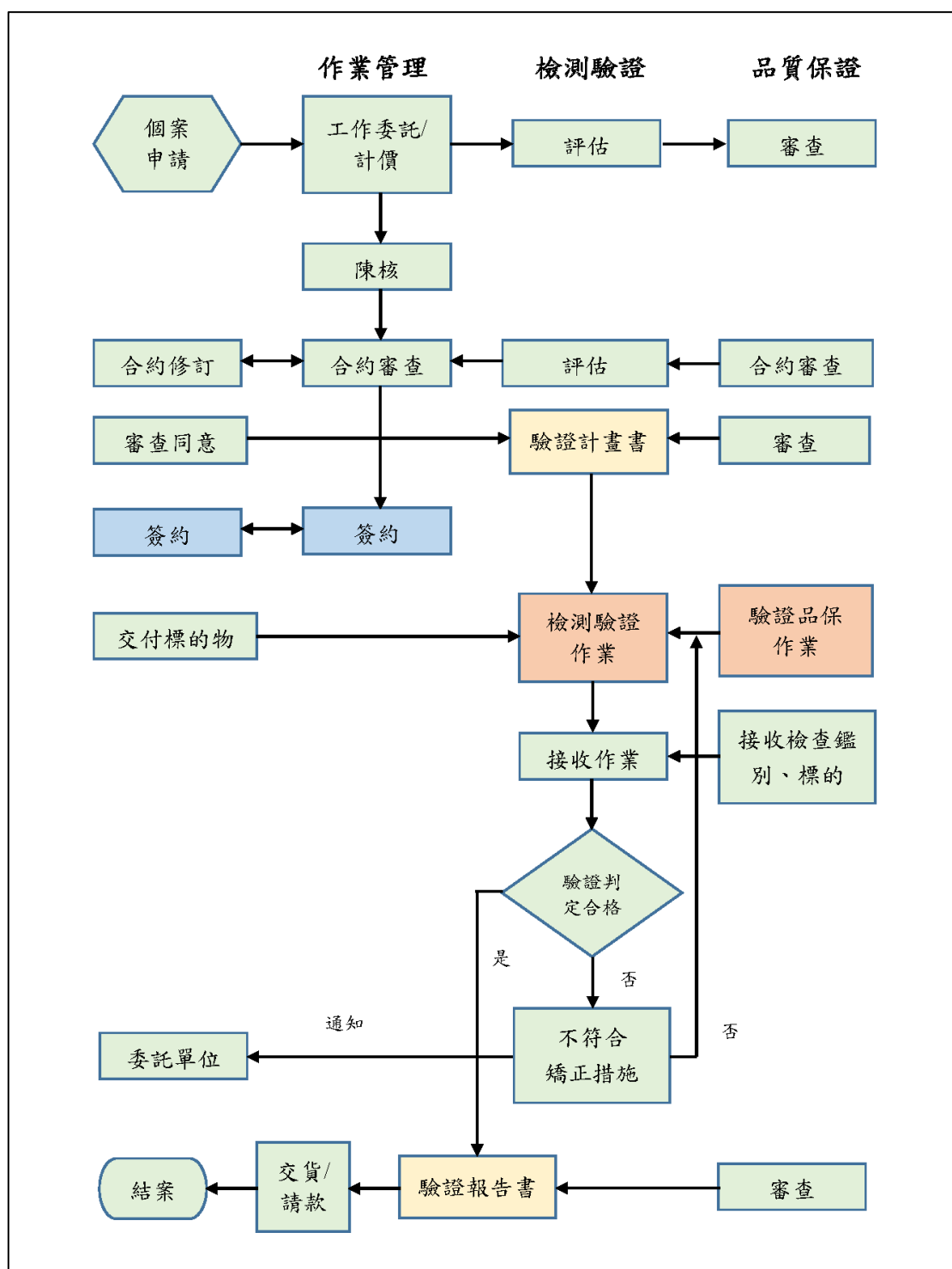
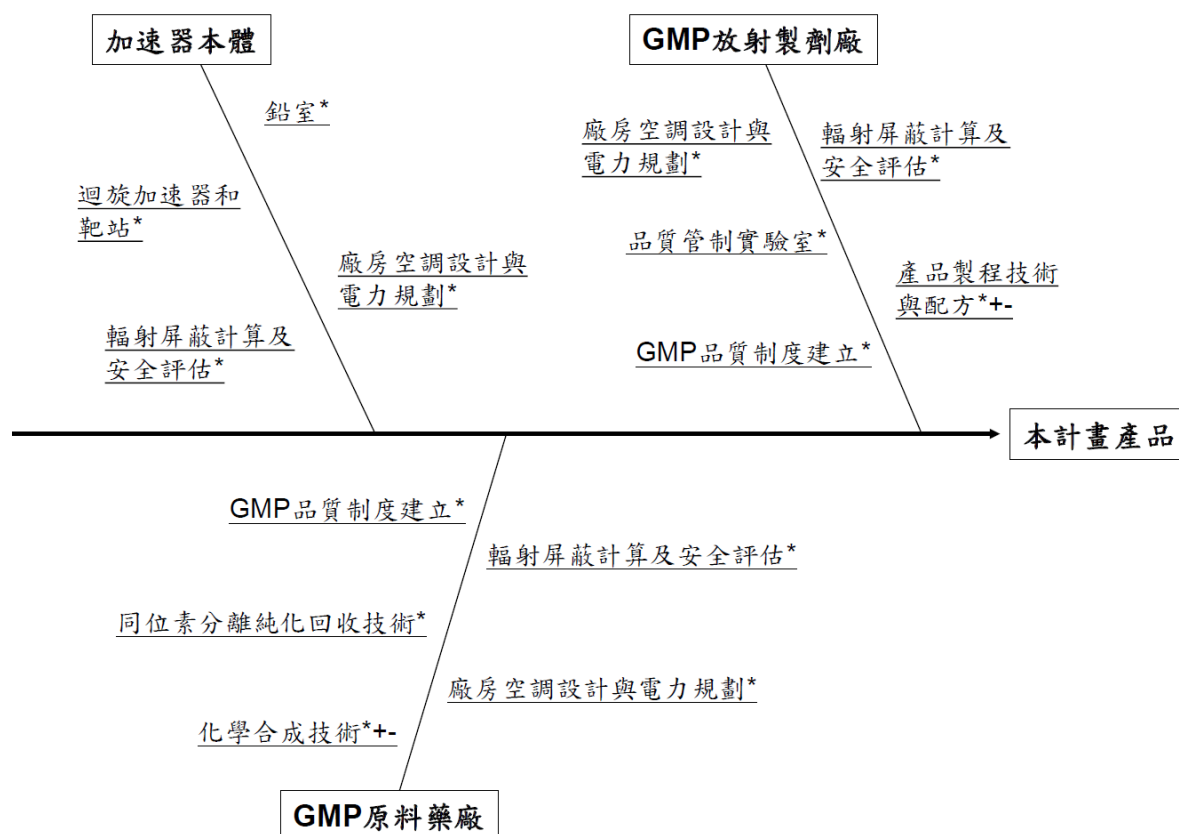


圖 5、質子與中子照射測試作業品質系統

五、技術來源、取得方式、使用成熟度

(一) 產品關鍵技術

本計畫生產核醫藥物之產品技術關聯圖，如下圖 6。



標記說明：『*』表示我國已有之技術或產品(並註明所名稱)

『+』表示我國正在發展之技術或產品(並註明所名稱)

『-』表示我國尚未發展之技術或產品(並註明所名稱)

圖 6、產品關鍵技術關聯圖

(二) 技術來源

GMP 原料藥與 PIC/S GMP 核醫藥物之技術來源分析圖，如圖 7。質子照射實驗室技術來源分析圖，如圖 8。中子照射實驗室技術來源分析圖，如圖 9。

國內學研單位技術轉移 (15%)
質子照射量測技術
質子照射模擬與分析技術

外商建立技術 (20%)
質子射束線量測技術
質子射束線能量調變技術

國原院(65%)
質子照射模擬分析技術
質子束射線量化分析技術
質子照射多維度智慧掃描技術
質子照射多應力複合驗證技術
品質制度建立

圖 8、質子照射實驗室技術來源分析圖

國內學研單位技術轉移 (20%)		外商建立技術 (10%)	
影像擷取及分析技術		中子源與中子束設計	
中子繞射分析技術		中子繞射分析設備	
		國原院(60%)	
		快中子軟錯誤率測試技術	
		快中子影像檢測技術	
		熱中子靜態影像檢測技術	
		熱中子動態影像檢測技術	
		品質制度建立	
		自國外技術轉移或共同開發 (10%)	
		中子源與中子束設計	
		中子繞射分析設備	

圖 9、中子照射實驗室技術來源分析圖

(三) 該技術目前市場使用之成熟度

以國原院核醫製藥與分子影像設施、人才經驗為核心，整合國內外相關醫院、研究單位，配合國內需求、國際趨勢，開發放射性同位素與核醫藥物應用，以達到輻射應用在生物醫學上之目的。並聚焦在腫瘤與神經疾病診斷藥物開發為主軸，積極與國內醫院合作推動各項藥物臨床應用外，更延伸朝向相關之腦中樞、癌症、心血管、肝癌等核醫分子影像藥物，期完成臨床試驗、查驗登記及上市、推廣，以造福民生。

近年來重要成果如下：

「銻-188 微脂體」第零期臨床試驗研究：於台北榮民總醫院進行「銻-188 微脂體」第零期臨床試驗研究，主要目的在於評估罹患轉移性癌症卻對現行可用治療成效不佳之患者身上使用微劑量「銻-188 微脂體」治療之安全性。受試者接受微劑量之「銻-188 微脂體」靜脈滴注後進行單光子放射電腦斷層掃描，提供「銻-188 微脂體」之人體內分佈狀況以及劑量測定資訊。完成受試者生理狀況及血液生化檢驗等結果皆正常，顯示在進行臨床試驗之後並無不良反應的情形發生，明顯證明「銻-188 微脂體」在癌症病人之安全性。

「核研心交碘-123 注射劑」衛福部核發新藥許可證：「核研心交碘-123 注射劑」(INER MIBG Injection)與國內各大醫院合作研究並進行臨床試驗，提昇國內醫療水準並照顧國人健康。「核研心交碘-123 注射劑」的適應症為有 2 種：(1)嗜鉻細胞瘤(Pheochromocytoma) 和神經母細胞瘤 (Neuroblastoma)：用於偵測嗜鉻細胞瘤或神經母細胞瘤之原發病灶或轉移病灶，以作為其他診斷檢查的輔助使用；(2) 鬱血性心臟衰竭 (Congestive Heart Failure)：藉由心臟與縱膈 (Heart to

Mediastinum，H/M) 放射性攝取比值，評估心肌交感神經功能。

「核研多蕾克鎂肝功能造影劑」第一期臨床試驗研究：作為肝臟機能診斷用藥(Evaluation of Liver Reserve)，獲美國與台灣食藥署核准，已順利於台大醫院完成 12 例健康受試者(7 位男性，5 位女性)的臨床一期試驗，包括生物體分布、輻射劑量評估與安全藥理試驗，試驗結果驗證核研多蕾克鎂肝功能造影劑有高肝標靶性，相關安全藥理試驗包括造影前後及後續兩周的理學檢查、心電圖檢查、生命跡象檢查，以及血液、生化、尿液等實驗室檢驗數據皆在健康參考值範圍，足以佐證其為高安全性之藥物。「核研多蕾克鎂肝功能造影劑」並已於 109 年完成美國第二期臨床試驗申請，將進一步以切肝族群為受試者，與電腦斷層掃描體積測量及靛氫綠滯留測試比較，評估鎂 68-多蕾克鎂正子造影作為術前殘餘肝功能評估之準確度及可靠性。

國原院輻射應用科技研發領域於近十年來主要在癌症、腦及心臟疾病等方面研發核醫藥物，以提供國內核醫學界，並與歐美等先進國家齊頭並進。核醫藥物技術涵蓋放射性藥物核種鑑選、同位素技術發展、有機配位子合成、放射化學標幟、藥物配方等核心技術，並以專利申請與完成查驗登記，達成食品藥物管理署要求的品質目標，以及檢驗試劑、輻射照射研究與建立核醫分子影像分析等。

新藥開發目標在於提升我國核醫產業技術，以維護國人健康為宗旨，並將核醫藥物本土化，躍上國際競爭平台。發展方針是以產業化為目標，過程中的成果將被技術轉移進入市場。本計畫將外界簽訂合作意願書(MOU)的合作方式，以階段性的發展結果來評估合作與投資的深度。

核醫功能與分子影像技術在藥物開發上扮演重要角色，核醫分

子影像技術可以對許多不同的生命現象以非侵入性(noninvasive)的方式加以追蹤定量，例如腫瘤細胞代謝、細胞分裂增生、血流動態分佈、專一性受體表現與分佈、神經傳導物質轉運體功能，以及某些特定疾病的病理變化等。本計畫具有原創技術能力，這便是本計畫技術開發與產學合作的必要性。

國原院已自行建立的核心設施有：迴旋加速器、同位素生產設備、核醫藥物生產設備、動物用 PET 及 SPECT 及藥物合成盒等；所建立的核心技術有：放射化學合成與標幟技術、影像分析技術、放射藥物研製技術、同位素自動化生產技術等。而本計畫之投資所建立之設施設備及技術開發，除了降低核醫藥物之供應價位外，更減少運送上的損失與代銷商剝削的可能，將來可以大量供應國內各醫院且擴大外銷，這便是本計畫整合技術開發、基礎研究與臨床研究進行技術移轉(合作)之必要性。

與現存單位之差異性

1. 在基礎研究方面，將積極與產官學研單位合作，引進國外既有技術，進行各種疾病造影研究，從原創技術到基礎研究，除了計畫建立許多動物模式以進行各式研究外，更建立人體多功能生理檢測模型。
2. 在臨床方面，目前雖各醫院陸續成立正子中心，其主要目的為提供病人正子診斷相關藥物與影像服務，但對於其他核種或非正子藥物，卻苦於來源的取得，而無法涉足。而本計畫不僅計畫生產相關核醫藥物，並提供國內醫院使用並進行相關之整合，有機會提供病患更良好的服務。
3. 台灣目前無本土核醫相關產業，而本計畫有能力結合各界技術與

