

九十二年度一千萬元以上政府科技計畫績效
評估報告書

計畫名稱：核設施運轉安全技術提昇研究

(原子能領域)

主管機關：行政院原子能委員會

執行單位：行政院原子能委員會核能研究所

原能會科技計畫成果效益報告

壹、基本資料：

計畫名稱：核設施運轉安全技術提昇研究

主持人：李瀛生

審議編號：92-2001-14-05-01-35

計畫期間(全程)：92年01月至95年12月

年度經費：40,270 千元 全程經費規劃：166,770 千元

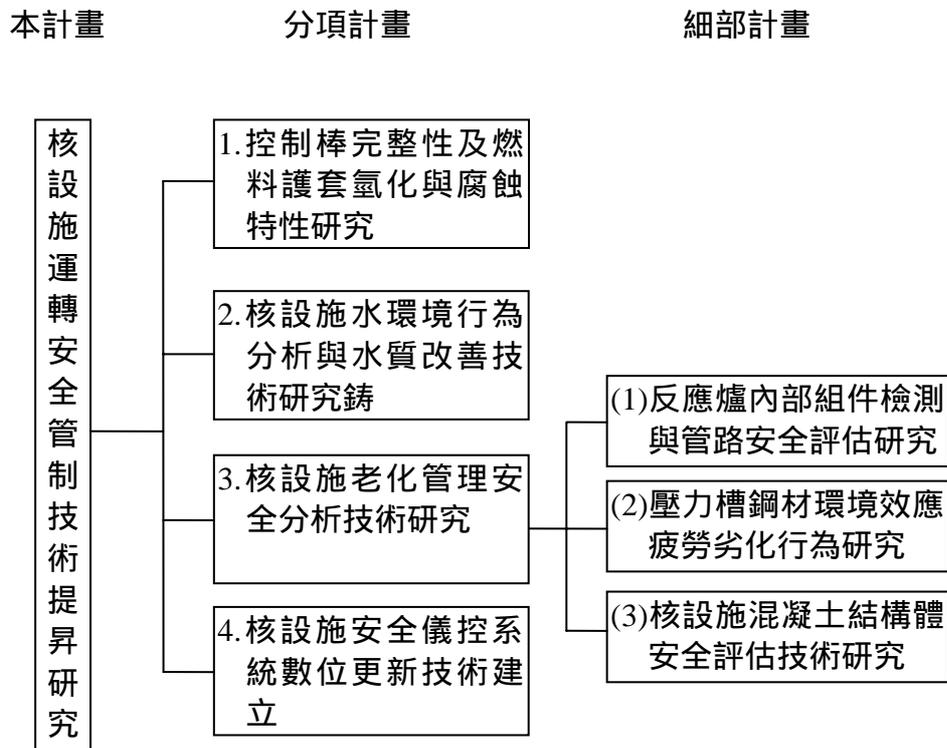
執行單位：核能研究所核子燃料及材料組

貳、計畫目的、計畫架構與主要內容

一、計畫目的

本計畫之總目標在因應社會大眾對核子反應器設施運轉安全之殷切期盼，以及政府嚴密核安管制之施政理念，藉由健全核子反應器設施設備、組件、儀控等運轉安全與保健相關技術能力，以發展本土化之安全分析與審查技術，確保核能安全。

二、計畫架構：



三、主要內容：

1. 蒐集 BWR 控制棒葉片受損資訊，追究其破裂受損機制，提出改正措施，評估 BWR 控制棒完整性及壽命；建立測量銦管破壞韌性及水中非破壞檢測燃料護套氫化程度之技術；探討銦管氫化物之排列與分佈對燃料護套機械強度與腐蝕性質之影響；評估爐心水化學(加氫、加鋅、加貴金屬、pH、LiOH 等)對燃料護套腐蝕之影響，提出有效的對應策略及安全管制要求，例如燃料安全運轉燃耗值及腐蝕限值等，以確保電廠運轉的安全性及核燃料延長燃耗的可靠性。

