



2020

109 年度 | 行政院原子能委員會暨所屬機關
研究計畫成果彙編 下冊

行政院原子能委員會 編印

參

輻射安全與民生應用



一、原子能科技國際發展趨勢 及我國發展策略之研析

計畫單位：綜合計畫處

Research on the International Trend of Atomic Energy Technology and Develop- ment Strategy in Taiwan

Execution Unit : Department of Planning

Abstract

This plan aims to investigate the trend of the international science and technology of atomic energy and deliver a strategy for research and development. We conduct assessments for nearly fifty atomic technology groups for peaceful uses of atomic energy, and derive technology strategic priorities for eight fields through the expert panel method. Research results can be referenced to propose a detailed strategic plan to promote the peaceful uses of atomic energy. We also make popular science textbook to improve public understanding of atomic energy technology.

We also survey the international trend of nuclear regulatory framework, nuclear contribution to electricity generation, and public attitudes to nuclear power and policy of America, European Union, Canada and Australia. Besides, we also refer experiences of performing nuclear safeguard tasks among European Atomic Energy Community (Euratom) established by the European Union, Japan and South Korea, and propose a feasible analysis and implementation strategies based on the status of Taiwan.

(一)摘要

本計畫藉由探討國際原子能應用發展趨勢，整理逾 50 種民生應用相關之原子能技術群組，並透過專家學者座談會探討民生應用 8 大領域值得優先投入的技術群組，作為我國未來原子能科技策略規劃之方針基礎，以推動原子能科技醫學、農業及工業應用，並將研究成果製成教材以推廣原子能科普；研析美國、歐盟、加拿大及澳洲等國核電使用狀況、民意趨勢、核能管制架構及運作模式等資訊，作為我國民眾溝通及國際合作推動之政策參考，並借鏡歐盟歐洲原子能共同體、日本及南韓核子保防體系，根據我國環境與條件，提出本土核子保防實施策略建議。

(二)計畫目標

掌握國際原子能科技發展趨勢，擬訂符合國情之原子能科技民生應用發展策略藍圖，並推廣國內原子能科學教育；借鏡國際核電民意趨勢及保防制度，作為我國國際合作及民眾溝通之參考，並強化自主核子保防能力。

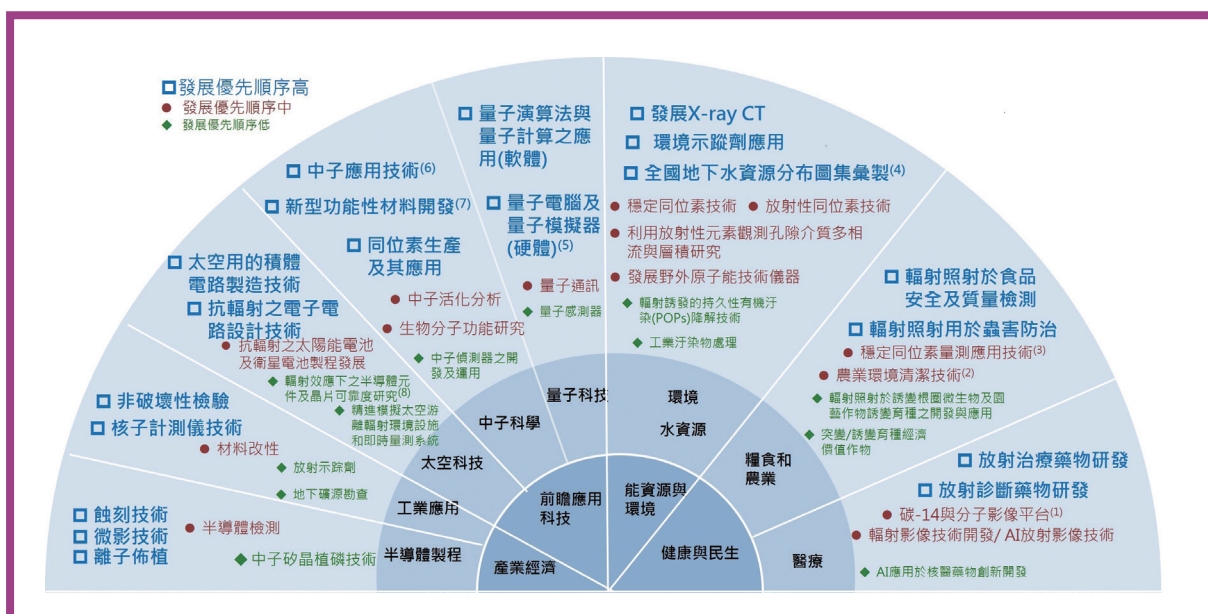


圖 1 原子能科技民生應用發展策略藍圖。

(三)重要成果

1. 整理歸納逾 50 種民生應用相關之原子能技術群組，並邀請國內專家學者計 34 名就產業經濟、前瞻應用科技、能資源與環境、健康與民生等面向技術群組進行盤點，提出合於國情之原子能科技民生應用發展策略藍圖(圖 1)，作為我國未來原子能科技推動策略及技術發展之方針基礎。
2. 於 3 場原子能科普展覽推廣原子能民生應用科學教育，包含場地籌備規劃、展示攤位設置等，累積參觀人次達 15,854 人次(圖 2)，並運用研究成果製作桌遊教材「中子咻咻咻」(圖 3)。



圖 2 原子能科普展推廣民眾原子能科學教育。

3. 研析美國、歐盟、加拿大、澳洲之核能監管體系及運作模式，核電使用狀況及民意趨勢等資訊，綜整相關成果提供政府國際交流及民眾溝通之參考。
4. 進行日本、韓國與歐盟之核子保防法規體系及組織運作研究，並就強化我國自主保防能力，提出修法建議及人員培訓等具體作法，有助強化國內核子保防體系，並減少國際核子保防費用等相關支出。

(四) 展望

因應我國原子能科研轉型所需，除已借鏡國際原子能總署科研推動重點及盤點國內產業發展趨勢，並徵詢專家學者意見，就醫療、糧食和農業、環境水資源、量子科技、中子科學、太空科技、工業應用及半導體製程 8 大技術領域，提出原子能科技民生應用發展策略藍圖，未來可基於此策略藍圖，結合產業創新、六大核心戰略產業等重點政策，進行相關技術領域之專利分析及產業趨勢調查，俾利後續原子能科研轉型之推動及先期技術建立。



圖 3 科普桌遊展具「中子咻咻咻」。

二、原子能民生應用與新南向政策願景規劃

計畫單位：綜合計畫處

Research on Peaceful Uses of Atomic Energy and the Strategic Vision to New Southbound Policy

Execution Unit : Department of Planning

Abstract

Atomic energy technology has widely enhanced livelihood through promoting nine of the seventeen Sustainable Development Goals (SDGs). The nine SDGs include: zero hunger, good health and well-being, clean water and sanitation, affordable and clean energy, industry, innovation and infrastructure, climate action, life below water, life on land, partnerships for the goals. This project collects peaceful uses of atomic energy including medical, agricultural, industrial and other fields in India, Indonesia, Malaysia, Singapore, Thailand and Vietnam.

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

(一) 摘要

原子能科技民生應用廣泛，可充分應用在消除飢餓、確保健康及福祉、水的衛生及其永續管理、可負擔的清潔能源、工業創新與基礎建設、減緩氣候變遷之措施、確保海洋資源、確保陸地生態系統及發展夥伴關係等聯合國永續發展目標 (SDGs) 上。本計畫蒐集印度、印尼、馬來西亞、新加坡、泰國及越南等 6 個國家的原子能科技發展與應用，涵蓋醫療、農業、工業等領域。而新南向政策推動原子能科技合作方面，因醫療領域是我國強項之一，為現階段與該 6 國原子能科技合作建議的優先可行方向，如放射診斷藥物、放射治療藥物及輻射影像技術等。後續可善用各部會現有之交流平台及合作中心，並開放游離輻射標準實驗室、輻射照射廠，以進行原子能科技的技術交流、培育專業人才及區域市場鏈結。

(二) 計畫目標

政府於 105 年展開推動「新南向政策」，涵蓋國家有東協 10 國、南亞 6 國及紐澳等，其中印度、印尼、馬來西亞、新加坡、泰國及越南 6 個國家與我國經貿交流更為密切；故本計畫以此 6 國為目標，蒐集國際原子能科技應用於永續發展目標及該 6 國原子能研發與應用現況資訊，研擬後續政府推廣原子能國際合作之可行性建議。

(三) 重要成果

1. 原子能科技應用廣泛，依國際原子能總署近年推動原子能和平運用成果顯示，其可充分應用在消除飢餓、確保健康及福祉、水的衛生及其永續管理、可負擔的清潔能源、工業創新與基礎建設、減緩氣候變遷之措施、確保海洋資源、確保陸地生態系統及發展夥伴關係等 9 項永續發展目標上 (圖 1)。

2. 在有限資源下，可先行善用各部會現有之交流平台及合作中心，例如醫衛新南向產業e鏈結之一國一中心、新南向科研合作專網的海外科研中心等，進行原子能科技的技術交流、培育專業人才及區域市場鏈結等（圖 2）。
3. 醫療領域是現階段與新南向六國原子能科技合作的優先可行方向，如放射診斷藥物、放射治療藥物、輻射影像技術等，具推廣與持續研發之雙重效益，而我國可發生游離輻射設備治療已有相當醫療品質保證基礎，尤其近年興起之質子治療，或有助促成雙方未來技術交流及醫療互助之可能。
4. 進行雙方相關實驗室之設備建置、技術及人員互相交流，例如我國國家游離輻射標準實驗室可和印度、印尼、馬來西亞、泰國之游離輻射標準實驗室彼此的能力比試、放射治療之劑量標準與校正等技術交流，我國輻射照射廠亦可和印度、印尼、馬來西亞、泰國、越南之輻射照射廠技術交流與觀摩，特別是新南向國家其農糧保存、蟲害防治、檢疫滅菌及品種改良等。
5. 在區域議題之共同研究上，如海洋放射性物質擴散模式與調查可藉由科研合作專網與新南向國家進一步合作，此外，核能研究所微電網供電系統、生質精煉等技術亦可成為推動新南向的合作議題。



圖 1 國際原子能總署推動永續發展目標。(引用自國際原子能總署網站，<https://www.iaea.org/>)

(四) 展望

本計畫已蒐集政府新南向政策中印度、印尼、馬來西亞、新加坡、泰國及越南六國原子能民生應用資訊，並提出運用政府既有平台推動交流以及建議合作事項，包含醫療、實驗室交流及區域議題合作研究等，可作為原能會未來透過政府、學研機構及民間平台持續推動合作交流之參考。

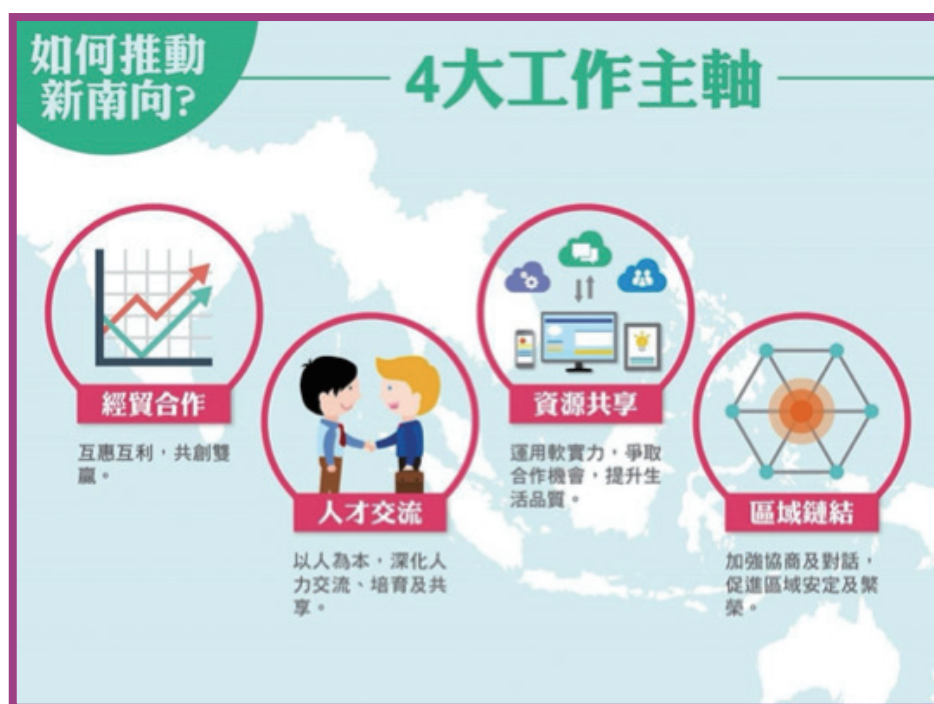


圖 2 政府新南向政策工作主軸。
(引用自新南向政策專網, <https://newsouthboundpolicy.trade.gov.tw/>)

三、國內輻射工作人員劑量評 定機構管制技術精進

計畫單位：輻射防護處

Improve the quality control of radiation workers' dose assessment agencies in Taiwan

Execution Unit : Department of Radiation Protection

Abstract

The personal dosimetry laboratories in Taiwan follow their own calibration management of personal dosimeters. In this study, we executed the on-site visit and blind test for personnel dosimeters quality performance for evaluation on quality control management improvement.