資金，生產價格合理、質優且多樣之核醫藥物，除可維護全民健康，更可進一步與產官學研合作，提升國內核醫生技產業的發展。

4. 隨著半導體製程微縮，可預測未來積體電路產業對 IC 元件輻射照射測試服務的需求將大幅成長。國內目前並無中子輻射照射專責實驗室，國內半導體廠的元件都需要送到國外檢測，研發時程長且成本增加。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。而相關技術可由國原院參照 JEDEC 固態技術協會協會的 JESD89-3A 之規範建置。

六、技術研發計畫

配合計畫產品的節約成本，預定未來五年在技術方面的改良項目：

- 1 放射性同位素生產流程自動化改良
- 2 靶材回收技術建立及自動化
- 3 照射靶回收技術建立及自動化
- 4 質子照射模擬分析技術
- 5 質子束射線量化分析技術
- 6 質子照射多維度智慧掃描技術
- 7 質子照射多應力複合驗證技術
- 8 中子照射模擬分析技術
- 9 中子軟錯誤率分析技術
- 10 中子影像掃描及分析技術

七、專利權

國原院於 1993 年起陸續建立 TR 30/15 中型迴旋加速器、靶站及

鉛室等核心設施及生產技術，該中型迴旋加速器至今已運轉超過 28 年，並研製成功 10 種以上的短半衰期放射性同位素，除了國內的專利外，亦視市場的需要進行國外專利的申請，迄今於醫學類的專利已申請共 287 個，相關研究發展成果豐碩。

目前全台僅有國原院具備中型迴旋加速器及其操作技術，國原院已掌握此領域之操作營業秘密以及技術 know-how 等關鍵智財。國原院依資料與訊息的最終損害風險值將其分類成「一般等級」、「注意等級」以及「機密等級」，依其等級不同決定可對外公開之程度以及可得知之層級，以確保外界從國原院移轉而來的營業秘密以及 know-how 永續以保密狀態存在，維護此關鍵之智慧財產權。

另一個考量之處，在於所進行研究發展項目，是否具備足夠的新穎性及進步性，依據我國產業創新條例第十二條規定：「為促進創新或研究發展成果之流通及運用，各中央目的事業主管機關及所屬國營事業補助、委託、出資進行創新或研究發展時，應要求執行單位規劃創新或研究發展成果營運策略、落實智慧財產佈局分析、確保智慧財產品質與完備該成果之保護及評估流通運用作法。」，而目前實際執行上，規範由政府出資的研究發展計劃中，當涉及金額為三千萬元以上時，必須進行專利分析，實務上，即使研究發展計畫涉及金額為三千萬元以下時，若是技術發展型的研究計畫，攸關專利分析亦已是審查委員常見之答詢問題。

援此，國家原子能科技研究院近年來，除了透過與業界專業單位合作，在技術研發階段考量智慧財產權的因素，2020 年起，更已著手培養具備專利分析能力的職員，並將其應用於先期技術規劃中，未來的技術研發中，均將會事前針對全球的技術進行專利的檢索及分析，並透過事前的準備工作，將相關專利權侵權風險降至最低。

(一) 核醫藥物學名藥的生產

70 MeV 迴旋加速器將用於氯化亞鉈(鉈-201)注射劑、檸檬酸鎳(鎳-67)注射劑及放射性同位素碘製劑(I-123 MIBG)的製造。目前，國原院為我國唯一氯化亞鉈(鉈-201)注射劑及檸檬酸鎳(鎳-67)注射劑核醫藥物製造單位，上述三種藥物在國外均已屬學名藥，未有專利或藥證侵權相關事宜，相關製程目前在國內僅有國原院擁有。因此，較有可能涉及專利侵權之處，在於製造方法及過程的調整，使得更有效率的生產時，可能涉及的侵權行為。未來國原院若有進行學名藥製程的調整，將會事前針對全球專利的技術進行專利的檢索與分析，避免有侵權之疑慮，當欲進行的新製造技術涉及潛在侵權風險時，將考慮透過技術迴避、交互授權、專利無效訴訟、加入研發策略聯盟等方式進行處理。

(二) 新型核醫藥物生產

雖然在研究發展的過程中，已有進行全球技術的專利檢索與分析。然而，由於全球專利均有 18 個月早期公開的制度，因此，在進行分析時，距離目前近 18 個月的專利結果仍無法得知，且在研發過程中，亦有可能遭遇到競爭對手同時申請類似的專利，進而影響新型核醫藥物的相關專利權。為了解決此議題，因應做法如下：

- (1) 定期充實專利庫：除了在研發計畫的申請階段進行專利檢索及分析外，亦會透過定期的專利庫充實，特別是針對潛在的競爭對手所申請的專利，定期追蹤其研發情況。
- (2) 研發成果進行專利佈局：完成研發成果後，進行專利的佈局，強化具備商業價值技術的專利防禦能量，以保護研發成果，且當有侵權的行為時，亦能增添自身的談判籌碼。
- (3) 侵權情形發生時的應對策略：當發現已發生侵權行為時，盡快透

過如技術迴避、交互授權、專利無效訴訟、加入研發策略聯盟等方式進行處理。

(三) 質子及中子輻射測試源的使用

有關質子輻射測試源的使用，目前較具潛力的應用為進行太空輻射環境的模擬，然而相關的使用，亦為支持國家太空技術的研究發展為主。有關中子輻射測試源的使用，主要應用在中子影像及中子繞射等非破壞檢測分析，以及半導體電子元件與系統的輻射環境的照射。質子及中子的測試與分析，遵循國際標準或學術公開資訊，無涉專利侵權問題。研究發展方面，過程不會有專利侵權問題，甚至有機會產出新專利。然而，未來隨著相關市場蓬勃發展，屆時可能會有廠商進行商業租用行為，此時有可能牽涉到具備專利權的技術，雖然舉證較為困難，但保險起見，國原院將進行以下的防範措施：

- (1) 定期充實專利庫：除了能夠避免風險的發生外，透過定期蒐集相關專利，亦能夠瞭解到更為嶄新的應用，可為我國未來相關研究的發展，蒐集相關文獻資訊。
- (2) 責任轉嫁：透過商業合約的擬定，要求進行商業使用的使用者，確認其使用的過程並無涉專利侵權。

肆、建廠計畫

一、設廠地點、佔地面積、概要設計圖

設廠地點國家原子能科技研究院(地址：桃園市龍潭區文化路1000號)，開發行為基地地號共計13筆，使用地類別為特定目的事業用地，且都在非都市計畫區內。開發面積為 $75\text{ m} \times 75\text{ m} = 5,625\text{ m}^2$ ，約0.56公頃。自民國84年迄今，國原院無新建類似研究設施。開發基地及周邊環境基地北方為使用中之中型迴旋加速器(TRIUMP，型號TR-30/15，28年)所在館舍，南方為國原院變電站，東側臨圍牆及小塊空地，西側臨道路，道路對面為空地，如圖10~13。

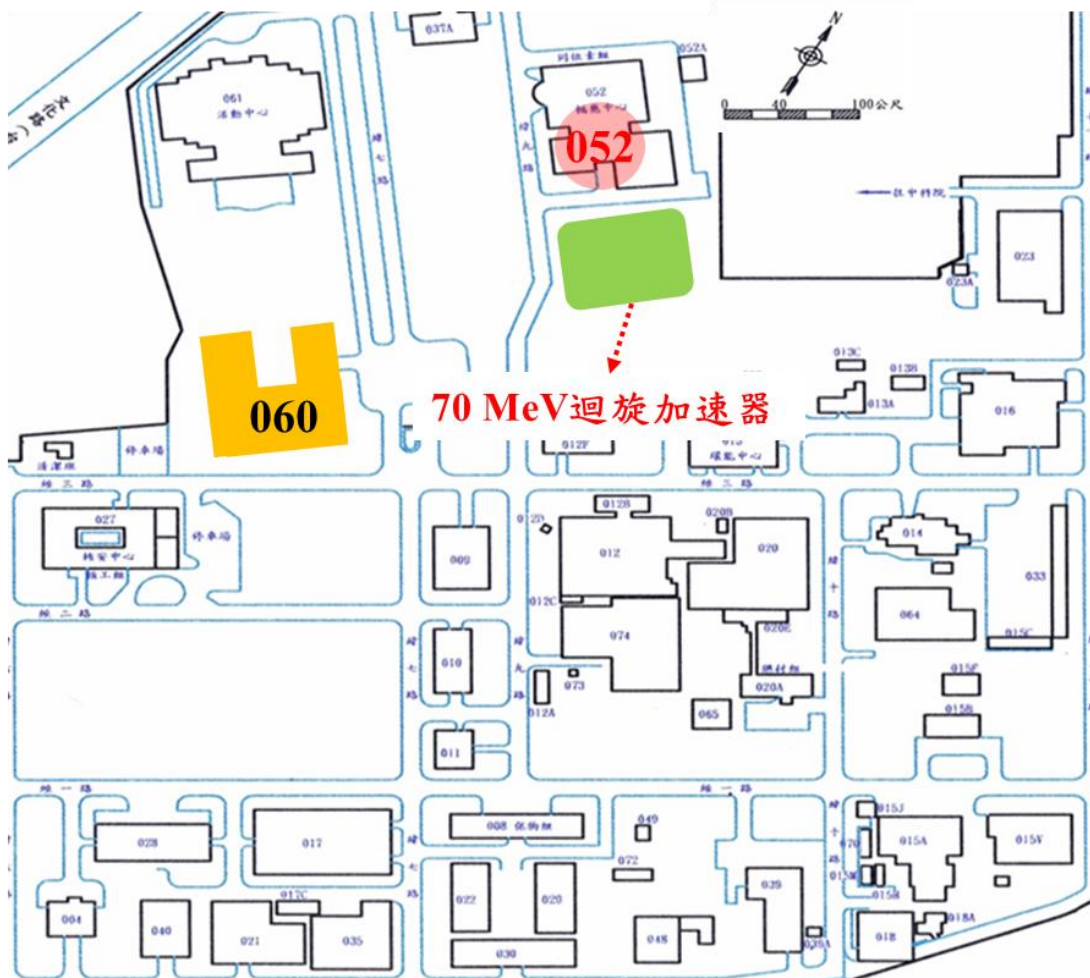


圖 10、基地位置圖

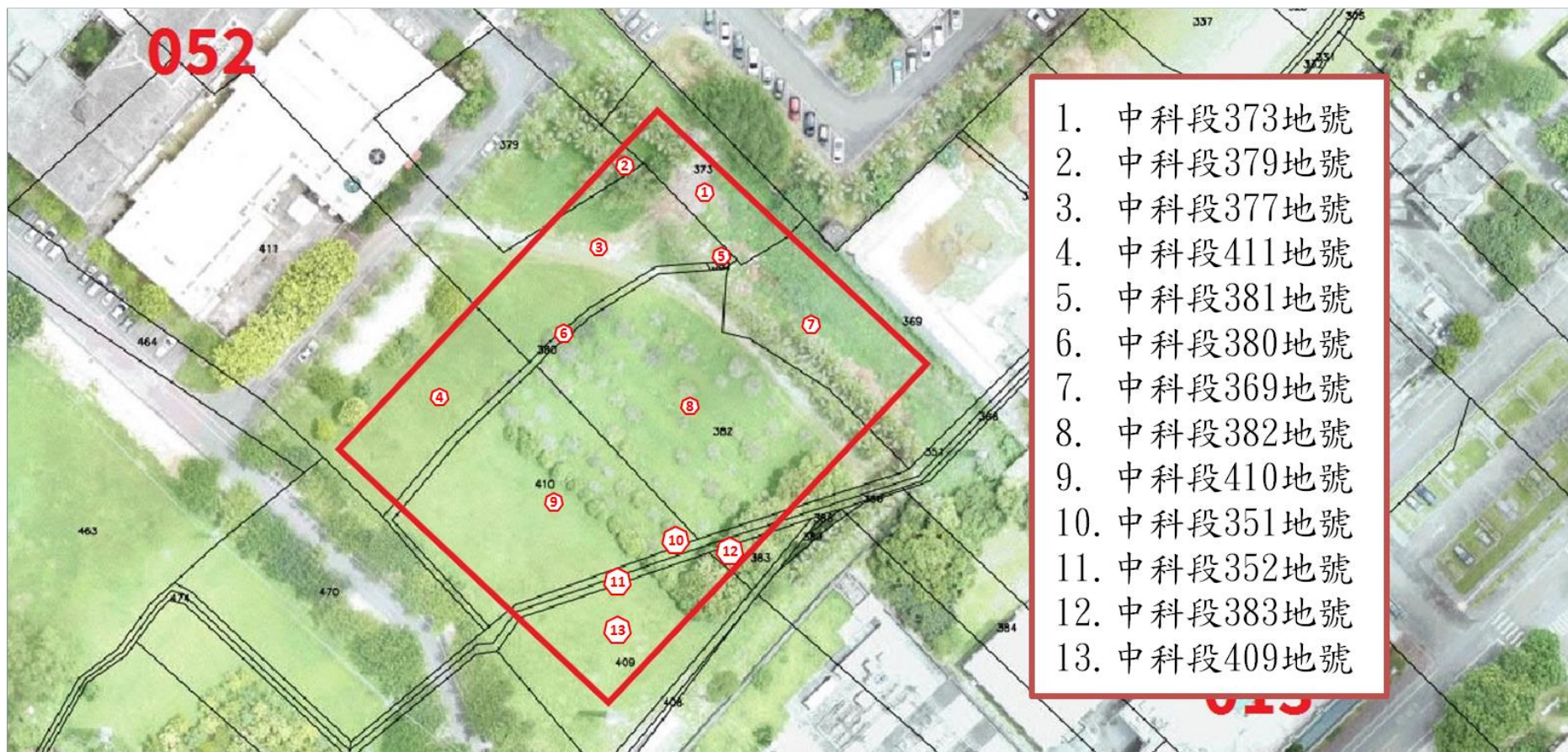


圖 11、地籍配置圖

70 MeV 迴旋加速器
一樓平面圖

- **加速器室**
 - 4條射束線
 - 可視需要增加至6條
- **應用區域**
 - 核醫生產室(含鉛室)
 - 核醫研究室
 - 中子照射室
 - 質子照射室