2. 因應未來沸水式核能設施的加氫水化學發展趨勢，從水化學對核能安全影響方面著手，建立各項水化學相關安全評估能力，並精進管制技術，以供原能會作為制訂相關政策及管制措施之參考。

3. 核設施重要組件老化管理安全分析技術

(1) 建立反應爐內部組件檢測評估技術

研擬反應爐內部重要組件檢測程序與安全評估準則，建立自主之遙控檢測技術與相關輔助設備，協助管制單位執行內部組件檢測之獨立審查與驗證。

(2) 建立壓力槽鋼材環境效應疲勞劣化行為評估技術

a. 建立於各種反應器水化學環境下(包含一般及我國 BWR 規劃中之加氫水化學等)，壓力槽鋼材腐蝕疲勞劣化行為之評估技術，以及鋼材腐蝕疲勞劣化後之剩餘壽限評估技術。

b. 建立核電廠壓力槽鋼材腐蝕疲勞劣化之非破壞檢測評估技術。

c. 研究防制壓力槽鋼材腐蝕疲勞劣化或減緩鋼材腐蝕疲勞劣化速率之措施及技術(包含現有反應器水化學環境之改善等)。

4. 建立混凝土結構安全評估技術

整合非破壞檢測與電腦數值模擬技術，以建立核設施等特殊混凝土結構體全面性安全分析評估之能力，藉以提昇核設施之管制技術，確保核設施安全。

四、 建立數位化儀控系統之風險分析技術；建立安全相關系統數位化儀控應用軟體(Application Program, AP)之設計、發展與驗證技術能力；建立安全相關系統數位化儀控應用軟體之可靠度評估分析技術；建立工業用 PLC(Programmable Logic Controller, 即最簡化之數位控制器)於核能應用時之檢證、驗收及安裝技術能力。

參、計畫經費與人力

本計畫資源運用情形如下：

一、經費

1.預算控制情形

本計畫92年度預算經費為40,270千元，實際支用(含結報數、預付數、政策指示流用數) 40,249千元，支用比率99.95%。

2.資本支出預算控制結果

本計畫92年度資本門編列經費計25,933千元，實際支用25,941千元(由經常門流用8千元)，支用比率100%。

二、人力

1.人力運用量之控制效果

研究人員 級職分佈	研究員	副研究 員	助理研 究員	研究助 理	合計	人力運用量 之控制效果
預定投入 計畫人力 (人/月)	54	161	75	406	696	本計畫研究 人員朱水樹 退休，李後 龍、高家揚、 支援核四建 造期間授權 核能監查作 業，人力短少 二十四人 月，但在同仁 相互支援、共 同努力下，計 畫目標仍圓 滿達成
實際投入 計畫人力 (人/月)	54	137	75	406	672	

2. 人力運用質之控制效果

研究人員級職分佈	博士	碩士	學士	其他	合計	專長分佈及質之控制效果
預定投入計畫人力(人/月)	170	170	110	246	696	核工、材料、機械、資訊、電子、化工、化學、土木、原子能
實際投入計畫人力(人/月)	161	155	110	246	672	本計畫研究人員朱水樹退休，李後龍、高家揚、支援核四建造期間授權核能監查作業，人力短少二十四人月，但在同仁相互支援、共同努力下，計畫目標仍圓滿達成

肆、計畫已獲得之主要成就與成果(output) (如論文篇數、技術移轉經費/項數、技術創新項數、技術服務項數、專利項數、著作權項數等)

本期經費：40,270 仟元

項目名稱	權重(%)	分項指標	權重(%)	實際成效(單位)	成本相對指數(仟元/單位)
學術成就	1.5	期刊論文發表			
		期刊論文發表數 5 篇	0.8	2 篇	2,013.5
		研討會論文發表數 5 篇	0.7	1 篇 (摘要 3 篇)	3,523.6
人才培訓	0.8	研究助理培訓人數			
		碩士培訓人數			
		博士培訓人數 1 人	0.8	1 人	4,027