We survey 8 personal dosimetry laboratories in Taiwan, including a questionnaire for business information and inspect with random sample selection. The samples were sent to standard laboratory for irradiation and sent back to their own facilities for radiation dose conversion.

The personal dosimeters laboratories held the qualifications of TAF certification. The results of statistical analyses showed that there were no significant difference ($p>0.05$) between dose deviation and influence by usage year or reading history.

For abnormal events, each facility followed the notification process with records keeping. We also recommended that the blind test can provide the routine performance test for checking the management quality of dosimetry laboratories.

(一) 摘要

國內輻射工作人員劑量評定機構，其人員劑量計的校正管理方面有所不同，本研究針對各評定機構，進行臨場訪視及佩章隨機盲樣測試，並評估管制技術精進之模式。訪查國內 8 間人員劑量評定機構，包含業務與佩章資訊之書面問卷，由研究人員前往各機構進行訪察與樣本隨機抽選。國家游離輻射標準實驗室進行所取樣之佩章照射後，回送佩章至原機構，並進行其照射劑量值判讀。

人員劑量評定機構皆符合 TAF 品質認證。盲樣測試結果，第 I 類及第 II 類之能力評估結果皆通過規範值。劑量偏差之統計檢定，在相異使用年度及計讀紀錄皆無達到顯著水準 ($p>0.05$)。人員劑量評定機構符合 TAF 品質認證，各單位對劑量異常事件，皆有遵循通報流程與明確記錄備查。本計畫之小型盲樣測試，可做為測試各機構常規能力試驗之穩定性，確保該機構計測品質。

(二) 計畫目標

確保輻射工作人員所受職業曝露之合理抑低，應對輻射工作人員實施個別劑量監測。可透過全面定期訪查進行即時追蹤，得知國內評定機構所使用人員劑量計之不確定性。本研究進行下列各項工作：

1. 舉辦人員劑量評定機構管制精進作業會議；
2. 訪查人員訓練；
3. 進行個人加馬劑量佩章盲樣測試；
4. 訪查劑量評定機構之品管作業。

本研究確保輻射工作人員健康，並提升國內輻射工作人員劑量監測品質，研析國際劑量評定機構管理制度、研究及精進，劑量監測服務機構之個人加馬劑量佩章評定作業、並調查國內人員劑量評定機構計讀品質差異，提出對評定機構管制精進技術建議等，供主管機關進行核子反應器設施除役管制之作業參考。

(三) 重要成果

依據本研究調查結果，國內人員佩章具備足夠數量支援現役輻射工作人員監測業務，且透過此次訪視，8間評定機構之實驗室配置皆符合主管機關管理規範及TAF品質認證，各單位對劑量異常事件皆有遵循通報流程與明確記錄備查。本研究盲樣測試，顯示各單位皆符合能力測試之通過標準。而對樣本進行進階統計結果，樣本佩章使用年度及計讀次數相對於劑量誤差，基於各單位對自有佩章進行定期校正，於此無顯著影響的結果。有關評定機構管制精進建議包括：

1. 現行TAF舉辦之定期佩章能力試驗結果具指標意義，建議管制機關促使劑量評定單位繼續參與。
2. 於TAF試驗之週期內(3年)，或是評定機構發生異常劑量事件時，建議可安排如本計畫模式之小型盲樣測試進行即時性能力評估，確保該機構品質管理水準。
3. 對於劑量佩章於各劑量範圍能力驗證，第I類劑量建議以TAF定期試驗結果作代表，第II及第III類等，則可用盲樣測試作為補充驗證
4. 對於劑量紀錄缺失事件，評定機構應確實調查一切原由，例如與佩章使用端的溝通誤解或是佩章遺失所導致，並明確記錄案發狀況回報主管機關。

(四) 展望

本研究可延伸至第III、IV類射質之人員劑量佩章盲樣測試，執行模式部分，參考各參與單位提供實務性建議，以精進整體流程規劃。亦可配合肢端劑量計能力測試之推廣，進行盲樣測試，以加強品質管控能力。

四、海陸域環境輻射調查及國民輻射劑量評估

計畫單位：輻射偵測中心

Environmental radioactivity survey of marine and coastal area and population dose assessment of Taiwan

Execution Unit : Radiation Monitoring Center

Abstract

After Fukushima accident, more and more people care about the radiation around our living area and impact of marine ecosystem. For the health of Taiwanese people, this project promotes Taiwan sea area radiation monitoring and population dose assessment. Seawater, marine organisms and cumulative samples (shore sand and seabed sediments) were used as the main analytical samples, and Cs-137 was selected as the key nuclide for investigation. The project started from 2019, it establishes and refreshes a radiation background database to improve the environmental radiation background of Taiwan, and then grasp the trend of the impact of radioactive wastewater discharge from the Fukushima nuclear accident and the other nuclear power plants on Taiwan sea area to ensure radiation safety. Population dose assessment confirmed medical dose due to computer tomography and mammography examination, cigarette smoking and ingestion of Cs-137. Other radiation sources like external and internal radiation dose from terrestrial gamma, cosmic ray and foodstuffs are continue reassessed.

(一)摘要

日本福島事故後，民眾對於環境的輻射劑量與輻射對海域的影響更為關注。本計畫推動台灣海域輻射監測調查與國民輻射劑量評估，以海水、海生物及累積試樣（岸沙及海底沉積物等）為主要分析樣品，並選擇銻-137 為調查分析之關鍵核種；另就國民輻射劑量主要來源，規劃重新調查。109 年延續 108 年規劃內容執行，持續建立台灣海域輻射背景資料庫並健全台灣海陸域環境輻射數據，進而能了解放射性廢水對台灣海域影響及變化趨勢。109 年的國民輻射劑量評估作業，已完成醫療輻射中電腦斷層與乳房攝影之劑量評估以及吸菸行為造成國人輻射劑量評估等，並持續進行職業曝露、體外輻射劑量與食品攝入體內劑量重新評估作業。

(二)計畫目標

原能會為我國輻射及核能安全的管制監督機關，以保障民眾、環境及輻射工作人員之輻射安全。為了能讓民眾能夠瞭解環境輻射的現況，達到監測資訊透明化的目的，本計畫分為兩個分項計畫，分別為海陸域環境輻射調查與國民輻射劑量評估，逐年進行環境樣本調查、取樣及分析，以得到完整之環境輻射資訊及評估國民輻射劑量。

(三)重要成果

1. 成果之重要貢獻

(1)海陸域輻射調查

- I. 調查結果顯示臺灣海域海水之銻 137 於水下 200 至 400 米處略高其他水層，但皆在背景變動範圍內。
- II. 109 年完成海水試樣 312 件（含海水氣試樣 115 件）、海生物試樣 188 件及沉積物試樣 83 件，總計 583 件之取樣及放射性分析，自 106 年起累積海域樣品數量達 1,530 件。研究成果顯示臺灣海域環境目前無輻射安全之疑慮。

III.109 年度本計畫加強執行「台灣海域氬輻射背景調查計畫」，建立台灣海域氬輻射背景資料。

IV.109 年完成台灣北部山區土壤樣品 107 件之放射性分析，以健全台灣輻射地圖資料庫。

V.109 年完成台灣西部農特產品（稻米）20 件之放射性分析，以提供國民輻射劑量估評之參考。

(2) 國民輻射劑量調查

I.醫療輻射劑量評估部分，完成健保資料庫人數趨勢，自 89 年至 106 年各類別均呈成長趨勢，以非心臟類介入性透視與核醫成長幅度最大；電腦斷層與乳房攝影之國民輻射劑量評估結果分別為年劑量 0.76 毫西弗與 0.0041 毫西弗。

II.完成南橫公路、北橫公路高山區域與綠島、金門等離島地區之環境背景輻射量測作業，量測數據納入國民輻射劑量體外劑量評估模式微調之參考。

III.體內劑量評估部分，完成評估銻-137 核種攝食造成國民輻射劑量為每年 1.18×10^{-4} 微西弗。

IV.彙整完成 84-108 年「全國輻射工作人員劑量資料統計年報」職業曝露劑量之整理，國民輻射劑量評估採 104-108 年共計五年數據為每年 0.234-0.366 微西弗，後續將納入其他年份資料進一步探討。

V.民生消費部分，彙整衛福部國健署所提供國民吸菸行為習慣調查資料，推估吸菸所造成年劑量 0.049 毫西弗。飛航輻射劑量部分，已彙整 104-108 年各機場國際與兩岸航線人次資料，初步排序建議進行約 50 條國際航線與 10 條

兩岸航線之劑量評估，方能涵蓋旅客人口 90% 以上，後續將就飛航行為相關參數進行探討，以獲得客觀的飛航劑量評估結果。

2. 學術成就方面

2020 年(第 34 屆)環境分析化學研討會發表「海水中氙分析方法探討」、「台灣海域海水銫-137 分析方法探討」及「淡水總貝他分析方法之精進」論文共三篇。

(四) 展望

109 年度調查結果顯示臺灣環境無輻射安全之疑慮，110 年將參考近年海陸域調查結果，擬定滾動監測策略，並將調查結果以 OPEN DATA 方式公開資訊供民眾有效利用。國民輻射劑量評估將持續進行地表與宇宙輻射劑量格距較大區域進行量測，也將持續對於民眾關切之燃煤電廠、肥料、貓砂等分析評估，以及持續完成飛航輻射與國人醫療輻射劑量評估。

表 1 臺灣鄰近海域樣品加馬能譜分析結果

	海水 (Bq m-3)	沉積物 (Bq kg-1)	海生物 (Bq kg-1)
銫 -134	-	-	-
銫 -137	0.68~2.22	0.06~0.82	MDA ~0.61
氙	-	*	*

- 註：“-”表示小於最低可測活度 (MDA，海水 Cs-134 MDA=0.5 Bq m⁻³、海水氙 MDA=2.03Bq L⁻¹、沉積物 Cs-134 MDA 值為 0.09 Bq kg⁻¹，海生物 Cs-134 MDA=0.03Bq kg⁻¹，海生物 Cs-137 MDA=0.04Bq kg⁻¹)，"*"表示未檢測。

五、台灣海域輻射背景調查計畫

計畫單位：輻射偵測中心

Study of radiation background in sea water surrounding Taiwan

Execution Unit : Radiation Monitoring Center

Abstract

This project assisted in collecting seawater and sediment samples surrounding Taiwan by the group led by the National Sun Yat-sen University during 2020. The Atomic Energy Council Radiation Monitoring Center collected marine biota and measured the activity of natural and anthropogenic radionuclides of all samples. Our group identified the marine biota. Physical models and oceanic chemical parameters were used to assess the influence of coastal currents surrounding Taiwan on the distribution of the activity of radionuclides.

The range of Cs-137 activity in seawater surrounding Taiwan was within the criteria of survey value (2000 Bq m^{-3}). The activity of short half-time Cs-134 was lower than the detection limit (0.5 Bq m^{-3}). The primary Cs-137 peak was in seawater at 200 to 300 m depth. The temperature and salinity characteristics of primary Cs-137 peak were consistent with the ones of Subtropical Mode Water. But the relationship between them needs further investigation. The secondary Cs-137 peak in the surface waters during 2018 and 2019 was unclear in surface waters taken this year. In addition, the Cs-134 activities of marine biota samples, including fishes and shrimps, were lower than 0.61 and 0.09 Bq kg^{-1} , respectively. Cs-137 activities in sediments and sands were lower than 0.82 Bq kg^{-1} . The strategy of long-term monitoring strategy is to identify the primary peak along the vertical water column and follow the depth of the primary peak to find its horizontal distribution later. If an abnormal peak were observed, the strategy is to trace its source and follow its dispersal distribution.