- **加速器室**
 - 4條射束線
 - 可視需要增加至6條
- **應用區域**
 - 核醫生產室(含鉛室)
 - 核醫研究室
 - 中子照射室
 - 質子照射室

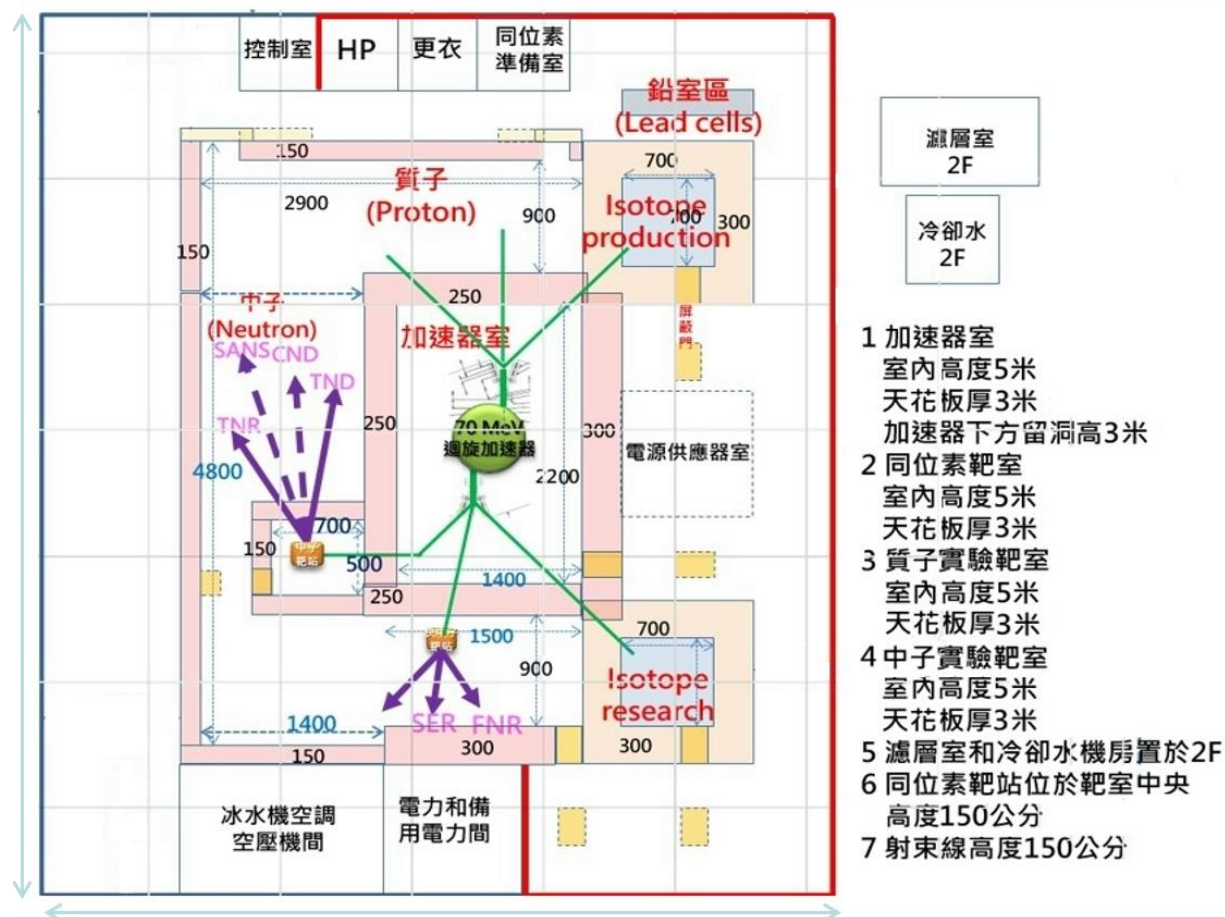


圖 12、廠房設計概要圖 (一樓)

70 MeV 迴旋加速器 二樓平面圖

二樓辦公區區域 -
周圍(白色區域)

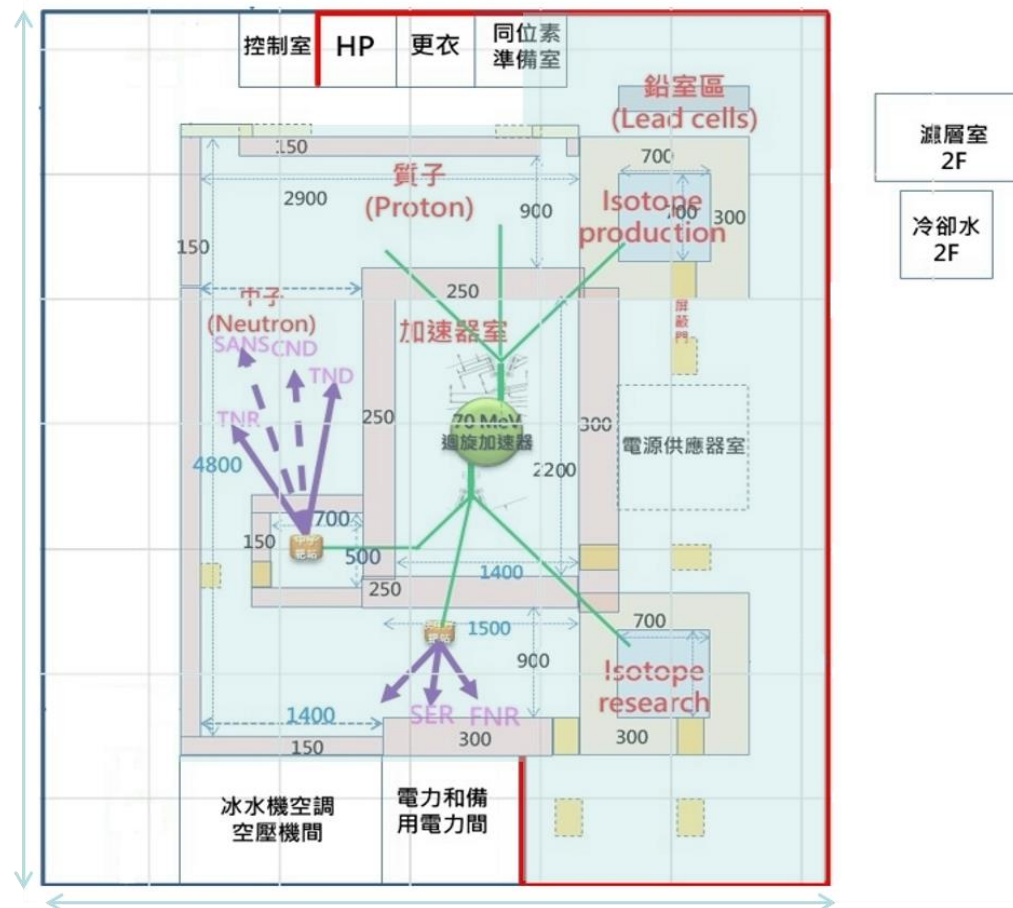


圖 13、廠房設計概要圖 (二樓)

二、 建廠規劃時程

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，本計畫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與核備作業時程及試運轉時程)，依建廠計畫規劃之建造時程，自廠房規劃設計、建築施工與內部裝修(消防、水、電與空調等)、設備組立安裝與測試等工作項目，約需 48 個月不等(依建廠技術來源不同而異)，本計畫相關作業包括(一) 建置迴旋加速器暨放射性同位素照射靶站與鉛室建置：3 年之原廠製作與運送加速器本體、射束線相關設施、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) 國家級質子照射認證實驗室與平台建置：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；(三) 完成中子應用研究國家實驗室建置：包括建立中子源、快中子照相設施、中子影像、中子繞射等研究設施建置；(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，工作關聯圖如圖 14 所示。

時程規劃

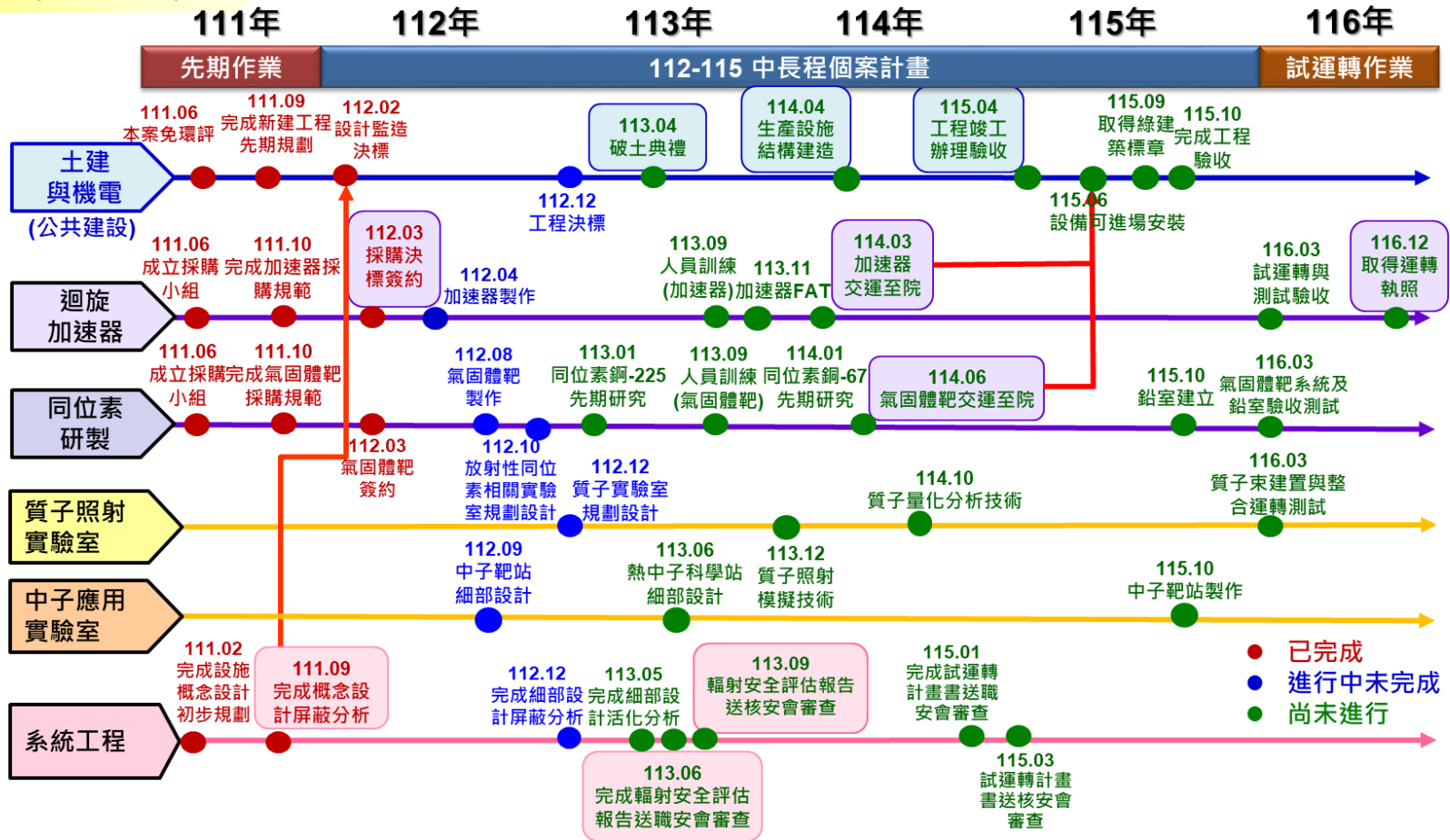


圖 14、70 MeV 迴旋加速器建置計畫之工作關聯圖

三、 建廠技術來源

國原院過去數十多年來，已實際執行 30 MeV 迴旋加速器之建置、運轉營運與其推廣應用等工作，培育許多經驗豐富之各領域菁英，為了確保實驗設施的功能，集結所內核子科學、機械、土木、物理、電機、化工、化學、輻射防護等領域專業人才。參與建置計畫人力係以編制員工與聘僱人員為基礎，共計 88 人，男性共 58 人(占 66%)，女性共 30 人(占 34%)，在進行 70 MeV 迴旋加速器與相關設施建置時，並依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。本計畫規劃將委託專業顧問公司或建築師進行廠房設計、監造，以及專業施工廠商進行建廠工程。

四、 電力使用情形、能源消耗程度

以國原院原有 30 MeV 迴旋加速器所處 052 館歷年用電量為估算基礎，本計畫廠房內設備之規劃包含 70 MeV 加速器、空調系統、去離子水系統、公共設施及其他實驗室設施用電等，估算本設施平均每月用電量約需 50 萬度電。國原院電力供應由中二變電站供應全所用電，經評估供電容量充足，亦可規劃由專屬變壓器專線供應。自中二變電站供應之電力，則透過規劃建置之獨立館舍變電站轉換提供本設施供電。此外，為避免電力中斷對於本設施產能與研發之影響，以及維持重要精密設備之運轉穩定性，亦規劃建置獨立發電設備，以及輔以穩壓器

或不斷電系統等設備，以提高供電可靠度及穩定性。

伍、行銷計畫

一、 整個市場評估、市場區隔、佔有率

本計畫所擬定的相關應用，包含精準醫療、中子照射及質子照射，以下分段詳述其市場評估及市場區隔。

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 年評估為 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) 核醫藥物、單光子斷層掃描 (SPECT) 與正子斷層造影 (PET) 的廣泛應用；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，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 15 所示。

核醫學放射性同位素市場 (2019 全球收入百分比)