項目名稱	權重 (%)	分項指標	權重 (%)	實際成效 (單位)	成本相對指數 (千元/單位)
技術產出	1.3	發明專利申請數			
		新型、新式樣專利申請數 1 件	1.3	2 件	3,271.9
		新技術 / 品種引進項數			
知識服務	1.3	研討會 / 說明會次數			
		研究報告數 20 篇	1.3	25 篇	261.8
技術擴散與服務	1.5	專利授權			
		發明專利授權件數			
		發明專利授權廠商數			
		發明專利授權權利金額			
		新型、新式樣專利授權件數			
		新型、新式樣專利專利授權廠商數			
		新型、新式樣專利專利授權權利金額			
		技術轉移			
		技術轉移件數			
		技術轉移廠商數			
		技術轉移權利金額			
		專業服務			
		專業服務件數			
		專業服務廠商數			
		專業服務收入 11,800 千元	1.5	18,736 千元	0.4
衍生效益	1.6	合作廠商配合款金額			
		合作廠商參與計畫人員數			
		經濟效益			
		成立新公司或衍生公司 家數			
		增加投資額			
		增加生產值(減低組件受損 機率，增進電廠發電量及 營運收入)	1.6	符合預期 目標	8,054
		增加員工人數			

伍、評估主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome)

(請以學術或技術成就、經濟效益、社會效益以及其它效益等項目詳述)

一、學術或技術成就

學術成就：

1. 本計畫於92年度發表國外期刊2篇含(SCI)論文2篇，國內會議論文1篇，論文摘要3篇，其他所內INER研究報告25篇。
2. 建立爐內組件頂部導架之應力分析與安全評估流程，首先分析頂部導架在自重以及地震等動態負荷下之應力與內力分布情形，再依據內力值計算龜裂處之裂縫是否安全。
3. 於國內外著名的期刊發表2篇論文，探討SA533壓力槽鋼材之高週與低週疲勞行為與顯微結構變化，具學術價值。
4. 利用軟體評估與驗證技術，評估分析典型核儀控制系統更新效能改善，並應用於反應爐水位計算程式評估其軟體可靠度，以用於核儀控制系統更新之效能改善評估分析。
5. 發表儀控設計技術於第18屆台日核安會議，題目為「An Advanced Control Scheme Implemental At A Westinghouse Three-Loop PWR Feed Water Control System」。
6. 完成安全核儀控制系統應用軟體之發展導引與評估程序書撰寫。

技術成就：

1. 開發掃描檢測平台，製作渦電流檢測探頭，以檢測銦管氫化程度。
2. 完成不均勻充氫內部槽化試片室溫拉力實驗，進行氫化物重排實驗探討裂縫尖端氫化物轉向對銦管機械性質影響。
3. 加鋅及貴金屬添加係國內外BWR未來及目前最熱門及有潛力的研發及實用工作，核研所建立之添加設備將直接應用在這類相關研究上。
4. 電廠水質極微量雜質(ppb級)對其運轉有重要影響，建立線上檢測技術並配合相關參數的驗證是目前水化學研究上重要技術，包括分析及品保等方面，對電廠水質的優質維持是相當重要，且能縮小營運經費及健全的核安保全。
5. 建立極微量陰離子雜質鑑定技術，配合電廠導電度量測及陽離子雜質鑑定結果，比較量測與計算爐水導電度之差異值，以研判爐水pH