(一) 摘要

本案於民國 109 年之分工合作方式為：由國立中山大學團隊透過研究船順道採集海水樣品(含 200 公尺以深之海水)、海底沉積物、以及柱狀岩心；由原能會輻射偵測中心協調相關單位採集海洋生物、表層海水，並計量上述所有樣品中天然[主要為鉀-40(K-40)]及人工放射性核種[銫-137(Cs-137)、銫-134(Cs-134)]。爾後中山大學團隊接續海洋生物鑑定、並配合海洋物理模式、海洋化學參數進一步分析上述採集之海水可能來源，並提供資料庫查詢。

109 年度台灣鄰近海域中人工放射性核種(Cs-137 以及 Cs-134)之放射性活度皆小於調查基準值(2 貝克/升)。海水 Cs-134 測值皆低於偵測極限(0.5 毫貝克/升)。主要的 Cs-137 峰值於 200~300 公尺之深水(≤ 2.2 毫貝克/升)，透過前人文獻、海洋物理資料、海洋化學之水團分析以及主變量分析，結果初步顯示，Cs-137 之主要峰值與亞熱帶典型水團(Subtropical Mode Water)之特徵一致，但兩者間之關係仍待進一步調查。相較於前兩年發現在表層海水發現 Cs-137 次峰值，今年度該特徵則不明顯。海洋生物中，魚之 Cs-137 數值皆小於 0.61 貝克/公斤，蝦則小於 0.09 貝克/公斤，海底沉積物以及岸沙中的 Cs-137 數值皆小於 0.82 貝克/公斤。團隊並提出未來長期監測之執行策略，建議先確認「放射性核種在海水垂直分布中之極大層」之深度範圍，再依照該深度尋找其水平分布。若監測發現異常極大值，則採溯源追蹤或後續擴散等兩種形式調查。

(二) 計畫目標

本計畫目標在臺灣鄰近海域執行海水、海底沉積物及海生物等取樣工作，其中海生物樣品由原能會輻射偵測中心協商跨部會單位協助採樣，以完成臺灣周遭海域輻射狀況之基本調查。本案並以洋流、氣候、季節等資訊，設計模式研判中國沿岸核電廠與日本福島事故所排放之放射性核種漂流至臺灣海域之可能情形，藉此科學理論依據以選定最適之輻射監測取樣站位等項目，規劃長程輻射監測調查計畫。

(三) 重要成果

1. 說明研發成果之重要貢獻

(1) 樣品分析結果：無異常。

109 年度本計畫中臺灣鄰近海域之監測結果如表 1，海水及沉積物之人工放射性核種 Cs-137 分析結果皆低於原子能委員會「環境輻射監測規範」之紀錄基準值（水樣為 $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ；沉積物為 $3 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）；Cs-134 活度則都低於偵測極限 $0.5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 。根據衛福部食藥署規定，食品之 Cs-134 及 Cs-137 總和需低於 $100 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，而本計畫海生物之計測結果皆遠低於標準值。

(2) 特徵分析

本研究透過 Cs-137 活度對密度關係圖，企圖了解 Cs-137 在本海域及鄰近海域水團特性之關係，並使用 2016 年福島海域之文獻資料（日本平成 28 年度原子力施設等防災対策等委託費事業調査報告書），進行比較。結果顯示 2020 年在臺灣鄰近海域中 Cs-137 之相對高值來自於 $\sigma\theta$ 大約 $24.5\text{-}26.15 \text{ kg m}^{-3}$ 之特徵水團（深度約 125-400 公尺深之間）。 $\sigma\theta$ 高於 26.2 則來自於更深水層（例如 $\sigma\theta=26.98 \text{ kg m}^{-3}$ 來自於 600 公尺深），其 Cs-137 活度則降低。本研究結果得到之 Cs-137 高值之 $\sigma\theta$ 特徵與福島海域之文獻資料相近，也與歷年分析結果相近（圖 1）。Subtropical Mode Water (STMW) 為北太平洋渦旋中靠近西北太平洋一帶，水團 $\sigma\theta$ 介於 25.0 至 25.6 kg m^{-3} ，該水團與臺灣鄰近海域間之關係仍有待進一步釐清。

表 1 臺灣鄰近海域水深 1 至 1000 公尺海水、沉積物及海生物計測結果。

	海水樣 ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)	沉積物 ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$)	海生物-魚 ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$)	海生物-蝦、蟹 ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$)	海生物-貝、藻 ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Cs-134	-	-	-	-	-
Cs-137	0.72~2.20	< 0.82	< 0.61	< 0.09	-
樣品數	197	83	115	12	6

- 註：“-”表示小於最低可測活度（MDA，海水 MDA 值 Cs-134 為 $0.5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ，Cs-137 為 $0.5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 。沉積物 MDA 值 Cs-134 為 $0.10 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，Cs-137 為 $0.05 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 及海生物 MDA 值 Cs-134 為 $0.03 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，Cs-137 為 $0.04 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）。
- 註：樣品數為本計畫及跨部會採樣數量之總和。

(3) 資料庫建置與網頁展示

為求有效將調查及研究成果與參與研究人員、委辦單位分享，本計畫設置一個資料庫平台網站，網頁網址為 <http://aecmr-ocean.nsysu.edu.tw/AES>。該平台也整合衛星雲圖、MODIS 衛星、海水表面溫度等觀測資料及HYCOM 模式，可將觀測及分析結果以圖像方式展現(圖 2)，亦可模擬輻射物質漂流軌跡(圖 3)。

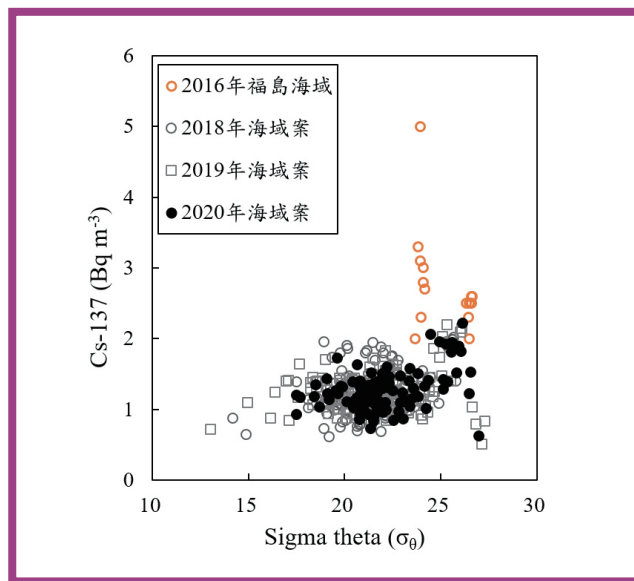


圖 1 臺灣鄰近海域各深度海水之 Cs-137 活度與密度圖。

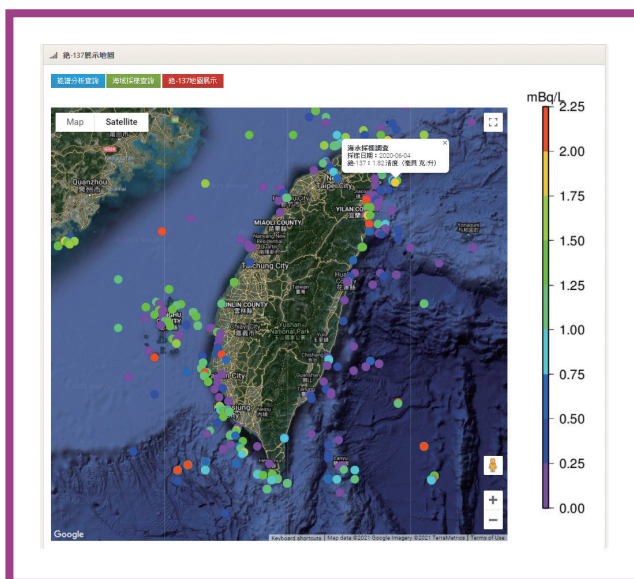


圖 2 能譜分析結果 (Cs-137) 地圖展示。

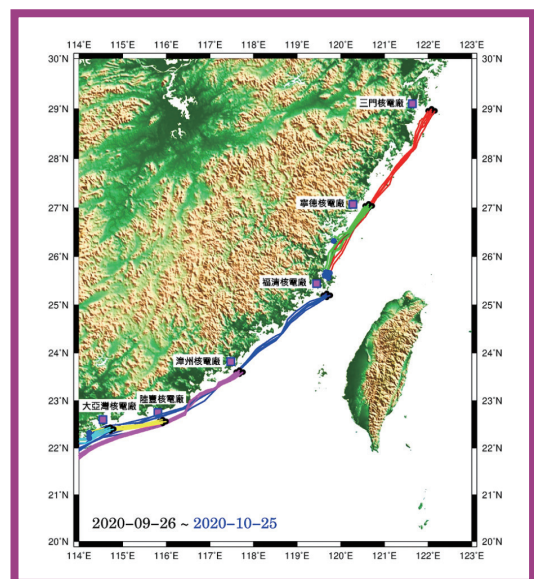


圖 3 HYCOM 模式模擬漂流軌跡。

2. 學術成就方面，109 年度本計畫於 109 年地質年會發表 107-108 年度之計畫成果，題目為：Spread of Radiocesium to the Taiwan Strait and the Kuroshio east of Taiwan from 2018 to 2019。

(四) 展望

經過本案三年多來之調查，本年度（民國 109 年）與前兩年之差異主要為：第一、東北區深層水的 Cs-137 高值略為下降，而西南區之深水高值則略為上升；第二、整體而言，表層水的次高峰值較難在今年觀察到。儘管主要的特徵-主峰值-仍然相同，然而三年來的空間變異，顯示出未來仍有值得持續調查的需要。本案除了對民生有助益之外，也將對臺灣沿近海如何受鄰近洋流影響做出貢獻。未來長期監測之執行策略，建議規劃海水樣品採樣時先確認「極大層」之深度範圍，再於該深度尋找水平分布。各監測站建議採垂直採樣分布之形式，並依深度或海水密度 ($\sigma\theta$) 分佈採集水樣。若監測發現異常極大值，則採溯源追蹤或後續擴散等兩種形式調查。



六、國民醫療輻射劑量調查研究計畫

計畫單位：輻射偵測中心

Investigation on Medical Radiation Exposure of the Taiwan Population

Execution Unit : Radiation Monitoring Center

Abstract

In this project, we propose to investigate the medical radiation exposure of the Taiwan population via accessing National Health Insurance Research Database to get medical-exposure population, recording parameters of diagnostic examinations in sampling hospitals, measuring radiation beam characteristics and outputs, developing dosimetric models for eight types of medical exposure, evaluating the effective doses for each examining protocol, and deriving the collective dose. The survey will include eight types of medical exposure, such as computed tomography, nuclear medicine, cardiac interventional fluoroscopy, angiographic interventional fluoroscopy, conventional fluoroscopy, conventional radiography, mammography, and dental x ray, and at least 51 examinational protocols. Finally, we will propose a database of the Taiwan population dose from medical exposure, and establish a website to provide people to look up the dose level of examinational protocols of interest.

(一) 摘要

本研究計畫透過下列程序來完成國民醫療輻射劑量調查研究：分析全民健康保險研究資料庫統計數據來調查台灣的醫療曝露人口；記錄抽樣醫院的檢查項目輻射參數與測量輻射輸出；針對 8 種醫療輻射類別（電腦斷層、核子醫學、心臟類介入性透視攝影、非心臟類介入透視攝影、傳統透視攝影、一般傳統 X 光、乳房攝影和牙科攝影）及其相應的 51 個檢查項目，依各檢查項目的醫療曝露模式分別開發劑量評估模型；評估每個檢查項目的有效劑量，並配合調查醫療曝露人口資訊，以得到集體有效劑量；最後，依台灣總人口數推算 8 種醫療輻射類別的平均國民醫療輻射劑量。

109 年已執行完成的工作項目：(1) 健保資料庫的人數趨勢評估：8 種類別的平均年增率（89 年至 106 年）皆為正成長，其成長範圍為 0.01%~8.2%，以非心臟類介入性透視攝影成長 8.2% 最為明顯；(2) 針對 48 個類次分別進行醫院檢查序列調查之取樣：自 108 年開始至 109 年取樣所累計的病例數已達 64,444 筆臨床資料；(3) 4 種類別下（電腦斷層、核子醫學、一般傳統 X 光、乳房攝影）完成 26 個檢查項目合計 72 個劑量評估模型；(4) 推算集體有效劑量（以現有數據進行估算，未來此數據會再更新）：電腦斷層之台灣國民平均年劑量估算約為每人每年 0.76 mSv，乳房攝影之台灣國民平均年劑量估算約為每人每年 0.0041 mSv。

(二) 計畫目標

本計畫的目標是研究醫療輻射造成台灣整體國民輻射劑量評估，透過全民健康保險研究資料庫取得醫療作業項目頻次和醫療曝露人口，若有檢查項目未涵蓋於全民健康保險研究資料庫，再配合其他相關資料庫補足，以期能建構完整的醫療輻射現況。另透過實地調查醫療作業中的醫療輻射作業檢查項目、技術條件設定、臨床實際掃描方法等資訊，計算彙整出不同醫療檢查的輻射劑量，再以實地量測方式：包括射質評估、劑量輸出測量以確定劑量評估的準確性，藉由此次調查研究，了解醫療輻射造成台灣整體國民輻射劑量之情形，建立完整的醫療輻射群體資料，未來亦可利用此資料評估國民醫療輻射運用的變化趨勢。