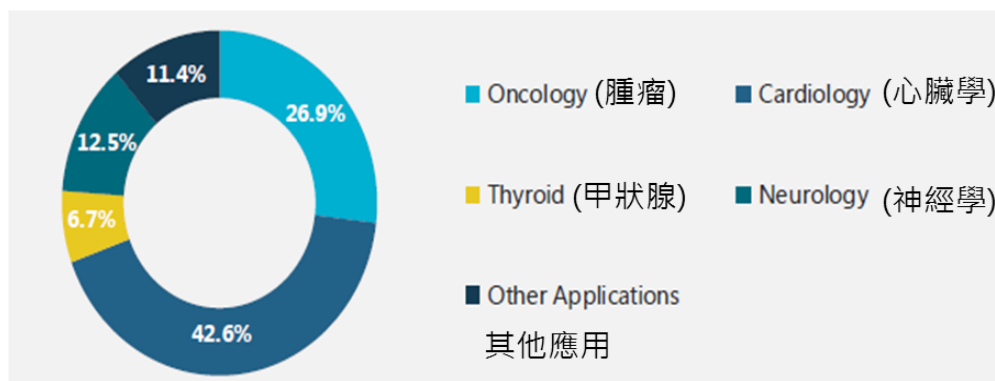


圖 15、核醫學放射性同位素市場 (依醫學應用領域分類)

另外，從放射性同位素類型來看，市場收入百分比依序為鎝-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 16 所示。

核醫學放射性同位素市場 2019全球收入百分比

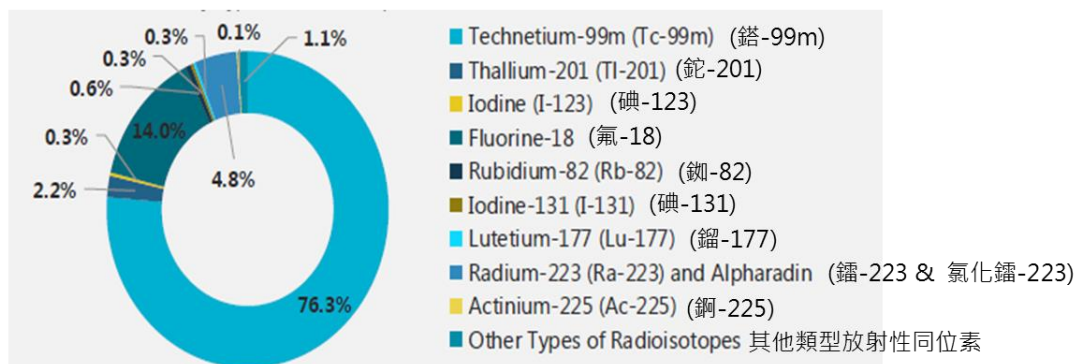


圖 16、核醫學放射性同位素市場 (依放射性同位素分類)

其中，鉈-201 是國內目前僅能由國原院之 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 年期間鈽-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 17 所示。

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

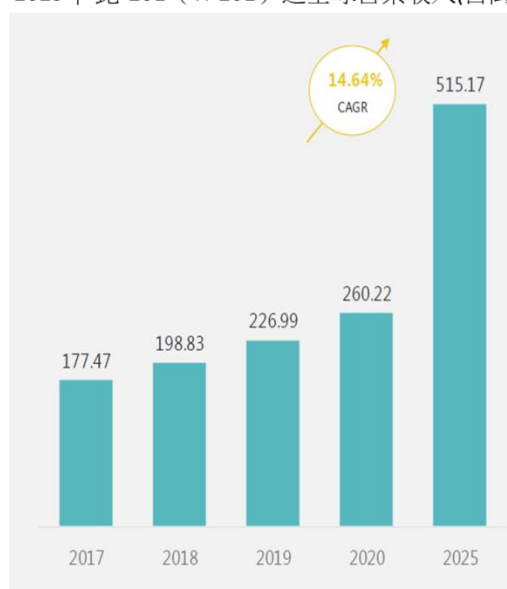


圖 17、2017-2025 全球營業收入：鈽-201

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.公司開發銅-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。銅-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 期間銅-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 18 所示。

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

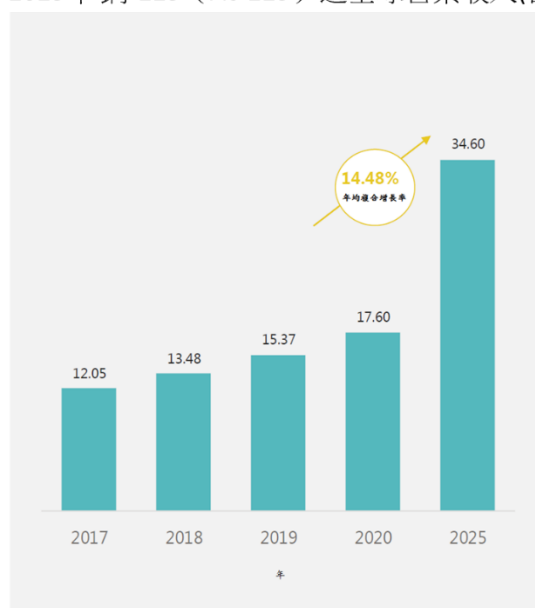


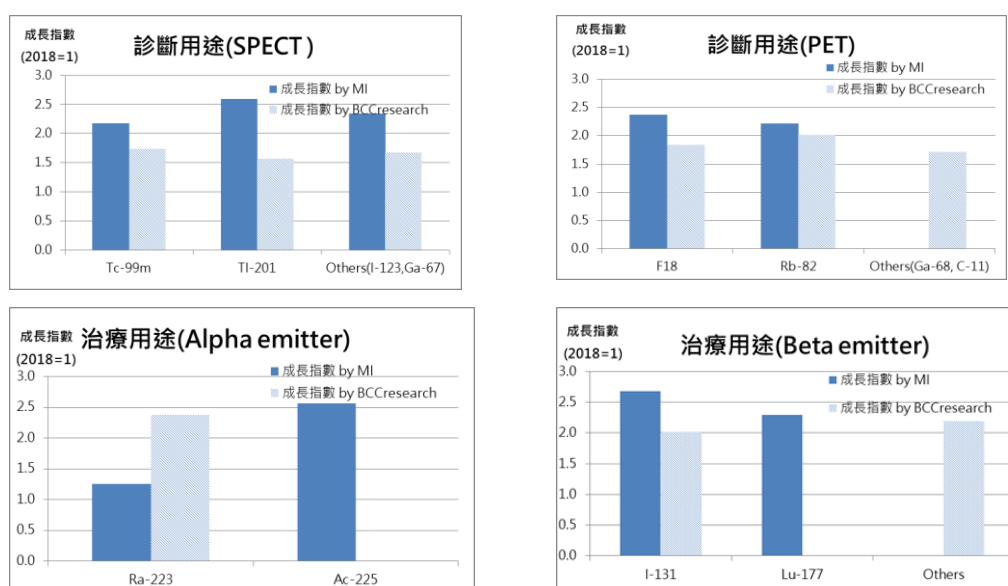
圖 18、2017-2025 全球營業收入：銅-225

除銅-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 2 mm，非常合適於

治療直徑 5 mm 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，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 $\text{Sb-nat}(p, 2p3n \text{ 或 } p, 2p5n) \text{Sn-117m}$ 核反應產製。現今已

利用高達 42 MeV 質子照射生產錫 -117m，但缺少高能量數據。

參考 Mordor Intelligence、BCCresearch 等國際報告分析之放射性同位素需求規模，大致分為下面 4 類(如圖 19)，其中診斷用途方面含 SPECT 和 PET 所需搭配之同位素，SPECT 使用的放射性醫用同位素占市場最大宗，PET 使用的放射性醫用同位素則次之，不過未來的成長速度也快，2023 年 PET 使用之放射性同位素藥物之市場規模約是 2018 年的 1.8~2.3 倍之間。而治療用途方面， α 發射治療藥物或 β 發射治療藥物市場規模雖然較診斷用途之市場小，但成長性都很高，都在目前的 2 倍左右。



資料來源: Global Nuclear Medicine Radioisotopes Market (2020) - Mordor Intelligence; Radiotherapy, Radiopharmaceuticals and Nuclear Medicine Global Markets; 本研究推算及繪製。

圖 19、全球診斷及治療用途之同位素需求

日本分析其國內 SPECT 會使用的 Mo-99、Tc-99m、I-123

等需求穩定，而 PET 會使用的 F-18 則有明顯上升的趨勢而 Ra-223 則是新浮現的市場，主要也用於攝護腺癌的骨轉移，Ra-223 製劑是第一種被批准的 α 發射子治療藥物，該研究則進一步針對 α 射源使用的同位素進行分析，其中 Ac-225 則因為被應用在多種癌症的臨床上（英國用於黑色素瘤、瑞士和波蘭用於膠質瘤、美國用於白血病及乳癌、德國和南非用於攝護腺癌、瑞典用於卵巢癌等），因此認為 Ac-225 未來通用性高，因此有供不應求的可能，如圖 19 所示。日本自認為在核醫診斷方面成熟，由於日本占 Mo-99 全球使用量 15%，故也同時推動國產化。日本同時自覺在治療方面相較落後許多，且面臨國內法規日漸嚴格、生產據點不足以及沒有健全的銷售體制等問題，因此希望透過學研機構主導、促進研發，達到發現新藥以及能在國外市場競爭的目標，進入 α 發射子治療藥物市場。對照國際市場情勢來看 Ac-225、Ga-68 等，屬於目前產值占比低，主流廠商尚未形成，但市場需求明確的產品。

核醫藥物因製造或是使用時具有放射性，除必須符合製藥法規需求外，藥物製造、運送與使用時尚需符合原子能法規需求，屬於製藥產業較特殊的領域。核醫藥物製造需特殊之設備如中型迴旋加速器，建廠投資金額高於一般藥廠。因產業的特殊性以及市場規模較普通藥物小，核醫藥物產業投入廠商少，相對地市場競爭程度遠小於普通藥物。由於藥物單位售價高，獲利率也將高於普通藥物。

氯化亞鉈[鉈-201]注射劑與檸檬酸鎳(鎳-67)注射劑兩項放射性針劑因批量較小，使得藥物生產成本較歐美大藥廠高，但因藥物衰變因素，進口藥物配送至使用單位時的劑量約為出廠

劑量之 40~60%，再加上國際運費昂貴(約佔進貨成本之 15~25%)，故國原院生產之藥物極具有價格競爭優勢，估計以市場平均售價之 75~85%進入國內市場仍能維持合理的利潤。另外，美、加區域生產的放射針劑常因天候因素飛機停航，影響供藥的穩定度，而於國內就近生產則具有供應配送便利性的優勢。價格優勢、供藥的便利性與穩定度將是國原院生產的放射性針劑與進口藥物最主要的市場區隔性。

在市佔率部分：預計核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑與核研檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑將佔有國內市場之 60%以上。核研心交碘-123 注射劑，因半衰期僅 13.2 小時無法自國外進口，且需要中型迴旋加速器方能生產，國內無競爭者，將佔有 100%的國內市場。去氧葡萄糖(氟-18)注射劑部分受限於氟-18 之半衰期僅 110 分鐘，且國內正子造影中心多已附設小型迴旋加速器中心，藥物主要供應範圍為中部地區，或是擴及距離國原院車程 2 小時以內之南、北部醫院無附設加速器中心的正子造影中心，估計將佔有國內 25%之市場。

中子科技的發展，除了工業服務的直接收入外，尚有不易量化的學術科技發展帶動的國內產業升級與其全球競爭力提升的衍伸效益。

中子的市場可以分成中子源及中子應用兩大類服務，中子源就是提供特定能量與通量的快中子，供用戶進行特定照射服務，例如中子軟錯誤率測試；中子應用則是藉由特殊的中子分析儀器(如中子照相、中子繞射等)，供用戶進行樣品的非破壞檢測服務。

根據 Industry ARC 公司調查分析，從中子偵測器 2017 年的全球產值為 583.8 百萬美金(約新台幣 175 億元)，年複合成長率為 11.25%，可以了解全世界是有中子市場的需求。我國長年以來一直缺乏中子源，學術界從事中子研發的人較少，也削弱了工業界對中子的認知與應用信心。

國內目前只有一個清大 THOR 研究型反應爐中子源，於民國 50 年臨界啟用至今已 60 年，以中長期重大科技設施發展而言，有必要開始規劃建置一個新中子源，作為我國中子領域的國家科研基礎設施。另外，科技部在澳洲 ANSTO 機構投資一部冷中子三軸散射儀(SIKA)，委託國家同步輻射中心代管；但國內相關中子研發都必須到國外進行，且須事先經過審查通過，研發期程冗長且存在不確定性，影響國內學界使用中子的意願。

中子照射儀器設施種類繁多，本計畫中規劃先建置中子影像及中子繞射等兩種中子照射儀器設施，未來再逐步擴增到其他中子設施。另外，國原院目前在 30 MeV 迴旋加速器正在建置的中子軟錯誤率設施，未來也可以移至 70 MeV 迴旋加速器來使用。

中子繞射廣泛用於多數與中子分析有關的論文(估算約 80%)，而國內缺乏中子散射(繞射及小角度散射)設備，目前相關研究都是到國外執行，根據 2015~2019 年的統計數據，經執行的研究計畫約為需求的 70%~77% 左右，實驗人數約為 80 人/年。業界目前都是透過學界協助前往國外進行分析，若國內能建立相關設施，必能提升國內產學合作，增進國內科技發展。本計畫會推動業界服務並努力提高收入。

除了中子繞射外，中子還有許多用途，國外研究機構的中子影像應用包含土壤岩層內的水流移動、機械潤滑薄膜觀測、多孔材料的孔隙大小與分部觀測、流體觀測、燃料電池運作、鋰電池及儲氫材料等，繞射散射應用更是頂尖學術及技術發展的重要利器。未來建置完成相關中子實驗設施後，將可提供國內執行中子軟錯誤率測試(太空衛星電子元件抗輻射測試)、流體觀測(高放計畫、儲能組件評估電池)、體積內的殘留應力量測(風機塔架鉚道應力)、含低原子序(如: H、C...等)組織的結構繞射分析(電池電極)、銅焊/錫焊鉚道觀測、高分子黏著劑接合觀測等運用。