值範圍，提供爐水良好與否及改善水質依據。

6. 依據模擬水箱中進行水中掃描系統之測試結果，進行兩種新形式 (TOFD及P/E Type) 超音波探頭夾具設計之修改，可增加在超音波探頭行走距離及對探測表面高低起伏之容忍度。
7. 完成模擬器水質處理系統功能測試，測試結果合於設計需求並撰寫完成「水質處理測試報告」。
8. 配合國際管路完整性計畫(BINP)的執行，利用管路破壞分析與洩漏率評估軟體SQUIRT程式，針對不同的管節尺寸、裂縫大小完成總計46個案例分析工作。已進一步的由彈性分析推展到彈塑性分析，有效的計算含缺陷管路的安全餘裕。
9. 建立模擬電廠操作運轉之高溫高壓水媒環境測試技術。
10. 探討測試水溫(150 /245 /300)效應對鋼材疲勞壽限效應，SEM檢驗分析疲勞測試鋼材樣品斷面特徵，以評估劣化機制。
11. 建立多功多探頭非破壞檢測相關自動化判讀輔助軟體及硬體組立，同時透過委辦計畫案，完成多項功能測試。
12. 建立核能級PLC硬體設計與軟體驗證與確認能力。
13. 建立軟體可靠度評估方法與程式。
14. 建立核四廠ESF性能評估測試平台。

二、經濟效益

1. 由於本計畫厚植之實力，國外主要燃料廠家皆願與核研所合作共同發展，包括GE公司池邊檢驗技術移轉，與FANP公司共同進行台電燃料檢驗，與西屋公司共同分析ZIRLO燃料腐蝕數據。其他如協助GE公司鑑定控制棒受損等亦是熱室檢驗技術的表現。可靠度的提升，加強老化管理，減少電廠營運損失、減少核廢料與人員環境劑量，其中的經濟效益，十分可觀。
2. 本計畫完成核二廠兩個機組(#1第17燃料循環、#2第16燃料循環)穩定運轉及起動期間之數據庫建立，比較更換樹脂前後爐水 SO_4^{2-} 變化趨勢，達到抑低 SO_4^{2-} 2 ppb之目標，有效提升化學指標，減少營運費用。
3. 針對混凝土之主要種類，如核四廠圍阻體及結構常用之「Type II水泥、宜蘭骨材及含/不含飛灰」二型，建立80筆劣化混凝土圓柱試體

及48筆劣化混凝土小樑試體，並利用敲擊回波檢測頻域法及非耦合針式超音波獲得應力波傳速度資料，有效節省核四建廠混凝土檢測之費用。

4. 應用「軟體可靠度評估方法」於「核能級PLC」軟體可靠度評估，持續進行軟體品質評估與驗證，以自製之PLC應用於核電廠，節省外匯。
5. 建立DRS Plus32 PerformNet（核四廠ESF採用之控制架構）應用軟體發展與分析平台，完成安全控制器用於核四廠ESF系統功能展示/測試平台架構驗證；以核三廠7300控制系統數位化更新案為參考案例，進行現有類比控制系統更新為數位化系統後之效能評估；進行國內核設施安全儀控系統更新評估與可行性試驗，應用於台電核二廠控制棒位置指示系統更新評估與電路規格變更設計與試驗，這些技術皆為日後核四廠運轉之經濟效益，提供必要之助力。

三、社會效益

1. 建立本土化壽命安全管理及核儀控制技術，增進核能安全與可靠度。
2. 降低核電廠背景環境及人員劑量，減少核廢料產生。
3. 提昇公共工程安全品質，促進國家重大建設。

四、其它效益之評述：

1. 掌握核子反應器設施之技術能力，支援並嚴密核安管制，以確保核設施之運轉安全，免除國人對原子能應用之疑慮。
2. 建構本土化之安全管理策略，直接協助支援安全審查及擬定規範草案，以提昇核設施運轉安全。
3. 提昇燃料行為分析能力，協助原能會核管處進行燃料受損肇因分析。
4. 完成爐內組件技術資料庫，作為維修改善及安全管制之重要參考。
5. 建立疲勞壽限評估模式，提供原能會核安管制技術支援。
6. 積極支援原能會視察電廠大修，並完成核三廠7300系統數位化更新相關控制架構與性能分析。
7. 建立混凝土結構體檢測之基本能量，應用於支援核能安全管制及橋樑等重要結構體公共安全之維護。