(三)重要成果

1. 健保資料庫資料分析：

利用健保資料庫評估醫療輻射人數趨勢，109年已統計18年(89年至106年)8種類別的年度趨勢分析，其中平均年增率發現皆為正成長，成長年增率範圍從0.01%~8.2%，以非心臟類介入性透視攝影成長8.2%最明顯。

2. 取樣醫院檢查序列調查：

109年已完成48個類次，自108年開始至109年取樣所累計的病例數已達64,444筆臨床資料。

3. 建構劑量評估模型：

劑量評估模型建構前置流程包含：蒐集、閱讀、整理國際相關文獻資料，上述4種類別本研究使用劑量模擬軟體包含PCXMC、CT-expo，依據檢查項目細分出各檢查序列，建立對應的劑量評估模型，再計算各檢查序列的有效劑量。109年已完成電腦斷層、核子醫學、一般傳統X光、乳房攝影4種類別劑量評估模型之建置。

4. 推算集體有效劑量：

集體有效劑量計算包含：依據同醫院同類別同檢查項目不同檢查序列分別計算之並得到其有效劑量的分佈，因劑量分佈並非呈現常態分佈，故選用各檢查序列之有效劑量中位數以執行後續數據加權和集體有效劑量計算。109年已完成電腦斷層、乳房攝影等2種醫療輻射類別之集體有效劑量(以現有數據進行估算，未來此數據會再更新)：電腦斷層台灣國民平均年劑量估算約為每人每年0.76 mSv，乳房攝影台灣國民平均年劑量估算約為每人每年0.0041mSv。

5. 按計畫性質在執行成果方面，對於學術理論、經濟建設及其他應用方面的貢獻：完成論文投稿 1 篇；養成 1 個合作團隊；培育及延攬人才 6 名；技術報告 1 篇。

(四) 展望

110 年預計完成：(1) 精進健保資料庫的人數趨勢評估結果，(2) 32 個類次醫院檢查序列調查取樣 (3) 精進與微調 8 種類別 51 個檢查項目合計 140 個劑量評估模型，(4) 推算 8 種醫療輻射類別集體有效劑量，(5) 彙整國民醫療輻射劑量資料，(6) 建立台灣醫療輻射類別劑量網站。



七、109 年度輻射防護技術規範與劑量評估精進研究

計畫單位：輻射防護處、核能研究所

Research on Radiation Protection Technical Specifications and Dose Evaluation

Execution Unit : Department of Radiation Protection,
Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

In order to respond to the radiation management structure and technical specifications of international organizations, this plan adopted a roll-on approach to cooperate with the updated regulations on the improvement of technical ability in control practice and radiation protection measurement technology, in two main directions. This year we conducted researches on the radiation protection mechanisms, regulatory control impacts, and radiation evaluation techniques for technical specifications, dose for the lens of the eye, etc. At the same time, the latest technical criteria were applied to the performance tests in laboratory certification system in order to strengthen the technical capabilities of personnel dosimetry assessment and radiation detector calibration laboratories. The plan also improved the technology related to biological dose evaluation. The purposes are to enhance the techniques for radiation protection management to ensure the public's health and safety.

(一) 摘要

為接軌國際最新輻射防護建議，本計畫因應國內外趨勢與配合法規研議，同步進行輻防管制法規與輻射度量技術之研究。本年度針對技術規範、眼球水晶體劑量等主題進行研析，同時引進最新技術規範，應用實驗室認證體系架構執行能力試驗，強化國內人員輻射劑量評估與輻射偵測儀器檢校正實驗室之技術能力，並精進人員生物劑量評估相關技術。

(二) 計畫目標

因應國際最新管制趨勢，以輻防管制規範與度量技術研究為中心，進行輻射防護管制規範、輻射儀器檢校、生物劑量評估等面向之研究，提升輻射防護管制技術，確保民眾健康及輻射安全。

(三) 重要成果

1. 輻射防護技術規範與劑量評估精進研究

(1) 研析國際輻射防護委員會 (International Commission on Radiological Protection, ICRP)、國際原子能總署一般核能安全規定第三章 (International Atomic Energy Agency General Safety Requirements, IAEA GSR Part 3) 等最新國際輻防概念，提出游離輻射防護安全標準修正方向建議，為兼得輻射防護精神與規範施行可行性、技術可行性等面向，本年度與管制機關、專家學者、相關業務機構等利害關係人召開兩場討論會議 (圖 1)，確認修正草案之可行性，並評估修訂我國現行法規採行轉換係數之進程規劃。

(2)根據國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO) 4037-1 完成眼球水晶體劑量標準輻射場之窄能譜系列射質建置，並經實驗評估驗證其半值層符合標準規範之要求。未來將持續進行各項修正因子的評估及標準克馬率的量測，並透過轉換因子轉換為眼球水晶體劑量的法定作業量Hp(3)。預期可適時提供國內眼球水晶體劑量計之劑量校正，接軌國際劑量標準。



圖 1 游離輻射防護安全標準法規精進研討會：台北場及高雄場。

(3) 與清華大學合作，引進美國核能管理委員會輻射防護電腦程式分析及維護計畫 (Radiation Protection Code Analysis and Maintenance Program, RAMP) 之動態擬人假體 (Phantom with Moving Arms and Legs, PIMAL) 程式，以蒙地卡羅計算初步模擬核醫及透視攝影工作人員劑量狀況。發現鎢製針筒罐可使核醫工作人員手部劑量降為 5.3%，眼球水晶體劑量降為 3.7%，全身有效劑量降為 15.1%，而 L 型鉛玻璃屏蔽可以使眼球水晶體劑量降為 16.9%，全身有效劑量降為 7.4%。鉛衣的屏蔽則能使從事透視攝影醫師的劑量降低至原來的 0.1 倍以下，鉛眼鏡能將水晶體劑量降至原來的 0.8 倍。

2. 輻射防護能力試驗技術研究

- (1) 完成照射輻射場射質品保驗證與量測系統維持，利用監測游離腔等設計，確保品保因子 <3% 的合格照射，評估 4 大照射系統擴充不確定度 (涵蓋因子， $k=2$)，確認符合全國認證基金會規範 TAF-CNLA-T08(4) 不得超過 5% 之規定。
- (2) 配合第 11 次人員劑量計能力試驗完成國內現況研究，於 6 月 12 日舉辦「2020 年第 11 次人員劑量計能力試驗總結研討會」技術會議，本次試驗參與實驗室共 8 家，合格率 100%。
- (3) 執行輻射偵檢儀器校正能力試驗運轉研究，內容除「第 8 次輻射偵檢儀器校正能力試驗」外，尚包括實驗室比對活動，所有參與實驗室皆已完成量測作業，預計 110 年發表能力試驗結果。
- (4) 運用能力試驗既有經驗與相關技術，完成「全身計測實驗室比對試驗」臨時性任務。本試驗依據美國國家標準協會 / 美洲保健物理學會 (ANSI/HPS) N13.20 (2011) 規範執行，計有台灣電力公司及核能研究所等 5 個實驗室參與，合格率 100%。

3. 人員生物劑量染色體變異評估技術研究

- (1) 與國內南部高雄醫學大學附設醫院合作，完成 3 例國人生物檢體背景值（分別分析 1010、1027 與 1005 顆細胞）之染色體影像分析，擴充我國生物劑量背景值資料。完成 104 至 108 年度受試者染色體變異資料之統計分析。
- (2) 核能研究所國家級實驗室完成 ISO17025:2017 監督評鑑，並於 10 月 6 日取得通過監督評鑑通知。藉由實驗室的評鑑認證，達到實驗室符合國際品質標準與技術提升之目的。
- (3) 使用流式細胞技術 (Flow cytometry) 及酵素結合免疫吸附分析法 (Enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)，初探國際新興的 gamma-H2AX 分析方法之測試。其中 Flow cytometry 分析方法在有較明顯之趨勢性，後續將持續精進此技術，作為 gamma-H2AX 的主要分析方法。

(四) 展望

本計畫規劃與執行的工作，屬國家輻射防護基礎技術的一環，本計畫成果能確保我國輻防法規的國際追隨性，及確保國內各專業實驗室可提供足夠的技術能量，支持輻防法規的執行或更新。



八、含天然放射性物質商品之調查及管理研究

計畫單位：輻射防護處

Research on the radiation survey and safety management for NORM (naturally occurring radioactive material) contained products

Execution Unit : Department of Radiation Protection

Abstract

The applications of products containing naturally occurring radioactive materials (NORMs) are becoming increasingly widespread and deeply involved in people's livelihood. This plan was analyzed the types and content of NORMs added in different commodities, establish techniques for radon measurement and calibration, personnel dose assessment of products containing NORMs, and develop a treatment plan for products containing NORMs with abnormal radiation to protect the radiation safety of people using related products.

(一)摘要

含天然放射性物質之商品應用日漸廣泛且深入民生，本計畫分析不同商品之天然放射性物質添加型式及含量，建立含天然放射性物質商品之氡氣量測及校正、人員劑量評估等技術，及研擬輻射異常之含天然放射性物質商品之處理方案，以保障民眾使用相關商品之輻射安全。

(二) 計畫目標

本計畫考量目前因科技之進步、民眾生活品質之提高，游離輻射於民生應用之發展較過去更為快速增長，亟需針對輻射之民生應用發展潮流與國際趨勢，預先進行研究、調查，以建立適宜之管制規範、審查及評估之技術。

(三) 重要成果

1. 說明研發成果之重要貢獻

(1) 氦氣濃度標準校正與測試系統硬體建置

本研究建立含天然放射性物質商品之氦氣量測校正設備及技術，利用建置之氦氣量測儀器校正腔體(圖 1)、產生氦氣之標準參考物質鐳-226 (SRM-4973)、氦氣量測儀器 Alphaguard 等，執行校正系統測試，並製成之氦衰變曲線(圖 2)，完成氦氣偵檢儀器校正因子之評估。

(2) 引進氦氣參考物質與量測標準

本研究已引進鐳 226 標準射源(型號 RN-105A) 作為產生氦氣(氦-222) 之標準參考物質，與鈾-228 標準射源(型號 TH-1025) 作為產生氦氣(氦-220) 之標準參考物質(圖 3)，及設計脈衝式游離腔將之氦氣量測原級標準，並規劃國際比對及取得國際認證。

(3) 含天然放射性物質商品之快速初篩用儀器性能評估研究

本研究研析 107 年至 108 年期間抽驗床墊之量測數據，獲得表面污染計數值(cps) 與氦氣活度濃度(Bq/m^3) 之線性關係(圖 4)，因此床墊表面測得高於背景之計數值，可做為初步判別輻射異常之快速篩選指標。

2. 學術成就方面

(1) 完成「含天然放射性物質商品之快速篩檢用儀器性能評估研究」與「氦氣偵檢器校正系統建置研究」研究報告。

- (2) 完成「含天然放射性物質商品之後市場調查 (108 年-109 年)」研究報告一篇。
- (3) 投稿 “Inspection and radiation dose evaluation results for NORM-containing products in Taiwan” SCI期刊一篇。



圖 1 氬氣量測儀器校正腔體。

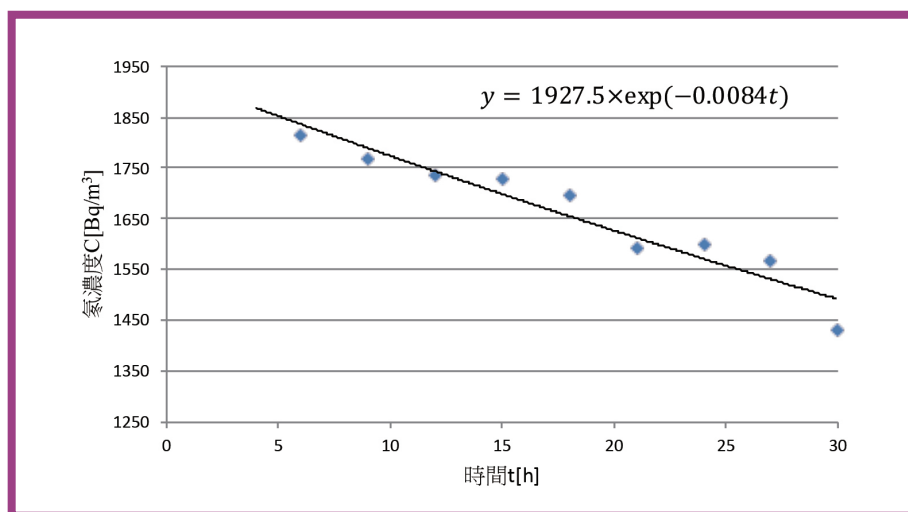


圖 2 氬衰變曲線。

(四)展望

藉由 109 年度研究計畫建立氡氣濃度標準校正與測試系統、研析樣品中天然放射性物質含量之快速篩檢之指標，有助於建立準確與快速之評估方法或量測技術，減少含天然放射性物質商品在市場上的衝擊，降低民眾不必要之輻射曝露風險。