本計畫於國內興建的中子設施，將可縮短空間與時間的限制，與國內清大、科技部中子學門相輔相成，對國內中子人才及科研發展具有加乘效應。

本計畫的中子照設服務，規劃佔 70 MeV 迴旋加速器年使用總日數的一半(年可用日數 220 天)，學術研究與工業服務的日數分配為 35%與 15%，中子照設學術研究採用共同合作爭取研究計畫與經費；中子照設工業服務的收費標準為每小時 2 萬元，每日兩輪 15 小時，中子照設工業服務的年收入樂觀可達 1,200 萬元。

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，建構太空級關鍵電子零組件輻射環境驗證測試能量。「衛星」是下一世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。依照 2020 年美國太空總署(National Aeronautics and Space

Administration, NASA)報告，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，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。依據美國衛星工業協會(Satellites Industry Association, SIA)2020 年報告，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，這一區塊也是台灣最適合切入的部分。

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。

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。

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，如國家太空中心、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。林口長庚醫院可以提供 70-230 MeV 質子束，國原院為「台灣太空輻射環境驗測聯盟」成員之一，現有的 30 MeV 迴旋加速器，加上本計畫擬建置的 70 MeV 迴旋加速器可提供能量範圍 28-70 MeV 的質子束，涵蓋了太空輻射環境驗證的缺口，提昇國內太空技術能量，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，配合國內的 IC 製造及機械加工等優勢產業強項，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。

二、行銷與推廣策略

本計畫的產品主要包含鈾-225、放射針劑、核研氯化亞鈾[鈾-201]注射劑、核研檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑、核研心交碘-123 注射劑、凍晶製劑、核研瑪格鎂腎功能造影劑、核研雙肱乙酯腦造影劑、核研美必鎂心臟造影劑等核醫藥物，以及中子軟錯誤率檢測、中子影像檢測服務、中子靜態影像檢測服務、中子動態影像檢測服務、中子繞射分析服務、太空元件質子照射驗證測試與評估等照射服務，如表 22 以下將描述相關產品具體的行銷及推廣策略。

表 22、70 MeV 實驗室可提供之藥品與服務

產品／服務	產品或服務項目名稱
核醫藥物	
A 同位素	(1) 鈾-225 放射性同位素 (2) 鈾-67 放射性同位素 (3) 鋇-82 放射性同位素
B 核醫藥物	一、放射針劑 (1) 核研氯化亞鈾[鈾-201]注射劑 (2) 核研檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑 (3) 核研心交碘-123 注射劑 二、凍晶製劑 (1) 核研瑪格鎂腎功能造影劑 (2) 核研雙肱乙酯腦造影劑 (3) 核研美必鎂心臟造影劑
中子照射服務	(4) 中子軟錯誤率檢測 (5) 中子影像檢測服務 (6) 中子靜態影像檢測服務 (7) 中子動態影像檢測服務 (8) 中子繞射分析服務

質子照射服務	(1) 太空元件質子照射驗證測試與評估。 (2) 高劑量率(200 μ A)質子照射服務。 (3) 大面積(30 cm*30 cm)質子照射服務。
--------	---

核醫藥物具有產品生命週期長(多數藥物的生命週期可達數十年之久)、市場競爭者少的優勢。於國內國原院已建立放射針劑與凍晶製劑生產的核心技術及完善的銷售通道，國原院承接後無需投資大量經費進行產品研發與市場開發，預計產品正式生產銷售即可開始創造營收，投資的風險度遠低於新藥開發或是普通學名藥，在預定時程內回收投資成本的可能性極高。

雖然國內正子造影中心多附設小型迴旋加速器，以生產氟-18 類與碳-11 類正子核醫藥物就近供應所需。國內核醫科大量使用的單光子類核醫藥物，例如：氯化亞鉈[鉈-201]注射劑與檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑必須仰賴中型迴旋加速器方能產製。目前國原院因產能有限，國內需求主要仰賴進口，顯示此兩項產品擁有穩定的市場需求。因此國原院選擇氯化亞鉈[鉈-201]注射劑與檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑為主力商品。

國原院於完成廠房與設備建構，各項產品獲得衛生署藥證後，即開始生產供應國內醫院所需。因國原院生產的氯化亞鉈[鉈-201]注射劑與檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑成本低於進口藥物，將以提供高品質藥物、市場均價的之 75~85%優惠價格、與配送方便性等優勢為訴求，將可有效搶佔國內市場。初期先以承接國原院現有銷售通道為主，除直接供應醫院外，另供應給國內核醫藥物配送藥商(Radiopharmacy)，分裝配製成單一劑量以供應給醫院使用單位。另因國原院放射針劑的產能約為國原院的 3~4 倍，除國原院現有通道外，尚需開拓東部、南部及中、

北部區域級或地區性醫院的市場，以提高市佔率。

凍晶製劑部分以先承接國原院的銷售通道為主，除直接銷售與醫院外，亦與核醫藥物配送藥商(Radiopharmacy)合作，配製成單一劑量提供予使用者。

放射針劑外銷部分以核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑與和顏檸檬酸鎳[鎳-67]注射劑為主。受限於藥物衰變因素，不利於長途運送，國外推廣以東南亞區域為主，與已於該區域建立銷售通道的國內外藥廠策略聯盟方能有效進入市場。除需於當地完成藥物許可證申請外，尚須克服運費高昂與航空所不易接受運送放射性物質等難題。因此，放射針劑的銷售區域仍以國內市場為主，國內剩餘的產能才供應國外市場。

中子照射服務包含中子軟錯誤率晶片檢測服務、快中子影像檢測服務、熱中子靜態影像檢測、熱中子動態影像檢測及熱中子繞射分析。軟錯誤率是記憶體及半導體處理器的標準檢測項目之一，繞射分析為產學研界用於材料分析的廣泛使用技術，但國內仍無此兩種服務設施。

中子軟錯誤率測試的市場行銷方面，本計畫會透過國內 SEMI 台灣委員會於 SEMI 論壇對外公開演講，來讓國內半導體業了解本計畫的中子設施與服務；另外，目前也已接洽國內電子檢測大廠○特公司，雙邊已有合作意願與共識，由本計畫提供中子照射設施，○特公司負責向國內半導體電子業進行行銷業務。

中子影像檢測將包含快中子影像、熱中子靜態/動態影像等檢測技術，快中子影像為發展中的技術，預期將可應用於工

業厚件物體檢測；熱中子靜態/動態影像技術則是物件非破壞檢測及製程開發的重要檢測方式，可運用於結構件銲道、渦輪葉片、儲能組件、電池電極組織結構分析、銅焊/錫焊/高分子黏著等接合部位...等物件檢測，或是熱管等組件內部流體觀測。目前計畫團隊已與中科院、台船、中鋼等公司接觸並獲得肯定，相關技術服務將透過國內學術研討會、產業展覽及技術發表會加以推廣。

繞射分析為材料分析的重要技術，但國內仍無此服務設施。本計畫擬建置熱中子繞射分析實驗站，預期將可運用於含低原子序元素(如: H、C...等)材料結構鑑定與應力分析，協助國內產學研進行材料及其製程開發，此服務將透過學術研討會及技術發表會推廣，並尋求與產業研發單位及學術界進行研究計畫。

應用國原院輻射相關專業技術，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。精進國原院游離輻射國家標準，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。

拓展國原院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，並結合台灣太空輻射環境驗測聯盟活動，踴躍參與國內相關研討會議與各項展示活動，並聯繫相關電子零組件製造商一併參與，推廣國原院技服能量，初期服務收入有限，待整體太空產業趨於成熟，驗證需求增加，預計每年應可達百萬元收入。

質子照射服務於承接國外委託部分，目前規劃仍以配合國內零組件廠商為主，搭配各廠商國外客戶需求，承接相應質子照射驗證服務與評估，如宇○科技、中○○鼎等公司，均有國外客戶詢問耐輻射驗證事宜，而使國內廠商赴國原院尋求相關技術服務，但多因驗證能量未臻完善，僅能執行現有 30 MeV 之輻射驗證測試，提供國外客戶參考。

俟 70 MeV 迴旋加速器完成建置後，可提升國原院驗證能量，以推廣國內太空輻射驗證為基礎，厚實驗證技術，努力展現國原院技服能量，使國內廠商了解國原院太空輻射驗證流程後，願意承接國外耐輻射相關零組件生產製造，逐步將國原院名聲推廣於海外，並開發更多元的測試方式，以符合未來太空產業需求。

整體而言，有關 70 MeV 迴旋加速器的應用，未來年的主要客戶視不同領域有所差異，核醫藥物主要的客戶為國內核醫藥物配送商，約佔 83%，其次則為國內醫院的核醫部門，約佔 17%；中子照射服務主要的客戶為國內產業界，約佔 70%，其次則為國內學研界，約佔 30%；質子照射服務主要的客戶為國內學研界，約佔 70%，其中中科院約佔 30%，國家太空中心約

占 40%，其中國家太空中心會間接承攬相關產業之需求，其次則為國內產業界，約占 30%。如表 23 所示。

表 23、未來年主要推廣客戶

	核醫藥物	中子	質子
國內醫院的 核醫部門	17%	-	-
國內核醫藥 物配送商	83%	-	-
國內學研界		30%	70% ¹
國內產業界		70%	30%
合計	100%	100%	100%

註 1：主要客戶為中科院 30%及太空中心 40%

陸、競爭力分析

一、國內外現有主要競爭者產品分析

目前本國運轉中之小型迴旋加速器有十二座 (9.6~18 MeV，醫學中心、區域醫院與生技所)、中型迴旋加速器一座 (15-30 MeV，國原院既有設施)及高能質子迴旋加速器三座 (70-230 MeV，林口長庚醫院、高雄長庚醫院與台北醫學大學附設醫院)，如表 24 所示。目前國家原子能科技研究院擁有 30 MeV 中型迴旋加速器以及規劃建置營運 70 MeV 中型迴旋加速器之應用比較表，如表 25 所示。

表 24、國內各單位運轉中之迴旋加速器能量範圍

	使用 單位	設備 啟用年	(國家) 廠牌	儀器 型號	Proton Energy (MeV)	Deuter on Energy (MeV)	Current (μ A)
1	台北榮總	1992	(Sweden) Scanditronix	MCI7F	17		80
2	國原院 (NARI)	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
12	林口長庚	2015	(Japan) Sumitomo Heavy Industries	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 Heavy	Proton Therapy	70-230		<1

			Industries	System			
15	臺灣新吉美碩股份有限公司	2019	(Belgium) IBA	Cyclone® KIUBE	18		100
16	台北醫學大學附設醫院	2022	(Belgium) IBA	Proton Therapy System	110- 226.7		<1

表 25、國家原子能科技研究院中型迴旋加速器規劃應用比較表

能量區間	10-30MeV	30-70MeV
新放射性同位素		Ac-225, Cu-67 and Sr-82
放射性同位素	F -18, I-123, Ga-67, In-111 and Tl-201	I-123, Ga-67, In-111 and Tl-201
核醫藥物	<ul style="list-style-type: none"> ● F-18 FDG injection, ● I-123 MIBG injection, ● Ga-67 citrate injection, ● Tl-201 chloride injection 	<ul style="list-style-type: none"> ● I-123 MIBG injection, ● Ga-67 citrate injection, ● Tl-201 chloride injection
質子應用	先期測試	太空衛星電子元件抗輻射測試
中子源	<ul style="list-style-type: none"> ● p+Be 靶-->n ● 中子產生機率:2% ● 質子電流 (mA):0.1 ● 中子產率(相對): 1 	<ul style="list-style-type: none"> ● p+Be 靶-->n ● 中子產生機率: 30% ● 質子電流 (mA): 1.0 ● 中子產率(相對): 150
中子源應用	<ul style="list-style-type: none"> ● 中子照相(靜態) ● 軟錯誤率 	<ul style="list-style-type: none"> ● 中子照相(靜/動態) ● 中子散射/繞射 ● 軟錯誤率 ● 硼中子捕獲研究
應用產業別	醫學	醫學、工業、國防、 太空科技、半導體與電子

國內核醫藥物產業發展與國內醫療政策息息相關，近年來由於健保給付總額成長之速率高於保費成長，使得每項給付之點值逐年降低，壓縮各科部醫療處置之利潤空間，而後者迫使臨床醫師放棄使用二線之醫療處置以降低成本，直接衝擊了核子醫學造影等二線類科之生存。健保局採 DRG(Diagnosis Related Groups)給付政策，對國內核醫產業之發展將更為嚴峻。

儘管目前國內核醫藥物產業面臨相當的挑戰，但相對普通藥物而言，核醫藥物仍為值得國內產業投入的藥物產業項目，原因如下：(1)核醫藥物是目前成長率最高的藥物類別之一，屬於新興市場；(2)核醫藥物由於需特殊的放射性物質產製設備與人才，故投入廠商少，因而市場競爭壓力較小；(3)診斷用核醫藥物為示蹤性質，主原料含量極低，但產品單價卻高於普通藥物，屬於低成本高獲利之藥物；(4)國內已建立核醫藥物研發與產製的人才、核心設施與核心技術，且國內的技術已與國際水準相當。

核醫放射性針劑產品競爭力主要來自藥物售價、供藥穩定度及銷售服務。放射針劑由於藥物衰變特性，藥物製造後劑量即隨著半衰期而減少，藥物生產完成，運送至使用單位手中即與時間競賽，而航空運送亦深受天候而影響藥物供應的穩定度，此為國內核醫製藥產業最大優勢。氯化亞鉈[鉈-201]注射劑半衰期為 73.1 小時，檸檬酸鎳[鎳-67]注射劑(Ga-67 Gallium Citrate)半衰期為 78.3 小時。新吉美碩之氯化亞鉈[鉈-201]注射劑主要自美國 Lantheus Medical Imaging (原 Bristol-Myers Squibb/ Dupont)進口，其次自澳洲 ANSTO 進口。元新之氯化亞鉈[鉈-201]注射劑與檸檬酸鎳[鎳-67]注射劑自日本 Fuji Pharma Co., Ltd.進口，昶洋之氯化亞鉈[鉈-201]注射劑自法國 CIS bio International 進口。核醫藥物自歐美進口配送至使用單位約需 4 天，自日本進口約需 2.5 天。以氯化亞鉈[鉈-201]注射劑為例，藥物自歐美進口，劑量衰變為原出廠劑量之 40%；自日本進口則為 57%。另外，放射性藥物國際運費高昂，約佔進貨成本 15~25%。國內自製氯化亞鉈[鉈-201]注射劑與檸檬酸鎳