陸、與相關計畫之配合

1. 建立有實際應用價值的審查工具和分析技術，其主要的限制條件是核能電廠特定組件之設計、材料規範、製程、運轉及破損經驗等相關資料之

取得；除協調原能會、台電公司協助外，尚須尋求適當管道，如 EPRI 及 BWRVIP 相關之國際會議，向國外蒐集並積極加入國際合作組織、進行合作研究或共享研究成果。

2. 本計畫的研究成果，希望能提供原能會做為核子反應器設施運轉安全所需的管制工具與技術基準，不但須以安全為首要考量，也要兼顧可行性。要突破此項限制條件，未來計畫執行時應特別注意，除須積極走訪核子反應器設施，實際瞭解掌握現場的問題與困難，避免紙上談兵外，更須定時邀集管制單位、核子反應器設施經營者及學者專家等座談研討，凝聚共識，俾使所研擬的策略、導則、指引均能真正反映現階段科技的進展，落實安全管制。
3. 有些問題有廠別特性，因此由其他廠獲得之資料或數據並不一定可以直接應用於某特定電廠，造成許多實務上的困難，此方面尚須經由台電公司與原廠溝通取得。
4. 確實掌握核一、核二廠執行加氫水化學運轉之時程，有利本工作之順利達成預期目標。
5. 為建立核一、核二廠銹垢輸送模型及水質改善技術，以協助原能會建立管制導則，除於電廠大修期間配合原能會任務外，相關水質資料蒐集及彙整須隨時賴台電核電廠之配合更新，方能順利達成計畫目標。
6. 在數位化儀控系統方面之建立檢證工業用 PLC 為核能級 PLC 技術上，如何完整取得該工業用 PLC 之軟體發展記錄以進行軟體 V&V，則需原設計廠商之配合。

柒、後續工作構想之重點

工 作 項 目	規 劃 內 容
(一) 控制棒完整性及燃料護套氫化與腐蝕特性研究 1. BWR 控制棒完整性評估 2. 銼管破壞韌性測量技術建立 3. 非破壞檢測燃料護套氫化程度之技術建立	澄清 BWR 控制棒受損機制 完成銼管破壞韌性測量技術與理論分析方法 均勻充氫試片氫化物含量測試

工 作 項 目	規 劃 內 容
<p>4.探討鉛管氫化物之排列與分佈對燃料護套機械強度與腐蝕性質之影響</p> <p>5.爐心水化學對燃料護套腐蝕之影響評估</p> <p>(二) 核設施水環境行為分析與水質改善技術研究</p> <p>1.建立爐內銹垢輸送模型</p> <p>2.建立 Post-UV-line IC 設備</p> <p>(三) 反應爐內部組件檢測與管路安全評估研究</p> <p>1.檢測技術研究</p> <p>2.安全評估技術研究</p> <p>3.實體模擬工程技術研究</p>	<p>均勻充氫試片、機械性能測試</p> <p>核燃料表面積垢分析</p> <p>完成數值模擬模型測試</p> <p>完成 Post-UV-line IC 設備採購</p> <p>1.完成多聲道超音波檢測系統功能改善</p> <p>2.完成核電廠爐內組件 IVVI 大修視察工作</p> <p>完成壓水式反應器頂蓋控制棒驅動機構，穿越管龜裂焊道之應力與破壞力學分析模式建立</p> <p>1.完成內部組件水中掃描系統功能改善</p> <p>2.完成檢測輔助工具功能測試及改善</p>
<p>4.管路安全評估研究</p> <p>(四) 壓力槽鋼材環境效應疲勞劣化行為研究</p> <p>1.水媒中壓力槽鋼材低週疲勞特性測試及裂縫生長速率量測</p> <p>2.水媒環境中疲勞壽限評估預測技術</p> <p>3.防制/減緩鋼材腐蝕疲勞劣化技術</p> <p>(五) 核設施混凝土結構體安全評估技術研究</p> <p>1.新式混凝土應力波陣列探頭之研發及與工法設計</p> <p>2.建立各型劣化混凝土材料應力波傳速度資料庫</p> <p>3.結構體安全分析用之整合型平台之應用</p> <p>4.建立核四土建相關之「混凝土材料波傳速度」及「敲擊回波檢測背景頻譜」基準值</p>	<p>1.完成假設性斷管造成管路揮擊電廠安全之影響評估報告</p> <p>2.完成含裂縫管之彈塑性破壞分析技術研究，建立工程評估法，以應用於核能電廠高能管之安全評估</p> <p>建立於各種反應器水化學環境下，壓力槽鋼材腐蝕疲勞劣化行為之評估技術</p> <p>建立腐蝕疲勞壽限預估技術</p> <p>建立防制及/或減緩鋼材腐蝕疲勞劣化技術</p> <p>完成設備研發及與工法設計</p> <p>完成應力波傳速度資料庫，建構土木非破壞檢測自動化判讀技術</p> <p>完成 FEM 數值分析系統，建立應力波傳模擬模組</p> <p>針對核四土建相關非破壞檢測基準，提出所內建議報告</p>