圖 3 固體鐳-226 標準射源 (RN-105A, 左圖) 及固體釷-228 標準射源 (TH-1025, 右圖)。

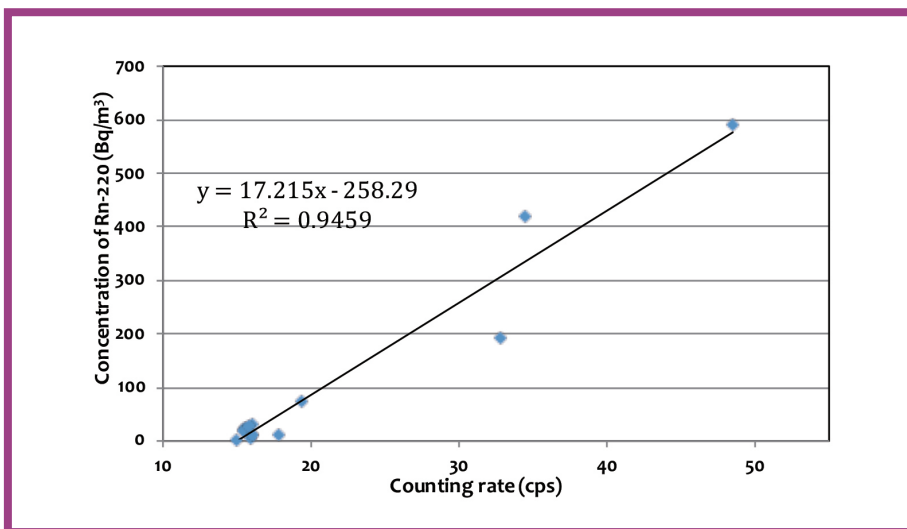


圖 4 107-108 年抽驗床墊表面污染計數與氡氣濃度 (氡-220) 線性回歸分析圖。

九、放射性物質生產設施除污及除役規劃暨安全審查技術研究

計畫單位：輻射防護處

Studies on radiation protection aspects in decontamination and decommissioning of radioisotope production facilities

Execution Unit : Department of Radiation Protection

Abstract

At present, there are 13 cyclotron-based radionuclide production facilities in Taiwan, whose particle energies are between 9.6-30 MeV, and more than half of them have been in operation for more than 15 years. Secondary neutrons are generated through nuclear reactions during the cyclotron operation and those secondary neutrons potentially induce material activation in the cyclotron body and shield structure to varying degrees. As many of these facilities are approaching the end of their lifetime, studies on radiation protection aspects in decontamination and decommissioning of radioisotope production facilities are deemed to be important and necessary for both the facility owners and regulatory agencies. This year, we have finished the following working items: literature collection and review including data from various countries with experience and operation histories of domestic facilities. Two major tasks related to technology development, i.e., Monte Carlo techniques and sensitivity studies for material activation, were also successfully conducted. The results and experience obtained in this study will be beneficial to all parties involved in decommissioning of radioisotope production facilities.

(一) 摘要

國內共有 13 部迴旋加速器放射性物質生產設施，由於迴旋加速器在運轉過程會因核反應誘發二次中子生成，二次中子輻射再造成迴旋加速器本體、屏蔽或建築物結構體等不同程度的活化。隨著設施建物或加速器本身逐漸接近使用生命週期，終將面臨永久停用問題，故透過本計畫建置生產設施除役相關導則與技術建議。本年度已完成國際文獻、諸經驗國資料與國內設施運轉歷史的收集，針對放射性活化評估技術部分亦已建立蒙地卡羅分析技術並進行一系列參數靈敏度分析，並辦理一場迴旋加速器放射性物質生產設施除役放射活化分析技術的教育訓練。

(二) 計畫目標

本計畫目標對國內迴旋加速器放射性物質生產設施進行運轉歷程調查、放射性活化評估與量測驗證，據以提出除役計畫撰寫導則建議與除役輻射安全審查導則建議。

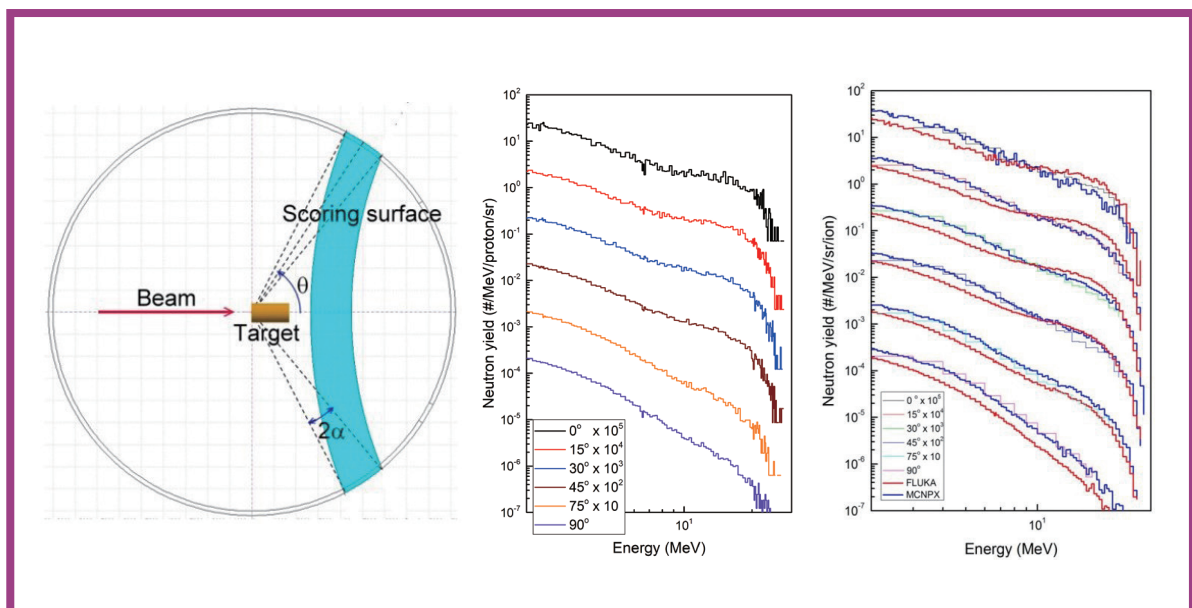


圖 1 使用 FLUKA 建立模型，模擬 30 MeV 質子束轟擊銅靶，並在 0 度至 90 度分別計讀中子通量，中圖之中子通量與右圖中紅線之趨勢吻合。

(三)重要成果

1. 收集 10~30MeV 生產設施之國際文獻，以及日本、澳洲、歐盟等國家對於生產設施除役之管制規範文獻，進行使用年限、射束損失量、除役關鍵任務、活化物產出及量測方法等綜合研析。
2. 調查蒐集國內迴旋加速器生產設施之設備特性與運轉歷史資料，如各設施運作對應靶號、生產核種、靶體材料、靶窗材質、靶窗厚度、靶電流、照射時間與生產活度等資訊，據以建立基礎資料庫，未來可視案例需求直接與蒙地卡羅模擬分析連結。
3. 藉 FLUKA 程式利用蒙地卡羅方法於加速器活化分析技術建立下列六個項目：中子產率驗證、核種活化驗證、劑量評估驗證、中子產率 / 中子劑量與氟 -18 產率關聯性驗證、無自屏蔽迴旋加速器設施活化分析、有自屏蔽迴旋加速器設施活化分析。
4. 完成蒙地卡羅模擬參數之靈敏度分析包括射束能量、照射時間、靶材種類、靶材厚度、自屏蔽的有無、以及混凝土中雜質濃度等面向的影響。

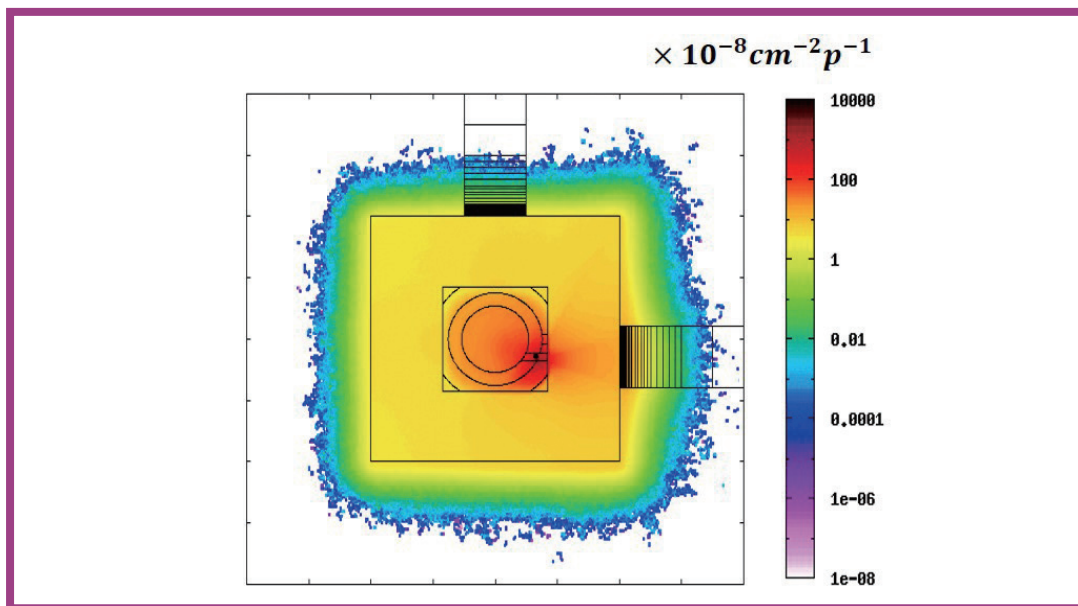


圖 2 無自屏蔽設施之二次中子分布情形，質子由左而右轟擊氧-18 水靶，可以觀察到較多的中子進入前向混凝土。

(四)展望

透過本計畫，跨機構網絡協調與技術整合，可及早建立國內迴旋加速器生產設施除役專業人才資料庫，以利未來除役實務作業之推動，確保日後設施除役管制之品質與輻射安全。本年度係著重於引進先進國家之經驗，建立生產設施除役相關分析技術，未來則目標於進行生產設施放射活化情形之量測技術可行性評估與建議研究，設施運轉中活化量測之驗證分析研究，據以歸納評析國內加速器設施之活化影響情形，以利提出除污與除役策略方法，並據以提出生產設施除污與除役計畫撰寫導則建議以及輻射安全審查技術導則建議。



十、鋼鐵輻射異常物相關回收與熔煉作業人員之輻射劑量及風險評估研究

計畫單位：輻射防護處

2020 project on assessment of radiation dose and risk of recycling and smelting workers related to radiation anomalies in steel

Execution Unit : Department of Radiation Protection

Abstract

There are 34 reported cases of iron and steel radiation anomalies in Taiwan in 2020. The reasons for the radiation anomalies are that most of the waste steel materials such as steel pipes or components contain natural radioactive material deposits, and a small number of scrap metal material containing waste radioactive sources which are artificial radioactive materials. The content of this project in 2020 included research and analysis of commercial computer codes on radiation protection assessment, which codes are suitable for assessing the radiation impact of persons involved in handling or disposing of steel radiation anomalies. Through the collection and analysis of the international control/management measures and detection/processing procedures of steel radiation anomaly, as well as the comprehending current detect and dealing situation of steel radiation anomaly by means of visits and inspections of the steel industry, the relevant simulation scenarios were planned and built to evaluate and confirm the relevant workers' radiation doses and health risks.