[鎂-67]注射劑等核醫藥物雖因批量小而生產成本提高，但因藥物衰變及運費因素可降低成本約 58~85%，產品相當具有價格競爭力。

國內核醫藥物市場有限，當以拓展國際市場為目標。國內放射藥廠必須升級，通過美國 FDA 認證或是歐盟制度 PIC/S 認證，產品方能通過銷售國家之查驗登記。其中，凍晶製劑藥物儲架期長，極適合推廣國際市場。但國際核醫藥物市場掌控於 GE/Amersham, , Lantheus Medical Imaging, Covidien, MDS Nordion 四家大廠手中，大廠資金充足，研發能力強，且已建立完整的行銷通路，小廠難與其競爭。國內雖已建立核醫藥物生產之技術與設施，但欠缺進軍國際市場之能力與銷售管道，或可藉由與國際藥廠或是通路商建立策略聯盟，藉由其力量以進入國際市場。放射針劑外銷因半衰期與運費因素，外銷範圍當以航空運輸距離近之區域，如亞洲鄰近國家為目標，產品方有價格競爭力。國內藥廠除須培養嫻熟國外藥證法規人才外，亦須培養熟悉藥物外銷出口報關業務之人才，方能有效開拓國際市場、增加運送效率減少衰變耗損，使產品具有價格競爭優勢。國原院國外現有主要競爭者產品分析如表 26。

表 26、國外現有主要競爭者產品分析

主 要 產 品	本 公 司	Lantheus Medical Imaging	Fuji Pharma Co., Ltd.	CIS bio International
1. Tl-201 Thallous Chloride	優勢為放射性藥物國內生產方便快捷，沒有國際運費及長途運輸藥物衰變的成本。劣勢為但國內核醫製藥批量小，藥物種類多，增加生產成本。而開拓國際市場難與大廠競爭。	優勢為國際三大主要核醫藥廠，產品產量高、批量大，生產成本低於國內廠商。劣勢為進口需約 4 天，藥物衰減及運費增加成本。且常因氣候因素影響美國航空運輸，導致供藥穩定度降低。	優勢為產品產量高、批量大，生產成本低於國內廠商。劣勢為進口需約 2.5 天，藥物衰減及運費增加成本。	優勢為國際主要核醫藥廠，產品產量高、批量大，生產成本低於國內廠商。劣勢為進口需約 4 天，藥物衰減及運費增加成本。
2. Ga-67 Gallium Citrate	優勢為放射性藥物國內生產方便快捷，沒有國際運費及長途運輸藥物衰變之成本。劣勢為但國內核醫製藥批量小，藥物種類多，增加生產成本。而開拓國際市場難與大廠競爭。	優勢為國際三大主要核醫藥廠，產品產量高、批量大，生產成本低於國內廠商。劣勢為進口需約 4 天，藥物衰減及運費增加成本。常因氣候因素影響美國航空運輸，導致供藥穩定度降低。	優勢為產品產量高、批量大，生產成本低於國內廠商。劣勢為進口需約 2.5 天，藥物衰減及運費增加成本。	

二、 競爭分析

國內共五家業者：國家原子能科技研究院核醫製藥中心、臺灣新吉美碩股份有限公司、士宣生技股份有限公司、昶洋與元新等。近幾年衛生福利部對於製藥業制定不同的法規，核醫藥物依不同性質區分製造與調製作業，故國家原子能科技研究院核醫製藥中心與士宣生技股份有限公司屬於製造作業，臺灣新吉美碩股份有限公司屬於調劑作業，而昶洋與元新二家公司純粹為代理商。目前國原院與國內民間業者之間的關係，相互

支援互補，屬於競合關係。國內民間業者競爭分析，如表 27 所示。

表 27、國內民間業者競爭分析

項目 \ 公司名稱	新吉美碩	昶洋	元新	士宣
1.價格	高	高	高	高
2.產品上市時間早晚	早	早	早	最晚
3.市場佔有率(%)	48%	10%	12%	3%
4.市場區隔	無	無	無	無
5.行銷管道	掌握近50%市場，行銷管道通暢	投入市場久，已建立行銷通道	投入市場久，已建立行銷通道	投入市場晚，尚未建立完整行銷通道
6.技術優勢	具調製核醫藥劑廠與調製技術	僅為代理商	僅為代理商	具正子(氟-18)製藥廠與製藥技術
7.關鍵零組件之掌握	分裝調劑	-	-	正子藥物自動化合成與品管技術
8.品質優勢	為世界三大藥廠之一Lantheus Medical Imaging產品，品質形象高	為10大製藥新進國，法國產品，品質形象高	為10大製藥新進國日本產品，品質形象高	為本土藥廠，品質形象提升中
9.其他優勢	除自美國Lantheus Medical Imaging進口外，亦自澳洲ANSTO進口，增加產品備援性。	-	-	-

三、SWOT 分析

中子與質子科學研究 70 MeV 迴旋加速器將密切關聯於我國重要科技與產業技術之發展，是國內基礎研發與產業應用的缺口。本計畫利用 SWOT 分析關鍵因素與探討執行策略，並評估國內及國際技術發展環境與情勢，以及可能的機會與競合關係。本計畫 SWOT 分析如表 28。

表 28、本計畫 SWOT 分析

優勢(Strength)	劣勢(Weakness)
<p>(1) 國內具備多種醫用放射性同位素及核醫藥物生產技術，專業人員素質優良。</p> <p>(2) 放射性藥物具衰變特性，在國內生產供應具快速與方便優勢。國內自製的 Tl-201 與 Ga-67 等放射針劑因藥物半衰期衰減特性及運費因素，較進口藥物成本降低約 55~85%。</p> <p>(3) 許多短半衰期的核醫藥物無法自國外進口，必須由國內生產就近供應。</p> <p>(4) 高價位新核醫藥物 Cold Kits 陸續研製成功(如 MIBI …等)可進入國內及國際市場。</p> <p>(5) 政府政策支持國內發展核醫藥物產業以及太空產業。</p>	<p>(1) 國際核醫藥物市場掌控於 GE/Amersham, Lantheus Medical Imaging 與 Tyco/Mallinckrodt 三家跨國核醫藥廠手中，大廠資金充足，研發能力強，且已建立完整的行銷通路，小廠難與其競爭。</p> <p>(2) 國內核醫藥物市場小，核醫藥物種類多且需求量大，造成生產本上升，可以對中國大陸及東南亞出口，增加市場需求量。</p> <p>(3) 國內核醫藥物製造廠雖通過 PIC/S GMP 等國際認證，但缺乏嫺熟國際核醫藥物查驗登記法規之人才。</p> <p>(4) 醫院核醫部門反映原能會輻防管制較嚴，但員工安全及環境保護較妥善，且各醫院已能適應國內法規。</p>
機會(Opportunity)	威脅(Threat)
<p>(1) 國人年所得提高，健康漸受重視，對高單價自費檢查意願大為提高，增加核醫診療商機。</p> <p>(2) 受到 COVID-19 疫情與航空業工會罷工影響，國外核醫藥物進口困難，因此擴大國內自主產能，產學研共同合作穩定藥物供應鏈，保障國人健康福祉，已經成為全民共識。</p> <p>(3) 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預計到 2025 年將達到 201.43 億美元。</p> <p>(4) 拓展中子與質子科學研究領域，跨足衛星航太與半導體產業，此時正是適當切入的時機點。</p>	<p>(1) 核醫非第一線醫療，國內健保總額給付及醫院自主管理實施，使得核醫藥物銷售量及售價受制於健保制度，難以大幅拓展市場。</p> <p>(2) 功能性磁共振造影技術(Functional MRI)由於具高解析度之解剖影像，將取代部分核醫檢查之市場，核醫目前已進入分子影像時代，直接觀察生化分子變化，優於解剖影像。</p> <p>(3) 加入 WTO，進口藥稅取消，國內核醫產業發展競爭白熱化，國內可發會現地現時生產，短半衰期藥物國外進口困難等契機，進行競爭。</p>

柒、組織分析

一、組織系統、職掌

組織名稱	配比任務
核能研究所 70 MeV 迴旋加速器 中心	負責新藥開發及製程研究。負責放射性同位素研究。供應放射性核醫藥物。供應放射性同位素。負責質子與中子照射研究。負責質子與中子照射服務。提供專業人才培訓。提供藥物生產技術指導。提供專業人力技術支援。協助提供智慧財產及藥證支援。

(一) 組織結構

本中心營運人力係以編制員工與聘僱人員為基礎，共計 35 人，依核子科學、機械、土木、物理、電機、化工、化學、輻射防護等領域專業人才進行分工。分成三大部門：(1) 管理與行政部門。(2) 設施運轉部門：依實驗性質屬性不同，再分為迴旋加速器實驗室、放射性同位素研製實驗室、質子照射驗證分析實驗室與中子應用研究實驗室。(3) 設施維護部門，再分為工務、系統工程與輻射安全管理。如圖 20 所示。

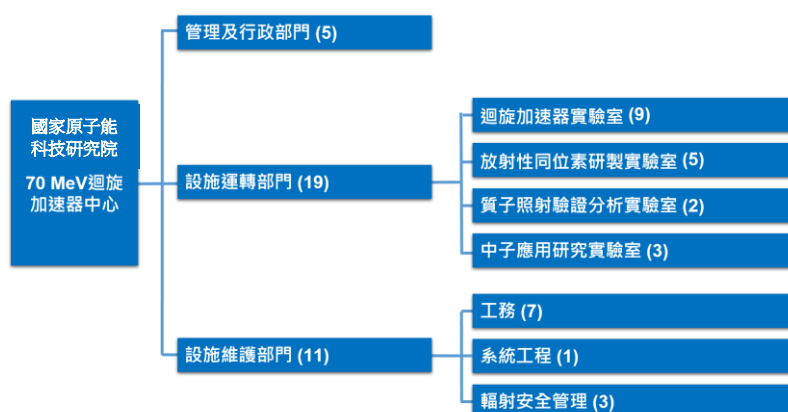


圖 20、組織結構圖

(二) 組織職掌

	部門	執掌
1	管理與行政部門	承接接洽生產與技術服務訂單業務、生產與技術服務排程、會計核算、資金管理、成本控管與內部控管、成本計價與銷售策略等擬定、媒體宣傳等活動執行。專業人才培訓、國內外市場開發、營運績效與管理、產品銷售及客訴處理、服務合約審查、國內外市場資訊分析。
2	設施運轉部門	加速器照射排程、工作人員控管及調度、生產計畫之規劃及安排、生產設施管理與維護、產品品質與服務品質控管、
3	設施維護部門	現場環境管理、現場安全管理、輻射安全監控與管理

二、人力規劃

70 MeV 迴旋加速器營運人力規劃，如表 29 所示 (本營運人力不包括 30 MeV 迴旋加速器與核醫製藥廠小組人力)。營運人員學歷，包括博士 5 人、碩士 9 人、學士 21 人與專科 7 人。

表 29、營運團隊人力規劃

(單位：35 人)

營運團隊		學 歷				
		博 士	碩 士	學 士	專 科	合 計
1	管理及行政部門	1	1	1	2	5

2	設施運轉部門	迴旋加速器實驗室	1	1	4	3	9
		放射性同位素研製實驗室	1	1	3		5
		質子照射驗證分析實驗室	1	1			2
		中子應用研究實驗室	1	1	1		3
3	設施維護部門	工務		2	5		7
		系統工程		1			1
		輻射安全管理		1	2		3
合 計							35

三、經營團隊

國原院面臨組改及外部環境因素，積極導入目標與關鍵成果（OKR）管理模式，形塑創新的組織文化。在有限資源下權衡取捨，聚焦發展有潛力項目，以能技轉技服為目標，利於爭取更多合作機會。因此，規劃 70 MeV 迴旋加速器之經營團隊包括主要經營管理者、營運團隊與指導委員會。主要經營管理者為國家原子能科技研究院院長或副院長(或同級職務)，營運團隊計有同位素所、物理所、材料所、機械所、工程所、電資所、原能所與輻防所等 8 個研究所(國原院員工約為 1,000 人，主要包括 10 個研究所，營運涉及的研究所已佔 8 成)之具有核子科學、機械、土木、物理、電機、化工、化學、輻射防護等專業背景研究人員。指導委員會採延聘國內外具有迴旋加速器運轉經驗、質子與中子照射經驗等 3-5 人。目標與關鍵成果（OKR）管理模式將透過訂定目標（Objectives）→界定團隊範圍→訂定團隊任務→訂定里程碑（以三個月為單位的目標→制定模式→訂定關鍵成果（Key Results），逐步踏實來獲得達成預期成果。

四、經營理念及策略

創新藥物研發與促進分子影像發展是國原院的核心價值所在。雖然核醫藥物不斷的推陳出新，但大多僅止於研究，真正能導入市場常規使用者多年來未見增加，反而有部分藥品因市場小，沒有藥商願意引進而逐漸消失。若能整合核醫產官學醫研的能量、建立各類藥品的本土自主生產，透過藥價合理化及市場互惠共享的協調機制，不論銷量大和小的藥品都有廠商願意投入生產，病患於臨床診療需要時皆有藥可用，在此良性循環下不但可以扭轉目前核醫藥物供應的困境，更可引領國內未來分子影像導航治療等領域的快速發展。

捌、財務計畫

一、 假設條件

目前整體實驗室的產能規劃如前述表 13 所示，核醫藥物的生產占 40%，研究照射占 35%，中子與質子照射分別占 15%與 10%。本計畫預定提供之核醫藥物與照射服務如表 30 所示。以下分別就核醫藥物、中子實驗室以及質子實驗室所能提供的服務及其所帶來的收入進行說明。此外，由於未來國原院預計轉型法人，在來自政府部門的科研經費將假設以 30%的管理費認為收入，據以計算現金流量。