捌、檢討與展望

一、為讓計畫執行更切合實際需要，應增加赴現場與工作人員討論頻次。

水化學之研究目標物係核電廠，本年度計畫執行中因時間配合稍有缺失赴核電廠的次數及時機不足，有些問題需詳談以確定研究實驗之環境。未來在此方面當儘量配合現場，使研究成果能立即應用在現場。

二、放射性試片分析能力及精密儀具有待加強。

由於本研究在探討核電廠現場的爐內試片均有放射性，某些情形下輻射劑量很高，不但需要有專人負責，且計畫中現有的表面分析儀對高輻射試片有限制，未來將致力解決此方面的問題。國內隨著核能工業不景氣，國內的精密儀器大都用在非核環境，計畫執行成果若要能夠達到國外研發水準必需要具備專責在執行放射、輻射的貴重精密儀器中心。

三、水下焊道掃描機功能測試時發現：超音波探頭無法貼緊探測面，編碼器產生雜訊，焊道掃描機垂直方向運轉不順暢，已針對上述缺點進行改善。

水下焊道掃描機功能測試時發現：被探測面高低起伏過大，超音波探頭無法貼緊探測面；編碼器旋轉以度量超音波探頭行走距離，但編碼器外殼會因漏水而發生短路，產生雜訊；焊道掃描機垂直方向運轉不順暢，因水中雜質易附著於螺桿上，螺桿與螺帽間填充雜質，使螺帽旋轉困難。已針對上述缺點進行改善，改善方法為：超音波探頭背後加裝彈簧，使探頭可適度的伸縮；重新設計編碼器之防水外殼，並於殼內灌入高壓氣體；改善水質，修改螺帽增加其對雜質之容忍度。

玖、補充參考資料：93年2月24日向原能會評審小組簡報資料併附如后。

填表人：李瀛生 聯絡電話：(03)471-1400轉6609 FAX NO：(03)471-1409

原能會科技計畫成果績效評估報告

計畫名稱：核設施運轉安全技術提昇研究

主持人：李瀛生

審議編號：92-2001-14-05-01-35

執行單位：核能研究所

壹、本計畫主要成就貢獻

在國內已有三座核電廠運轉的情形下，各廠運轉之安全性與穩定性向為國人高度關注。而核研所以其豐富的研究實力，投入核電廠運轉安全技術提升之研究，更屬最重要的任務之一。本計畫在年度內已陸續達成了多項研發成果，摘要如下：