(一) 摘要

109 年國內鋼鐵業輻射異常物通報案件總計通報 34 起，究其輻射異常物原因，大多數屬於鋼鐵管路或組件等廢鋼材含有天然放射性物質沉積管垢；少數屬於人工放射性物質之廢棄射源。本計畫 109 年執行內容包括研析適用於評估經手或處置鋼鐵輻射異常物之相關人員輻射影響之商業化輻射防護評估程式，並透過蒐集與研析國際鋼鐵輻射異常物之管制作法與偵檢與處理程序，及訪查與檢查鋼鐵業者偵檢與處理鋼鐵輻射異常物之現況，規劃相關評估模擬情境，以確認相關從業人員之輻射劑量與健康風險。

(二) 計畫目標

建立鋼鐵輻射異常物相關回收與熔煉作業之輻射防護評估程式能力，分析比較並找出合適之輻射防護評估程式；針對其各項工作單元、場所之從業人員作業環境進行分析探討；完成國內鋼鐵業輻射異常物通報案件訪查與鋼鐵熔爐業者之年度輻射安全檢查，規劃相關評估模擬情境，以評估國內鋼鐵從業人員於不同接觸情境之輻射劑量與風險。

(三) 重要成果

1. 研發成果之重要貢獻

- (1) 本計畫於 109 年完成 34 起國內鋼鐵業輻射異常物通報案件訪查與 17 家鋼鐵熔爐業者之年度輻射安全檢查。本計畫執國內鋼鐵業進行輻射異常物通報案件之現場訪查情形示於圖 1。
- (2) 完成研析 USDOE ANL/EAD/TM- 50、EC Radiation Protection No 89、IAEA-TEC-DOC-1130、IAEA SSG-17 及 NCRI ANSI N42.43 等相關國際文獻與報告，並彙整相關要點。
- (3) 完成國際相關輻射防護評估程式的蒐集與建置以及輻射防護評估程式的特性與比較，對於輻射異常物的體外劑量評估，建議採用 MicroShield 為計算引擎工

具；以MicroShield 程式計算輻射異常物案例與實測結果比較驗證，計算結果與實際量測值相近。

(4)利用實測劑量率推估可能的異常物總活度，建議可採用表面 5 公分處之最大劑量率值，推估鋼鐵輻射異常物之可能活度較為準確。

2. 學術成就方面，共發表國內期刊論文一篇

(1) 賴柏倫，鋼鐵輻射異常物相關回收與熔煉作業人員之輻射劑量評估方法介紹，輻射防護簡訊，Issue 160(2020)，第 23－33 頁。

(四) 展望

本會藉由本計畫之推動，研析適用於評估經手或處置鋼鐵輻射異常物之相關人員輻射影響之商業化輻射防護評估程式，且透過蒐集與研析國際鋼鐵輻射異常物之管制與處置作法，以及每年訪查鋼鐵業者偵檢與處理鋼鐵輻射異常物之現況，適度檢視我國相關偵檢標準、程序與管理作法，逐步規劃與提出鋼鐵輻射異常物之最適化作業流程規劃與合理抑低措施，協助業者落實輻射安全自主管理，保障相關作業人員安全。



圖 1 本計畫人員進行鋼鐵業輻射異常物通報案件之現場訪查情形。

十一、109-110 年度放射診斷設備之醫療曝露品質保證管制作業及項目精進研究

計畫單位：輻射防護處

Research of Deployment Effectiveness of Medical Exposure Quality Assurance measures and Items for Diagnostic Medical Imaging Equipments for 2020-2021

Execution Unit : Department of Radiation Protection

Abstract

Diagnostic medical exposure quality assurance practices have been included in Ionizing Radiation Protection Act for many years. It's an issue worthy of attention that how to evaluate the implementation effectiveness of medical exposure quality assurance practices constantly for the state-of-the-art diagnostic medical equipment. This project of the year 2020 has conducted on-site visits and inspections of diagnostic medical devices including 50 mammographic X-ray machines, 50 computed tomography (CT) scanners, as well as on-site radiation surveys on 100 interventional X-ray equipment, for ensuring the exposure quality of the equipment. Besides, the project has also examined the effectiveness of the current quality assurance practices by reviewing each test items, test frequency

and performance criteria, which were regulated for the mammographic machine and the CT scanners, with the techniques suggested, and has provided counselling services for healthcare facilities of how to do the exposure quality practices on interventional X-ray equipment. The outcomes may be the reference for concrete proposal for improving medical exposure quality assurance practices in the future.

(一)摘要

放射診斷品保作業納法迄今已推動多年，輻射醫療診斷設備日新月異，如何持續提升品保作業推動成效，是值得關注的議題。本計畫透過放射診斷的設備的訪查，完成乳房X光攝影儀、電腦斷層掃描儀及心導管與血管攝影X光機醫療曝露品保作業抽檢，並進行我國乳房X光攝影儀與電腦斷層掃描儀品保作業項目精進研究，及輔導醫療院所執行心導管與血管攝影X光機品保作業，驗證品保項目執执行程序妥適性，研擬我國臨床品保作業參考之程序書或教材，提出推動或精進醫療曝露品保法規的具體建議。

(二)計畫目標

1. 執行電腦斷層掃描儀與乳房 X 光攝影儀醫療曝露品保作業檢查，並針對我國長期推行之品保作業提出精進建議。
2. 執行心導管與血管攝影 X 光機醫療曝露品保作業訪查，並參考試辦計畫結果，總結納入法規之可行性評估與建議。
3. 檢視現行放射診斷設備品保執执行程序，蒐集臨床數據並依據檢查結果及彙整國際資訊，探討新版品保作業程序書之可行性。

(三)重要成果

1. 彙整國際間放射診斷設備之相關品保法規、品保項目及其容許值、品保作業程序書等資料，進行國內外相關文獻之差異比較。

2. 依據 108 年之品保作業程序書進行全國 50 部電腦斷層掃描儀、50 部乳房 X 光攝影儀及 100 部心導管與血管攝影 X 光機之輻射醫療曝露品質保證作業訪查。
3. 分析電腦斷層掃描儀、乳房 X 光攝影儀及心導管與血管攝影 X 光機之訪查品保實測數據並建立資料庫，作為重要參考資料並參考國際品保作業執行現況，驗證品保項目執行程序妥適性，製作教材 3 份，提出精進醫療曝露品保法規的具體建議及未來推行品保政策之依據。
4. 完成電腦斷層掃描儀、乳房 X 光攝影儀及心導管與血管攝影 X 光機醫療曝露品保實作訓練課程 3 場。

(四) 展望

品保作業是醫用輻射安全中重要的一環，以放射診斷設備而言，其目標是確保設備之安全與品質，在適當的輻射劑量下得到最佳影像品質，以供醫師進行正確的診斷。放射診斷品保作業納法迄今已推動多年，輻射醫療診斷設備日新月異。目前國際上也會因應醫療儀器的進步而建議或修訂新的品保作業程序。因此，在考量國內醫療院所人力負荷及未來可能新增其他診斷設備醫療品保作業上，實應持續檢討精進現行品保相關法規及品保項目。



圖 1 講師指導學員進行品保項目實作。

表 1 醫療曝露品保法規精進建議與說明

項目編號	訪視項目	109 年度	110 年度	備註
1	乳房攝影系統設備評估 (Mechanical Inspection)	以原能會提供公版程序書內容執行	以原能會提供公版程序書內容執行	
2	自動曝光控制系統及訊雜比測試 (AEC&SNR)	以原能會提供公版程序書內容執行	以原能會提供公版程序書內容執行	
3	對比雜訊比 (CNR)	以原能會提供公版程序書內容執行	增設使用 AI 片測試方式	大部分設備原廠程序書未使用 AI 片進行品保作業，將請委員將鋁片測試方式之數據帶回分析，未來進行品保項目 CNR 修訂時列入參考。
4	殘影評估與屏幕消除測試 (Ghost Factor Check and Cassette eraser)	以原能會提供公版程序書內容執行	預計刪除此項目	許多設備假影及影像均勻度皆未通過，然而殘影仍通過，由委員們討論過後認為此評估項目成效不佳，無法呈現曝露品質不良。
5	準直儀評估 (Collimation Assessment)	"以原能會提供公版程序書內容執行 (輻射照野電子尺)"	"以原能會提供公版程序書內容執行 (輻射照野電子尺)"	此訪視項目有兩種測試方法，109 年度訪視委員共識使用電子尺進行訪視作業，110 年度維持原訂計畫，若有修訂將於 110 年度共識會提出討論。
6	影像均勻照野測試 (Flat Field Homogeneity)	以原能會提供公版程序書內容執行	使用 PMMA 進行測試	大部分機構尚未購買新型數位乳房假體，未來若要推動公版程序書，各機構需購買此假體 (約 5 萬，未含稅及運費) 會是一個推行困難的原因之一，PMMA 費用便宜取得容易，且許多廠牌使用 PMMA 進行品保作業，故 110 年請委員使用 PMMA 假體進行訪視。
7	假影評估 (Artifact Detection)	以原能會提供公版程序書內容執行	使用 PMMA 進行測試	大部分機構尚未購買新型數位乳房假體，未來若要推動公版程序書，各機構需購買此假體 (約 5 萬，未含稅及運費) 會是一個推行困難的原因之一，PMMA 費用便宜取得容易，且許多廠牌使用 PMMA 進行品保作業，故 110 年請委員使用 PMMA 假體進行訪視。
8	假體影像品質評估 (ACR phantom)	以原能會提供公版程序書內容執行	以原能會提供公版程序書內容執行	
9	空間解析度 (Modulation Transfer Function)	"以原能會提供公版程序書內容執行 (高低對比解析度假體)"	使用高低對比解析度假體	部分原廠品保程序書未使用高對比解析度，未來欲使用公版程序書需考慮是否符合各廠牌
10	管電壓準確度和再現性測試 (kV Accuracy and Reproducibility)	以原能會提供公版程序書內容執行	再現性修正成照射四次	部分原廠程序書執行再現性品保照射四次，但公版程序書為三次，預計 110 年請委員將數據帶回，於期末分析未來使用公版程序書執行的次數。
11	輻射輸出率 (Radiation Output)	新增項目	同 109 年度訪視作業	
12	射束品質評估 (Beam Quality Assessment)	以原能會提供公版程序書內容執行	以原能會提供公版程序書內容執行	
13	平均乳腺劑量評估	使用 Wu. 的計算公式	使用 Dance. 的計算公式	乳房攝影設備廠商大多來自於歐美國家，其使用的公式也不相同，但依據 ACR 於 2020 年五月公布新規範 (2 nd)，將使用 Dance. 公式為標準計算方式，故 110 年訪視作業修訂使用 Dance. 提出的公式計算其標準。
14	閱片工作站與擷像工作站影像品保	採用各廠牌提供測試影像	螢幕品保測試影像 (TG18-QC PATTERN)	部分機構未有此影像，無法自主測量，將於 110 年度訪視作業時請訪視委員使用，評估是否適用於各螢幕。

十二、計畫曝露輻射安全與劑量約束評估研究

計畫單位：輻射防護處

2020 project on evaluation of radiation safety and dose constraint of planned exposure situation

Execution Unit : Department of Radiation Protection

Abstract

This project collected the information regarding justification and dose constraint specifications and practical approaches of international planned exposure situations, and also developed and put forward recommendations on justification review and the promotion of dose constraints for the application of domestic radiation practices. In 2020, on-site inspections and risk analysis subjected to non-medical equipment capable of producing ionizing radiation were conducted and continued, sampling inspections of 412 radiation sources completed. Performed the radiation dose and risk assessment, statistically analyzed the investigation data, and put forward specific recommendations for radiation protection and risk control after compilation. This project gradually establishes radiation protection safety specifications for different types and uses of radiation source applications, so that the relative industries can follow them to improve the regulatory effectiveness of radiation safety.

(一)摘要

本計畫蒐集國際間計畫曝露輻射作業之正當性及劑量約束規範及實務作法，研擬提出適用我國之輻射作業正當性審查及推動輻射源劑量約束之建議。109 年持續針對非醫用輻射作業單位使用之可發生游離輻射設備進行輻射安全訪查，完成 412 件輻射源之抽樣訪查作業，執行現場作業調查及評估其輻射劑量與風險，統計分析訪查數據，彙整後提出輻防管制及風險控管之具體建議。本計畫逐步建立不同類型、用途之輻射源應用之輻射防護安全規範，使業者有所依循，以提升輻射安全之管制效能。

(二)計畫目標

本計畫包括研析彙整國際實施正當性審查及導入劑量約束概念之實際作法，對不同分級及類型之輻射源執行輻射安全檢查訪查作業，進行劑量及風險分析，了解國內輻射作業之現況及安全防護執行狀況，提出包括正當性審查及劑量約束評估等適用我國輻射防護管制之架構及具體做法，以提升對輻射安全之管制效能。

(三)重要成果

1. 研發成果之重要貢獻

- (1) 本計畫於 109 年完成 412 台可發生游離輻射設備之輻射安全訪查與檢測，包括登記備查類（櫃型 X 光機、移動型 X 光機、靜電消除器、離子佈植機、動物用 X 光機等）264 台及許可類（照相檢驗 X 光機、非破壞照相檢驗 X 光機、刑事鑑定 X 光機、加速器、貨櫃 X 光機、測量用 X 光機等）148 台。並依據現場訪查與實測劑量結果之統計分析及考量可能發生異常情況，提出輻防管制及風險控管之具體建議。

(2)完成國際間輻射作業正當性審查程序及劑量約束實務作法蒐集研析，提出適用我國之輻射作業正當性審查及推動輻射源劑量約束之「輻射作業正當性審查導則與輻射源劑量約束推動策略」建議書。

2. 學術成就方面，共發表國內期刊論文一篇

(1) H.W. Liu, C.H. Hsu, F.Y. Hsu, C.W. Kuo, C.C. Yu. Radiation dose and risk assessment of staff and assisted personnel caused by veterinary X-ray examination, Taiwanese Journal of Applied Radiation and Isotopes 16(1) : 1851-1856, 2020.