表 30、本計畫預計提供之核醫藥物與照射服務

產品／服務	產品或服務項目名稱
核醫藥物	
A 同位素	(1)鈾-225 放射性同位素 (2)銅-67 放射性同位素 (3)鋨-82 放射性同位素
B 核醫藥物	一、放射針劑 (1)核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑 (2)核研檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑 (3)核研心交碘-123 注射劑 二、凍晶製劑 (1)核研瑪格鎂腎功能造影劑 (2)核研雙肱乙酯腦造影劑 (3)核研美必鎂心臟造影劑
中子照射服務	(1)中子軟錯誤率檢測 (2)中子影像檢測服務 (3)中子靜態影像檢測服務 (4)中子動態影像檢測服務 (5)中子繞射分析服務
質子照射服務	(1)太空元件質子照射驗證測試與評估。 (2)高劑量率(200 μ A)質子照射服務。 (3)大面積(30 cm*30 cm)質子照射服務。

1. 核醫藥物

目前在核醫藥物方面預計生產核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑、核研檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑、核研心交碘-123 注射劑等三種核醫藥物，其未來 10 年的預計營收如前述表 4、表 5 及表 6 所示，並假設 10 年後上述藥品的市場需求趨於穩定，因此 10 年後的營收亦維持穩定。另外，值得說明的是，若考慮未來東南亞市場的成長，該營收數據可能有所增加。

凍晶製劑如雙肱乙酯腦造影劑(ECD)、美必鎂心臟造影劑(MIBI)、馬格鎂腎功能造影劑(MAG3)等未來營收由國原院進行估算；而新核種藥物如鉈-225、銅-67 及鋨-82 等，由於目前尚未正式量產，未來相關營收由國原院參考國際市場報告進行推估值，相關核醫藥物的成本、數量與收入等資訊可參考第三章產能的章節，因應更長期的市場潛在需求，在不排擠原本核醫藥物生產線下，少量生產以維持國內研發及供藥之自主性，並視未來藥品的市場需求滾動檢視，再進行產能的調整規劃，由於核醫藥物的特殊性及市場區隔明顯，因此假設 10 年後上述藥品的市場需求趨於穩定，主要核醫藥物及新核種藥物未來之營收如下表 31 所示。

表 31、核醫藥物及新核種藥物銷售預估

銷售收入預估 (單位:千元)						
評估期年	Y5	Y9	Y14	Y24	Y34	Y44
生產年	1	5	10	20	30	40
核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑	49,500	90,750	115,500	115,500	115,500	115,500
核研檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑	5,760	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200
核研心交碘-123 注射劑	8,800	15,400	15,400	15,400	15,400	15,400
雙肱乙酯腦造影劑(ECD)	1,763	1,763	1,763	1,763	1,763	1,763
美必鎂心臟造影劑(MIBI)	1,235	1,235	1,235	1,235	1,235	1,235
馬格鎂腎功能造影劑(MAG3)	2,622	2,622	2,622	2,622	2,622	2,622
鉈-225 放射性同位素	-	15,000	22,500	22,500	22,500	22,500
銅-67 放射性同位素	-	4,500	9,000	9,000	9,000	9,000
鋇-82 放射性同位素	-	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
合計	69,680	163,470	200,220	200,220	200,220	200,220

2. 中子及質子照射服務

中子及質子照射的部分，預期每年使用小時數將達 495 及 330 小時，目前規劃照射費用為每小時 2.5 萬元，年收入分別為 1,238 萬元及 825 萬元，年收入可達到 2,063 萬元。並預計每年帶來 3,000 萬元的產學衍生性收入。

二、 基本假設及預期收支

本建置計畫為政府計畫，前 4 年為建置期，僅有資本支出並無相關收入產生，預計建置完成後，本計畫第 5 年開始營運並產生營收，本計畫營收來源主要分為四大類：包含核醫藥物、中子及質子照射技術服務收入、研發科研計畫所取得之自主運用經費及技術移轉等收入。由於國內外迴旋加速器建設及選址不易，又為國家之重要設施，其使用年限相較一般設備更長久，本計畫假設使用年限為 40 年，評估期間共 44 年，由於國原院為國家研究機構，土地亦為國有，建置不需額外之土地及建物稅費。建置成本共約 18 億 1 千萬，建置完成後使用 40 年之成本支出包含人事、水電、附屬設備及既有輔助設備運維等費用，如下表 32 所示。

表 32、本計畫資本支出與相關費用

#	支出項目	總期程費用(千元)
1	迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室	840,809
2	質子照射驗證分析國家實驗室	52,312
3	中子應用國家實驗室	126,819
4	土木建築	749,000
5	系統工程(輻防與 PRA)	42,034
		每年費用(千元)
6	人事費用(35 人)	35,000
7	水電費用	12,000
8	維護保養費用(#1~#3)	38,875
9	館舍修繕費用(#4)	3,185
10	公用設備修繕費用(#5)	343
11	既有輔助設備維護保養費用	20,000

(一) 現金流入及流出項目

為能夠更了解相關實驗室建置完成後的財務績效，必須先針對未來的現金流量進行估算，本計畫根據上述產能與製藥的規劃，試算各年度的現金流量並加以分析，以期在未來營運及財務的運作能更為健全。在現金流出方面，除了建置迴旋加速器與放射性同位素研製國家實驗室、質子照射驗證分析中子應用國家實驗室等重要資本支出外，另外亦將實驗室未來運轉所需之人事、水電費用、維護保養、相關修繕與運維等費用皆予以考慮。

在現金流入方面，未來營收主要來自本計畫所生產的各種核醫藥物，在注射劑方面有核研氯化亞鉈[鉈-201]、核研檸檬酸鎳[鎳-67]、核研心交碘-123 等注射劑；而凍晶製劑則有馬格鎳腎功能造影劑(MAG3)、美必鎳心臟造影劑(MIBI)及雙肱乙酯腦造影劑(ECD)等藥品。在新核種開發方面，目前規劃有銅-225、銅-67、鋇-82 等放射性同位素的生產。此外，本計畫建置之中子、質子實驗室亦能產生相關中子、質子照射技術服務收入等，而相關衍生性收入如科研計畫自主運用收入以及技術轉移收入等項目亦將認列為收入，如表 33。需特別說明的是，考量國原院為法人的情況下，計畫自主運用收入目前以 30%作為認列的依據，並據以計算各期淨現金流量與財務指標，供未來營運參考。

表 33、評估期間現金流量估算(未折現)

單位：千元	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y15	Y20	Y30	Y40	Y44
現金流出(成本)															
1 設備費用	247,509	352,300	842,385	382,815	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 營運費用	-	-	-	-	109,403	109,403	109,403	109,403	109,403	109,403	109,403	109,403	109,403	109,403	109,403
現金流入(收入)															
1 同位素核醫製藥 (扣除材料費後之淨收入)	-	-	-	-	62,712	77,994	99,216	107,073	147,123	155,358	180,198	180,198	180,198	180,198	180,198
2 中子照射技術服務收入	-	-	-	-	500	1,000	2,000	4,000	8,000	10,000	12,375	12,375	12,375	12,375	12,375
3 質子照射技術服務收入	-	-	-	-	1,000	2,200	3,400	4,600	5,800	7,000	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250
4 科研計畫自主運用收入	-	-	-	-	21,000	21,600	22,200	22,800	23,400	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000
5 總技術轉移收入	-	-	-	-	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000

資料來源：國原院估算。

(二) 財務分析指標

在相關財務指標分析上，本案參考財政部之「財務可行性分析」及國發會委託計畫「精進公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫」，相關指標有內部報酬率(Internal Rate of Return, IRR)、淨現值(Net Present Value, NPV)、益本比分析(Benefit–Cost Ratio, B/C)、回收年限(Payback Period, PP)等相關常用的財務分析指標，本計畫後續將針對上述指標的計算結果與投資決策進行說明。下表 34 為適用於本案之重要分析指標及判讀原則。

表 34、財務分析指標及判讀原則

	分析指標	說明
1	內部報酬率(IRR)	IRR>資金成本或替代方案 IRR，則該計畫值得執行 (IRR 即投資淨現值為 0 下求解出之折現率)。資金成本可為利率、公債利率或投資人要求之特定報酬率等。參考我國交通建設經濟效益評估作業之研究，我國 10 年期公債近 20 年平均利率水準約 2%，而該研究建議之折現率區間範圍 3.7%~4.2%。不同國家之社會折現率則為 2.5%~7.0%不等，可作為由政府出資公共建設 IRR 之比較區間。
2	淨現值(NPV)	在給定特定的折現率下，NPV >0 該計畫值得執行；或相同折現率條件下，選擇 NPV 較大之方案
3	益本比分析(B/C)	在給定特定的折現率下，B/C > 0 該計畫值得執行；或相同折現率條件下，選擇 B/C 較大之方案
4	回收年限(PP)	回收年期<決策單位之許可年期，或其它替代方案之回收年限，則該計畫值得執行

資料來源:國原院彙整。

本計畫針對各年度現金流量估算之後，據以計算相關財務指標，並分述如下。在根據上述的核醫藥物、照射服務所帶來的營收與相關假設下，本計畫在財務分析方面，在 40 年的營運期間計算出內部報酬率 IRR 3.9 % (此為實質報酬率，與名目報酬率之差異約等於通貨膨脹率，即 3% 通貨膨脹率假設下之內部報酬率約 7%)，顯示該投資計畫具有穩定的報酬率，考量該計畫具有國家實驗室的性質，研究導向，該財務數據應屬可接受的投資方案。此外，從淨現值方面來看，在折現率(可視為投資人對投資計畫的要求報酬率，或是資金的机会成本)設定 2% 與 3% 的情境下，淨現值分別為 8.5 億元，3.5 億元，顯示若該項投資計畫的要求報酬率為 2% 下，將產生 8.5 億元的正淨現值，同時益本比達到 1.19，在投資決策上屬於可接受的投資計畫；若考慮要求報酬率為 3% 的情況，仍將產生正的 3.5 億元的淨現值，益本比降為 1.09，在投資決策上仍為可行。若以未折現下之回收期間來看，本建置計畫約 24 年可回收成本，相當於在第 25 年為本計畫帶來正的現金流量，各年度累積現金流量與回收期間可參考其餘不同假設情境下的敏感度分析，可以參考下一章節的說明。

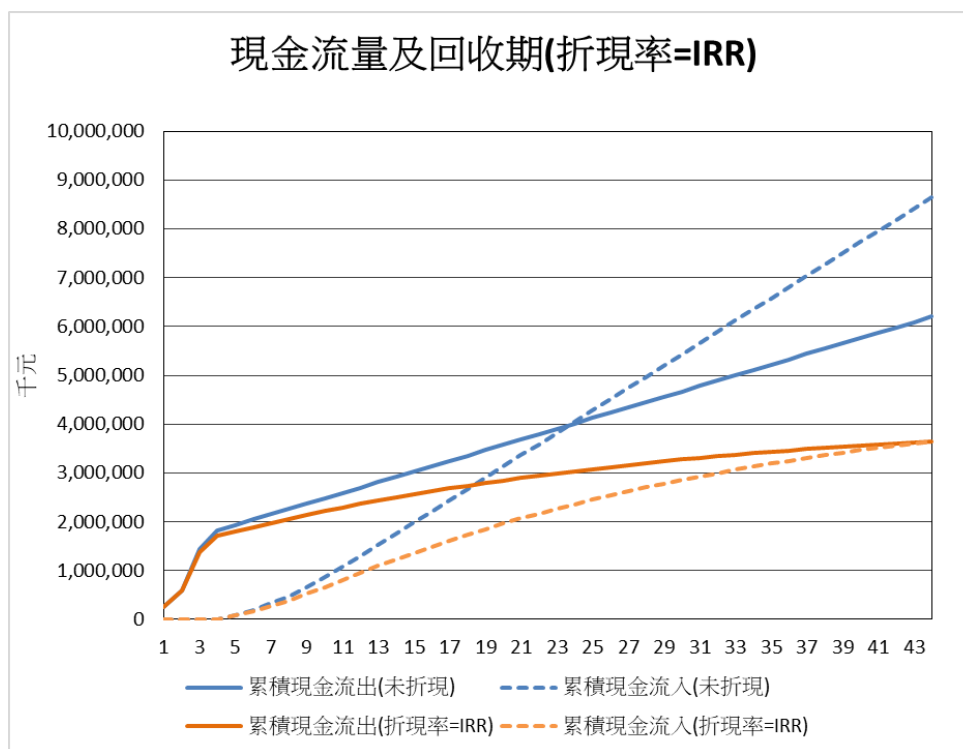


圖 21、各期累積現金流量圖

(三) 經濟效益質化分析

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，國原院緊急投入生產與供應國內醫療急迫所需之「核研氯化亞鉈[鉈-201]注射劑」與「核研檸檬酸鎂[鎂-67]注射劑」，貢獻於國家防疫能量與供應戰備資源，約造福 25,700 名病患 (109.04.20 ~ 109.11.30)，暫解燃眉之急，COVID-19 疫情至今仍持續延燒，增加全球供應鏈的不確定性，尤其是短半衰期核醫藥物，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。

如前所述國原院具有南北通運之便利性與快捷性，計畫建置 70 MeV 迴旋加速器產製開發診斷與治療用放射性同位素，相關的銷售通路系統，建立本土核醫產業，增加就業人口，取代國外進口，提升自給率，遠程目標則可拓展內需以外之市場，就近供應鄰近東南

亞、東北亞及大陸等地區，促進醫藥產業出口成長。

另外，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)、銅-67 (Cu-67)與銦-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，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。而放射精準醫療對快速邁向高齡化及癌症發生率在全球排名居高的台灣而言，更是能節省沉重的醫療成本負擔的重要解方。

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國原院，共同組成「台灣太空輻射環境驗測聯盟」，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，國原院建立 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。

為促進我國太空產業的健全發展，立法院於 110 年 5 月 31 日三讀通過「太空發展法」，成為我國第一部國家太空法案。行政院預計 10 年投入 250 億元國家太空計畫，扶植衛星產業、培養太空科技人才。國際市場最受矚目的太空低軌道衛星，因為發射成本低、研