- 一、經由本計畫之執行，已建立核燃料安全運轉與管制方面之研發實力，國外主要燃料廠家皆有高度意願與核研所進行技術合作交流。包括
 - 1.與 FANP 公司共同進行台電燃料檢驗。
 - 2.與西屋公司共同分析 ZIRLO 燃料腐蝕數據。
 - 3.協助 GE 公司鑑定控制棒受損肇因分析。
 - 4.銦管充氫與破壞韌性測量技術居世界領先地位，獲美國電力研究所 (EPRI) 主導之 NFIR 計畫委託工作，執行銦合金氫化與機械性能測量研究，並參加國際銦合金破壞韌性 round robin 測試。
- 二、在水化學方面，本計畫建立電廠穩定運轉及起動期間之水質數據庫，達到抑低 SO_4^{2-} 2 ppb 之目標，有效提升化學指標，減少核廢料與人員環境劑量，進而減少營運費用。
- 三、針對爐內組件檢測之問題，已建立 BWR 爐心側板之模擬及相關檢測系統(包括自動超音波及機械裝置)，除申請專利外，亦完成人員訓練與檢測程序書制定，現階段積極參與協助台電電廠大修工作。
- 四、在混凝土檢測方面，本計畫發展之敲擊回波法除應用於基樁、橋樑及機場跑道等公共工程外，亦針對混凝土之主要種類，如核四廠圍阻體及結構常用之「Type II 水泥、宜蘭骨材及含/不含飛灰」二型，建立劣化混凝土圓柱試體及劣化混凝土小樑試體，並利用敲擊回波檢測頻域

法及非耦合針式超音波獲得應力波傳速度資料，有效節省核四建廠混凝土檢測之費用。

五、應用「軟體可靠度評估方法」於「核能級 PLC」軟體可靠度評估，持續進行軟體品質評估與驗證，預期以自製之 PLC 應用於核電廠，節省外匯。

綜合上述說明，本計畫有相當優異之研發成果，對強化國內各核電廠運轉安全及穩定性，有顯著貢獻。

貳、計畫經費與人力運用

本計畫預算經費為40,270千元，實際支用(含結報數、預付數、政策指示流用數) 40,249千元，支用比率99.95%。資本門編列經費計25,933千元，實際支用25,941千元(由經常門流用8千元)，支用比率100%。另研究相關人員之職級分佈及學歷專長分配皆屬適當，在質與量的控制方面，亦相當良好。

參、評估主要成就及成果之績效 (outcome)

(評估主要成就及成果之價值與貢獻度)

(分就學術或技術成就、經濟效益、社會效益以及其它效益；並以五等第評量 5 為優 4 為良 3 為可 2 為稍差 1 為劣)

4學術或技術成就；5經濟效益；5社會效益；5其它效益

1. 學術或技術成就評述：

依核研所自評報告書中學術或技術成就敘述，並經評審小組實地審查及討論結果，本項績效良好。建議在對國內外發表成果論文方面更加強化，以展現核研所在核能安全領域之研發實力。

2. 經濟效益評述：

依核研所自評報告書中經濟效益敘述，並經評審小組實地審查及討論結果，本項績效優異。

3. 社會效益評述：

依核研所自評報告書中社會效益敘述，並經評審小組實地審查及討論結果，本項績效優異。

4. 其它效益評述：

依核研所自評報告書中其它效益敘述，並經評審小組實地審查及討論結果，本項績效優異。

肆、綜合意見

- 一、本計畫之執行對國內核燃料安全運轉與管制方面有相當顯著之貢獻，而利用本計畫所衍生之實力，亦吸引國外主要燃料廠家強化與核研所合作交流，對建立本土化技術，有正面效益。
- 二、數位儀控方面之工作，不但未來在核能相關領域可能將有相當大之需求，在國內其他產業方面也可能將有許多應用之潛力，此方面之工作可有相當大的發揮空間。
- 三、由於本計畫偏重在核電廠運轉實務安全性方面研究，如何將研究成果有效回饋到核電廠實際操作的第一線工作人員或安全管制單位，並回收其實務方面之改進意見，可列為未來計畫執行應注意的層面。

伍、績效評量： 優 良 可 差 劣

綜合上述效益，審查評估小組評定本計畫 92 年度績效評量應列為「優」。

評估委員：周懷樸、蕭信堅、翁炯立、陳文芳、吳慶陸、唐健

評估時間：93 年 2 月 24 日