(四) 展望

本計畫後續規畫將持續建立不同類型、用途之輻射源應用之輻射防護安全規範，使業者有所依循。每年對一定比例游離輻射源執行安全抽檢作業，藉由與業者直接接觸機會，宣導輻射安全防護觀念，協助業者落實輻射安全自主管理，使業者了解計畫曝露之合理抑低及輻射防護最適化觀念，提升國內相關設施之輻射防護管理效能。



十三、游離輻射防護法規體系 精進研究

計畫單位：輻射防護處

Study on the Revision of Ionizing Radiation Protection Act

Execution unit: Department of Radiation Protection

Abstract

The current Ionizing Radiation Protection Act in Taiwan is based on the ICRP-60 recommendation. Due to the technology advancements, social changes and environmental requirements, the ICRP revised its ICRP-60 and published ICRP-103 to provide a more complete framework, reasonable approach and effective implementation for the radiation protection of individuals in different exposure situations. The objectives of this project are to study the new concepts and methods recommended in ICRP-103 and IAEA GSR Part 3 and to suggest revisions on the Ionizing Radiation Protection Act. This project will help to ensure the quality, smooth the implementation, and avoid any difficulty in the future revisions of Ionizing Radiation Protection Act.

(一)摘要

我國現行游離輻射防護法的精神與架構，主要建立在ICRP 1991年發布的60報告。為了因應科技的進步、社會的變遷、環境的改變等，ICRP於2007年發布了103報告，以提供更完善、更合理、更有效之輻射防護建議。本計畫擬針對ICRP-103報告與IAEA GSR Part 3報告，以兩年時間進行完整的評估與研議，然後提出游離輻射防護法之修改建議，以確保修法品質及解決實施問題，並降低修法對社會、經濟、及整體游離輻作業產生的衝擊。

(二) 計畫目標

我國現行游離輻射防護法主要基於 ICRP 1991 年發布的 60 報告。ICRP 於 2007 年發布了 103 報告，但僅提供輻防作業的基本架構，並不直接提供法規文字，本計畫擬以兩年時間作一個完整的評估與研議，以便提出修改游離輻射防護法之建議，降低修法對社會、經濟、及整體游離輻射作業產生的衝擊。

(三) 重要成果

為完成適用 ICRP-103 於我國修改游離輻射防護法之建議書，本計畫共提出七大項工作內容，包括：1. 研究各國 ICRP 103 報告實施現況、2. ICRP 103 報告與 IAEA GSR 報告在我國之可行性研究、3. 收集國內專家意見、4. 游離輻射防護法修改建議、5. 政策影響評估、6. 業界說明及 7. 提出正式游離輻射防護法修改建議。其中本年度工作主要為前四項，詳細成果以下分述之：

1. 研究各國 ICRP-103 報告實施現況：目前世界各國實施 ICRP-103 的現況，以歐盟各國為主。歐洲原子能共同體 (EURATOM) 依據於 2013 年制訂了 EURATOM 2013/59 指引，要求各會員國於 2018 年前修訂完成各國之輻射防護法規，目前網路上找得到之已修訂英文版本法規，包括：英國、愛爾蘭、德國、法國、奧地利、斯洛維尼亞、愛沙尼亞等國，義大利則因未於期限前完成修法而於 2019 年遭 EURATOM 移送歐盟法庭處理，依此推論歐盟其它各國應都已完成修法。至於鄰近台灣之中、日、韓等亞洲各國，目前均在研議修法之中，其中有關緊急性曝露部分，因受福島核子事故的影響，均已提前採納 ICRP-103 衍生之技術指引，納入各國相關法規中實施。

2. ICRP-103 報告與 IAEA-GSR-3 報告在我國之可行性研究：本計畫探討 ICRP-103 報告與 IAEA-GSR-3 報告在我國之可行性。包括游離輻射之健康效應及健康效應使用之輻射劑量、輻射曝露之管制分類、計畫性曝露之分級管制、商品添加放射性物質之管制...等，根據這些研究本計畫已產生輻防法修正草案初稿。
3. 收集國內專家意見：雖然國際間對游離輻射防護法修訂已有許多建議，但將其引用至台灣並不會是一個閉門造車的流程，而是需要相關專家學者廣泛的參與。為收集國內專家意見，本計畫於 109 年 10 月 21 日及 12 月 2 日舉辦兩次專家會議，邀請國內產學研八位專家與原能會、核研所代表共同討論輻防法修正草案，與會代表對輻射源 / 輻射作業與輻射防護之定義、輻射工作人員或職業曝露工作人員、計畫性曝露與既存性曝露的界定、劑量指引、計畫性商品及既存性商品...等議題都提出了寶貴的意見，作為輻防法修正的參考。
4. 游離輻射防護法修改建議草案：根據以上研究本計畫已產生輻防法修正草案，並持續與主管機關與各界溝通中。之後再經第二年之政策影響評估與性別影響評估之程序，於明年提出建議。

(四) 展望

在 ICRP-103 建議中闡明，各國立法機構應自行發展與 ICRP-103 相容的法規，而這立法程序並不只是由主管機關與業者參與，社會上關心輻射防護的社會團體（如工會、商會、環保團體及學術團體）的參與亦無法避免。因此，相關資訊必須透明且易於了解，若不完整描繪出 ICRP 新的民眾劑量合理抑低的架構，將會產生對片面改變的誤解，在立法過程中帶來不可預期的阻礙。為了避免這些阻礙的發生，本計畫冀望能作一個完整的評估與研議，以降低修法對社會、經濟、及整體游離輻射作業產生的衝擊。



圖 1 計畫主持人報告輻防法修改建議。



圖 2 與會專家與主管機關討論。

十四、亞太核醫醫藥法規與藥政制度研究

計畫單位：核能研究所

Research on Asia-Pacific Nuclear Medicine Regulations and Drug Administration System

Execution Unit : Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

1. By collecting foreign (Japan, Indonesia) regulations and data, and analyzing the differences between domestic regulations, and producing research reports on nuclear medicines in Asia-Pacific countries (Japan, Indonesia) for the participation of nuclear research institutes, it is also available Reference for domestic manufacturers.
2. Holding the “Asia-Pacific Nuclear Medicine Regulations Training Course” and visits to the National Pharmaceutical Regulatory Agency Consortium Medical Products Inspection Center (hereinafter referred to as CDE) to cultivate domestic and international regulatory talents through the “Asia-Pacific Nuclear Medicine Regulations Training Course” and visits The domestic pharmaceutical regulatory agencies should strengthen the ties with the domestic regulatory agencies and have a thorough understanding of domestic regulations, which can then suggest that domestic nuclear drug manufacturers need to strengthen their directions and implementation policies.
3. Signing a letter of intent for cooperation with foreign nuclear medicine units (hereinafter referred to as MOU), and finally signing an MOU with the Cho-Ray Hospital of Vietnam, which can expand the differences in the use and regulations of nuclear medicines in Vietnam and jointly promote nuclear medicines Research and development and clinical application.

(一) 摘要

本計畫採用下列三種方式進行。

1. 是透過蒐集國外(日本、印尼)法規資料，加以研析與國內法規差異性，產出亞太國家(日本、印尼)核醫藥品研究報告，供核研所參採外，亦可供國內廠商參考。
2. 舉辦「亞太核醫法規訓練課程」與參訪國內藥政管理單位財團法人醫藥品查驗中心，藉由「亞太核醫法規訓練課程」培育國內國際法規人才，且參訪國內藥政法規單位加強與國內法規單位之聯繫，深入了解國內法規，進而可提出國內核醫藥廠商需加強方向與執行方針。
3. 與國外核醫單位簽訂合作意向書，最後與越南 Cho-Ray 醫院簽訂 MOU，可以拓展我國在越南核醫藥物上使用、法規等上的差異性及共同推廣核醫藥物研發與臨床應用。

(二) 計畫目標

本次的研究方法蒐集以日本與印尼的核醫藥相關法規並作分析與比較原則，用以對比台灣目前法規是否適合國際潮流、配合國家南向政策提出相關建議，並可提供給目前國內有意願前往東協國家發展的生技相關產業作為依據。

(三) 重要成果

本次研發成果之重要貢獻如下

1. 完成日本、印尼核醫藥品研究報告，便於國內核醫藥品擬定南向政策與方向，同時培育國內製藥法規人才掌握東協國家對於核醫藥品管理趨勢。
2. 舉辦亞太核醫法規訓練課程與參訪醫藥品查驗中心，以強化核研所內對於我國核醫藥法規面的認知與審查面的細節，加強核研所與法規單位的縱向聯繫。
3. 藉由與越南大水鑊醫院簽定合作意向書，核研所研發的核醫藥物可藉由與該醫院於臨床前試驗及藥物生產之經驗分享，後續其亦提及可在越南進行臨床試驗等合作意願，將有助於我國在越南開展核醫藥物市場，進而做為我國在南向市場的試金石。

(四) 展望

對於國內的核醫藥品未來的走向有以下三點建議:

1. 建立核醫藥品法規資料庫，蒐集各國核醫藥法規，並定期更新資料庫維護資料庫完整性。
2. 定期舉辦藥政人才交流訓練會議、藥政法規教育訓練課程、國內核醫藥品相關研討會以加強國內各藥廠橫向聯繫與藥政單位的縱向聯繫。
3. 藉由本次所簽署的合作意向書，加強與越南的聯繫，定期舉辦交流會議與交換人員進行深度交流，且可將目前已開發出的核醫藥物在越南進行臨床試驗，應用已知的醫院敲開東協的核醫藥大門。

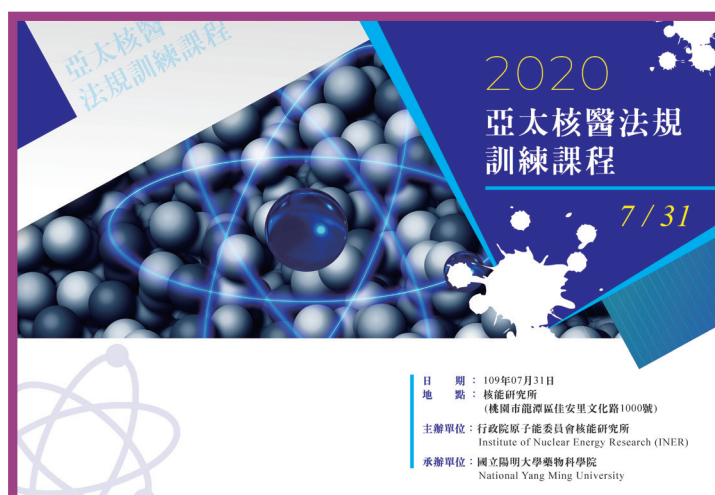


圖 1 課程海報。



圖 2 亞太核醫法規訓練課程實況。

十五、核醫造影及影像品保認證與人才交流計畫

計畫單位：核能研究所

Talents exchange and certification of quality assurance in nuclear medicine imaging

Execution Unit : Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

The focus of this plan is to improve the domestic nuclear medicine imaging technology, establish an image quality assurance certification system and international talent exchange programs. Furthermore, improve the quality of nuclear medical imaging in order to help promote the market development of nuclear medicines by the Institute of Nuclear Energy Research (INER) . We will follow these points to complete in this project. (1) To establish an image quality assurance procedure for nuclear medicine medical instruments, to pass medical laboratory certification of nuclear medicine imaging technology, and ensures the accuracy of patients' nuclear medicine images. (2) To assist the verification of the new imaging analysis software developed by the INER. This is a retrospective image analysis study of cerebral neurological diseases, and will write a research report. (3) Host one international conference on nuclear medicine / medical materials.