發週期短之優勢，已用於地球觀測、氣象、科學研究探索、通訊、導航與國防監視等用途，2017 年開始大幅度成長，年複合成長率達 44%，ITIS 引用經濟部航太小組的估算，國內約 80 多家太空產業相關廠商，2019 年直接與衛星產業相關產值約為新台幣 81 億元，衛星製造產值至少新台幣 15 億元，加上未來指數型成長之態勢，各項子系統都須用到抗輻射之晶片、材料等，因此太空環境驗證之跨產業共同平台的應用層面很廣，其所衍生之產業效益不可小覷。

但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，如太空中心、中科院等，自行借用質子束照射場域，測試篩選所需元件，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。本計畫規劃之質子照射服務將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，未來太空產業日趨成熟，亞洲亦可能成為重要供應鏈，以滿足鄰近國家之需求。

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。新興領域包含了超導電纜的研發與波音公司合作的航太元件開發。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，像是橋樑的防蝕與除垢、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，以及交通基礎建設中的鐵軌檢測等，對我國綠能政策之風機生產及運維國產化亦有助益。

國內僅存的清大 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，對我國科技發展與工業成長均是個威脅。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，國原院若能藉 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。

玖、風險分析

一、主要風險及因應措施

各種投資在營運階段可能受到很多不確定因素的影響，如：天然災害、政治環境、法令變更、金融危機等，使得收益不如預期。本設施營運階段風險分析排除上述企業外部不確定風險，主要考慮物料管理、設備管理、生產管理、品保管理等企業內部營運風險項目，其風險因應措施列於表 35。

表 35、設施營運階段風險分析及因應措施

風險項目	風險情境	現有風險因應措施
物料管理	放射性原料短缺導致無法如期供藥	1. 建立物料清單，定期盤點庫存量。 2. 設定安全存量，預先採購物料。
設備管理	生產線重要設備之耗材零組件須進口，因未取得備品，使得設備停機，生產線停止。	1. 訂定設備預防保養週期，記載維護紀錄 2. 建立耗材零組件清單，定期盤點庫存量 3. 設定安全存量，預先採購備品
生產管理	因排程管理不佳影響交貨時程與數量	1. 依據客戶訂單規劃生產線排程 2. 依據生產線排程與設備運轉狀態規劃維護排程
品保管理	文件管制或內部稽核缺失而影響 PIC/S GMP 評鑑。	1. 依據「GMP 檔案室文件管制程序書」(QA-GCP-014)執行文件相關管制工作，明訂由原物料至產品之各項管制作業活動。 2. 依據 PIC/S 標準，由品保小組依核醫製藥中心自我查核標準操作程序書(QA-SOP-007)執行查核，查核有不符合狀況，開列品保查核不符合報告表通知受稽核單位，由受稽核單位，自行訂定改善對策及改善期限，品保小組再作跟催確認。

二、財務敏感性分析

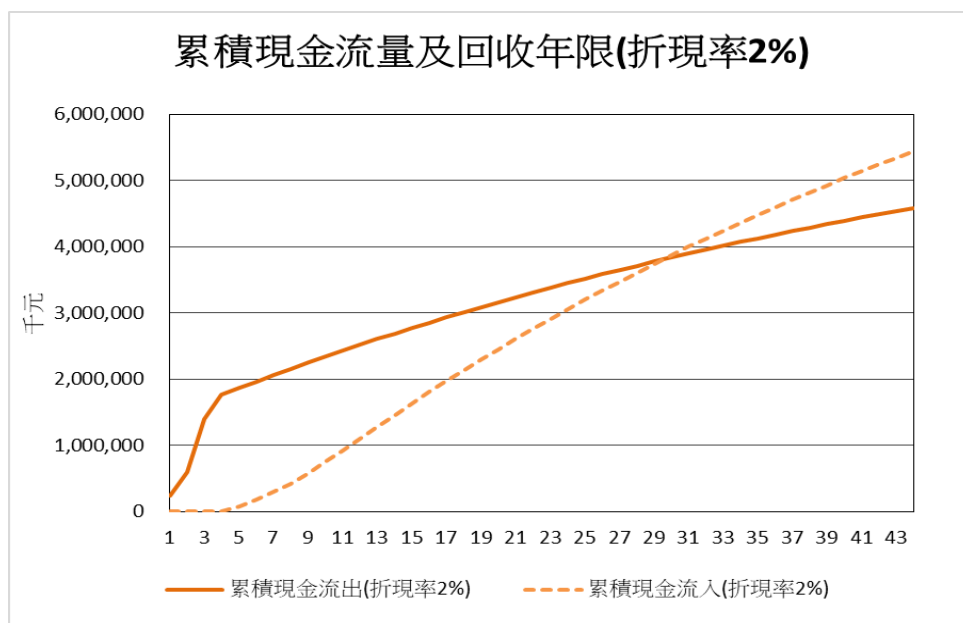
本計畫在財務效益敏感度分析方面，考慮未來成本、營收以及不同折現率等三個構面進行分析。首先，在成本方面分為總投資成本增加 10%及營運費用上漲 10%等兩個情境；其次，在營收的不確定性方面，本計畫考量如果未來整體營收降低 10%、科研計畫可自主運用的比例降低(從目前假設認列 30%改為 10%)，以及核醫藥物收入降低 10%等三個情境；最後再分別以折現率 2%與 3%作為分析比較的基礎。以下分別就不同情境下本計畫所計算的內部報酬率、淨現值、益本比及回收期間等財務指標進行分析說明。

首先，如同前一章節提及在基本情境下，根據本計畫未來年的淨現金流量，估算出內部報酬率為 3.9%。若考慮未來總投資成本上漲 10%的情況，則內部報酬率稍微下降為 3.2%，若是未來營運成本上漲 10%的情況，內部報酬率為 3.3%，計算結果顯示上述兩個成本增加的情境對於本計畫內部報酬率的影響有限。

其次，若從未來營收可能下降的風險來分析，如果整體收入降低 10%，將使得內部報酬率為 2.8%，而在科研計畫可自主運用的比例從 30%降為 10%的情境下，內部報酬率為 3.2%，而核醫藥物收入降低 10%下，內部報酬率為 3.5%。由此可知，相對於未來營運成本的上漲，未來營收下降的風險如果增加，對整體計畫的財務績效影響較大。未來本計畫將致力於維持未來營收能夠達到目標。

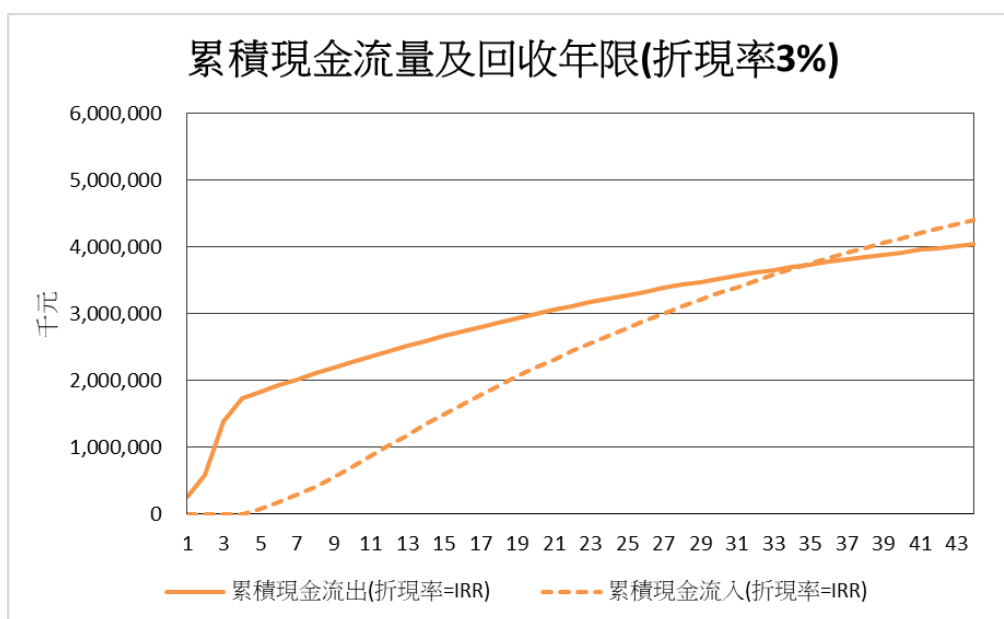
綜合從淨現值、益本比及回收期間來分析，在折現率(可視為該投資計畫的要求報酬率)設定 2%與 3%的情境下，淨現值分別為 8.5 億元，3.5 億元，顯示若該項投資計畫的要求報酬率為 2%下，將產生 8.5 億元的淨現值，益本比為 1.19，回收期間為 29 年，屬於可接

受的投資計畫；若要求報酬率提高為 3%，投資計畫仍將產生正的淨現值，益本比為 1.09，回收期間為 34 年，在投資決策上仍屬可行。相關累積現金流量與回收年限可參考圖 22 與圖 23。本計畫並彙整相關財務敏感度分析結果如表 36 所示，以供參考。



資料來源:國原院估算。

圖 22、各期累積現金流量(折現率 2%)



資料來源:國原院估算。

圖 23、各期累積現金流量(折現率 3%)

表 36、本計畫案財務效益敏感度分析

<div> <div>項目</div> <div>假設條件狀況</div> </div>	財務分析指標			
	現值內部報酬率 (IRR) (%)	淨現值 (NPV) (千元)	益本比 (B/C)	投資回收期數 (payback period) (年)
基本預估	3.9%	-	-	-
情境 1: 總投資成本增加 10%	3.2%	-	-	-
情境 2: 營運成本上漲 10%	3.3%	-	-	-
情境 3: 整體收入降低 10%	2.8%	-	-	-
情境 4: 科研計畫自主運用收入 降低(30%降至 10%)	3.1%	-	-	-
情境 5: 藥物銷售收入降低 10%	3.0%	-	-	-
情境 6: 折現率 2%	-	854,495	1.19	29
情境 7: 折現率 3%	-	354,315	1.09	34

壹拾、 附件.

建造時程甘特圖

表 37、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	112	113	114	115	116
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	111/01	111/12					
	迴旋加速器規格訂定	111/07	111/12					
	迴旋加速器採購案成立(規格審查、開標)	112/01	112/03	■				
	規格規定與採購訂約	112/04	112/06	■				
	迴旋加速器原廠製造與交運本院	112/04	114/03	■	■	■		
	迴旋加速器現場安裝，測試及驗收	115/06	116/03				■	■
	迴旋加速器原廠運轉人員赴國外駐廠訓練	113/09	114/12		■	■		
	迴旋加速器原廠運轉人員現場訓練	115/06	116/03				■	■
	氣固體靶之採購簽約與廠家製造，以及交運本院	112/04	114/06	■	■	■		
放射性同位素研製家實驗室	氣固體靶現場安裝，測試及驗收	115/06	116/03				■	■
	同位素生產鉛室設施建立	115/10	115/12				■	

表 38、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	112	113	114	115	116
質子照射實驗室 建置	質子照射模擬分析平台建置	112/01	113/12					
	質子射線量化分析平台建置	112/07	114/10					
	其他附屬設施(輻射監測、控制等)建置	113/01	115/12					
	質子射束(含準直器)建置與運轉測試	114/01	115/12					

表 39、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	112	113	114	115
靶站及準直器	需求討論與概念設計	111/01	112/04	■			
	赴國外研究機構學習靶站及準直器設計	112/04	113/04	■	■		
	細部工程設計	112/09	113/12		■	■	
	採購案申請、開標及合約訂立	113/04	114/06			■	■
	靶站及準直器建置及安裝	114/06	115/10			■	■
中子應用儀器	概念設計與供應商調查	111/01	112/04	■			
	赴國外研究機構學習繞射及影像分析	112/04	113/04	■	■		
	儀器規格確定	113/04	113/10		■		
	熱中子科學站細部設計	113/06	113/10		■		
	採購案申請、開標及合約訂立	113/10	114/04			■	
	儀器製作	114/04	115/10			■	■

表 40、土木工程建造之分年策略

土木工程建造	工作項目	起	訖	112	113	114	115
土木工程評估及 新建作業	規劃、設計與地質調查	112/01	112/12	■			
	地盤改良工程	113/04	113/07		■		
	下部結構(基礎工程)	113/07	114/03		■		
	上部結構工程	114/04	114/12			■	
	建築裝修工程	114/10	115/04				■
廠用系統設計及 建廠試運轉作業	通風、空調	114/06	114/10			■	
	電氣、儀控、機械設備	114/10	115/04				■
	水、氣、消防	114/06	115/09			■	■
	廢棄物管理及周邊系統	114/12	115/04				■
	公共設施	114/12	115/04				■
	測試、調整及試運轉	115/04	115/12				■

表 41、系統工程之分年策略

系統工程	工作項目	起	訖	112	113	114	115
射源項模擬計算與分析	加速器主體及各靶室、照射室之點射源中子與光子能譜的模擬計算(屏蔽)	112/01	112/11	■			
	加速器主體及各靶室、照射室之空間中子能譜的模擬計算(活化)	112/01	113/05	■	■		
	協助撰寫輻安評估報告並回覆審查意見	113/03	114/03		■	■	
	協助完成加速器試運轉計畫所需之射源項分析，取得加速器安裝許可	114/04	115/12			■	■
輻射安全評估	輻射屏蔽分析	112/01	112/12	■			
	活化產物評估	112/01	113/05	■	■		
	人員劑量評估及輻防措施規劃	113/01	113/05		■		
	完成輻安評估報告相關章節撰寫並回覆審查意見	113/03	114/03		■	■	
	協助完成加速器試運轉計畫所需之屏蔽與活化分析，取得加速器安裝許可	114/04	115/12			■	■
系統可用度提升	迴旋加速器運維策略研析	112/01	113/12	■	■		
	迴旋加速器試運轉資料蒐集與系統弱點分析	113/01	115/06		■	■	■
	迴旋加速器運維策略擬定	114/07	115/12			■	■