(一) 摘要

本次計畫重點在於提升國內核醫造影技術、建立影像品保認證制度與國際人才交流計畫為主，提升核子醫學影像品質，才能協助推廣我國核能研究所之核醫藥物之市場開發，預計分成以下幾點完成：(1) 建立核醫醫學儀器之影像品保審核機制，通過醫學實驗室認證查核核醫影像造影技術，確保病患核醫影像之正確性。(2) 協助核能研究所開發之新中樞影像分析軟體之驗證，回溯性腦神經疾病之影像分析研究，完成研究報告一篇。(3) 主辦國際重要核醫藥物/醫材相關研討會 1 場次。

(二) 計畫目標

建立核醫影像品保審核機制，通過 TAF (Taiwan Accreditation Foundation) 醫學實驗室認證查核核醫影像造影技術為目標，確保病患核醫影像之正確性。並結合臨床影像資料庫，協助核能研究所開發中樞神經影像分析軟體之驗證，利用回溯性腦神經疾病之影像分析研究，完成研究報告。主辦國際重要核醫藥物/醫材相關研討會 1 場，以提升國家影響力與了解世界脈動位。

(三) 重要成果

本委託案主要分三個時程分期驗收：第一期為建立核醫醫學儀器之影像品保審核機制，通過 TAF (Taiwan Accreditation Foundation) 國家實驗室認證，驗收日為 109 年 08 月 20 日。第二期為協助核研所開發之新腦中樞影像分析軟體之試驗，提供臨床轉化係數及測試經驗回饋，驗收日期為 109 年 10 月 30 日。第三期為主辦國際重要核醫藥物/醫材相關研討會 1 場次，驗收日期為 109 年 12 月 20 日。

1. 說明研發成果之重要貢獻

(1) 建立核醫醫學影像品保審核機制

臺北榮民總醫院核子醫學部藉由通過 TAF 醫學實驗室認證，這是一套符合國際標準品質管理系統與流程的方法，依據「ISO 15189 醫學實驗室—品質與能力特定要求」、「醫學領域之核子醫學影像檢查對應 ISO 15189 使用指引」及「醫學領域之核子醫學影像檢查特定規範」等指引準則導入管理流程系統內，從病患接受核醫檢查前、中、後、編訂造影檢查之品質手冊規範，提供核醫界參考標準。

(2) 新腦中樞影像分析軟體測試報告

回溯性收集過往 10 例腦部功能異常病患，包含了阿茲海默症、巴金森氏症及癲癇患者共 10 位，整理出 10 位病患經過核研所軟體分析的圖形量化報告結果與本院核醫專科醫師目視讀片結果以及 Easy z-score imaging system (eZIS) 軟體分析比較，提供未來研發腦血流影像軟體之參考依據。

(3) 主辦國際重要核醫藥物/醫材相關研討會 1 場次

本計畫特別邀請六個國際貴賓演講該國家及其服務醫院機構的核醫藥物最新近況，依序為印尼、韓國、泰國、巴西、澳洲、美國等六個國家代表，透過網路視訊直播方式演講該國最新核醫發展趨勢，本次活動舉行方式為國內開放實體上課，國外貴賓採網路上線之演講方式與問答，雙軌同時進行國際會議，讓與會人員都獲得各國寶貴的核醫現況，對於未來各醫院的規劃有很大的貢獻參考。

2. 學術成就方面，共發表國內外研討會及期刊論文

本計畫為精進核醫技術、人才訓練培養與國際核醫經驗交流為主，在本計畫總共產生三個文件，可以提供未來國內核醫科發展核醫影像品質之參考依據。

(1) 臺北榮總核醫 TAF 品質手冊 (另冊)

(2) 核研所開發軟體分析臨床病患圖形報告與目視判讀報告

(3) 2020 核醫前瞻國際論壇大會手冊

(四) 展望

核醫影像檢查經由循環式品質管理手段 (Plan-Do-Check-Act, PDCA)，以確保品質持續改善，經由矯正措施，將可以使核醫影像技術水準提升，每項檢查都有標準流程和處置方式，讓核子醫學影像更臻完善，有助於核醫影像檢查業務之推廣應用。並期望透過發展影像分析軟體，同時建立臺灣全國正常腦影像資料庫，提供臨床判讀之重要依據，定量化腦部生理吸收狀態，提供臨床量化數據，成為未來診療的新利器。



十六、原子能科技醫學農業工業等應用之資料研析

計畫單位：核能研究所

Data collection on the application of atomic energy technology in medicine, agriculture and industry

Execution Unit : Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

Atomic energy has a wide range of livelihood applications, covering medical, agricultural, and industrial fields. This project designs questionnaire surveys and relevant research institutions and other Internet collections to collect the information about the application of atomic energy technology in medicine, agriculture, industry in Taiwan, Malaysia, etc.

(一)摘要

原子能的民生應用範圍廣泛，已涵蓋醫、農、工業等領域。本計畫設計問卷調查以及相關研究機構等網路蒐集，了解台灣及馬來西亞等國內外的原子能科技應用在醫、農、工業之資料研析。

(二) 計畫目標

原子能的民生應用範圍廣泛，除了核能發電外，並且已涵蓋醫、農、工業與環境等領域。因此本計畫目的在於收集原子能科技於醫學、農業、工業等應用之資料，例如原子能科技在醫學的臨床應用包括有放射診斷、核醫治療設備、核醫藥物等。

(三) 重要成果

原子能科技於醫學應用上常見於癌症治療、核醫診斷或是核醫治療。例如利用輻射線來殺死癌細胞並盡量避免對鄰近健康細胞造成太大傷害。利用核醫藥物對特定器官或是腫瘤之特異性而透過此專一性配對以進行核醫診斷或核醫治療。另外由於輻射本身不具高熱，因此輻射亦廣泛應用在醫學器材的消毒滅菌上。

而國際原子能總署 2018 年應用原子能科技援助亞太地區之經費項目分佈如圖 1，援助經費支出 25.3 百萬歐元。其中水與環境佔 7.6%，保安佔 22.0%，核知識推廣佔 10.4%，工業輻射技術應用佔 4.5%，健康與營養佔 20.4%，糧食與農業佔 24.0%，能源佔 11.2%。

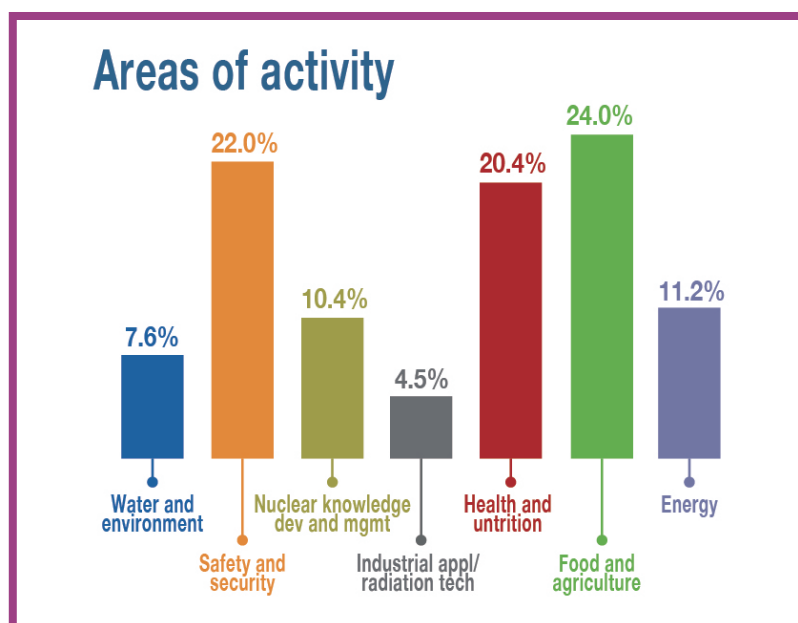


圖 1 國際原子能總署 2018 年援助亞太地區之經費項目分佈。

國外醫學應用方面：馬來西亞擁有 144 間公立醫院、240 家私立醫院，共 42,300 個公立醫院病床數、16,000 個公立醫院病床數；具核子醫學設備的醫院數 6 間，有 41 床政府核准之隔離設施用床。核醫市場方面，藥品市場約 10 億美元，設備市場出口約 103 億美元、進口約 103 億美元。該國有超過 70 位以上的核醫專科醫師，核醫設備分類的數目統計如下，PET Center 數目：政府部門（衛生部）為 2、公共學術研究中心為 3、私立醫院約 11；SPECT/CT 數目：政府部門（衛生部）為 6，其中包含 9 台加馬相機、5 台 SPECT / CT、2 台 PET / CT；Cyclotron 數目：計有 3 台，政府部門（衛生部）為 2、私立醫院為 1。

輻射照射在農業的應用，用於防治病蟲害，抑制發芽，殺蟲、滅菌，品種改良及延長食品保存期限，增加農作物和食物的產量，或提高農作物的經濟價值等。例如核研所利用輻射照射以抑制鬱金香球莖、中國水仙花之鱗莖，以防止倒伏，增進觀賞價值；亦利用輻射照射抑制大蒜發芽。一般輻照農業用途之使用目的與範圍如表 1。

放射照相術在工業上的應用，可用於檢視金屬鑄件或焊接部位裂隙及缺陷，亦可用於檢視建築物或雕像的結構缺陷；另可用於度量極微小的厚度，如金屬薄片。輻射尚有很多其他方面的應用，如藝術品鑑定及古物保存。除此之外考古學家亦可利用碳-14 的放射衰變計算出史前時期古物的正確時間。

表 1 台中區農業改良場所列輻照農業用途之使用目的與範圍

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

環境方面，同位素技術可應用於確定水資源的來源、年齡、受污染的程度，以及了解地上和地下間水資源之相互移動和彼此間作用。也可以使用同位素技術去探尋隱藏在地下的水資源、規模，並了解其受氣候變遷的影響。

(四) 展望

一般民眾常將輻射與核能發電直接連結而有莫名的恐懼，經由原子能科技於醫學、農業、工業等應用之充分資料，可以了解該科技目前的民生應用層面，並揭開輻射神秘面紗。日後可規劃針對新進國家，其放射診斷、核醫治療設備、核醫藥物等未來發展趨勢與策略進行收集；也可以規劃國際間的交流與合作。





原能會核能研究所利用輻射照射鬱金香球莖，防止倒伏，可確保不受溫度影響而徒長，增進觀賞價值。



大蒜照射抑制發芽。

圖2 核研所應用輻射照射於鬱金香與大蒜之試驗。



肆

潔淨能源與永續發展



一、含綠能三相在線潮流分析之研究

計畫單位：核能研究所

Study on Three-Phase Power Flow Analysis Incorporating Renewable Energy

Execution Unit : Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

With a large amount of green / renewable energies integrated into the electric distribution system it may cause various voltage problems, and then further affects the system stability and safety. This is due to the intermittent characteristics of natural energies which cause the output power variation on the renewable energy facilities and unbalanced installations of renewable power generations. The most commonly seen voltage problems include under/over voltage, voltage sag/swell, voltage imbalance, and voltage fluctuation, etc., and the severity is followed with the installation capacities of these renewable energies. Thus, to seek the solutions for these voltage problems may take more concerned in recent years. This project aims to investigate the power flow analysis technology based on INER microgrid system that be formed as virtual distribution system. The main tasks of this work include (i) to establish the modelling technology of the distribution system and critical energy facilities in system for simulation and power flow analysis; (ii) to build real-time simulation environment of distribution system for scenario simulation test and method validation; (iii) to develop voltage control strategy that be applied to transformer on-load tap changer (OLTC) , smart converter, and energy storage system for improvement and mitigation of voltage problems.

(一) 摘要

綠色/再生能源之技術應用近幾年已成為各國所重要發展之電網技術，當大量的再生能源併入配電系統後衍生之電壓變動問題將影響區域電網之供電穩定性與安全，此乃自然能之間歇特性導致再生能源發電設施之輸出電力產生變動以及系統中能源設施失衡的安裝設置所造成。常見的電壓變動影響有電壓升/降、電壓不平衡以及電壓閃爍現象等，其嚴重度亦受到併接於饋線上的再生能源安裝容量而有所異。本計畫以核研所之微電網示範場域經配電饋線化後之系統架構作為研究對象，進行配電系統潮流分析技術研究，主要內容包含 (i) 建立配電系統與相關關鍵能源設施建模技術，用於系統模擬與潮流分析；(ii) 以 MATLAB/Simulink 與 OPAL-RT 等軟/硬體環境作為基礎，建立配電微電網系統即時模擬環境，用於情境模擬測試與方法驗證；(iii) 開發具變壓器有載分接頭、智慧變流器與儲能系統之協調電壓控制策略，用於配電系統電壓問題改善與抑制。

(二) 計畫目標

在能源政策積極推動下，再生能源於電力系統中之安裝占比持續提升，在達到安全與穩定供電之電力系統運轉考量下，如何有效評估大量再生能源併網對系統造成之衝擊，以及預先規劃好相關改善與抑制策略，將是達到此項目標前之重要課題，也因此讓開發適用之潮流分析方法、建構合宜之系統/組件模型以及提出有效之協調控制策略，成為本計畫專研高占比再生能源併網議題之主要執行目標。

(三) 重要成果

本計畫以圖 1 系統架構為對象，完成以下內容探討：(1) 三相不平衡配電系統之潮流、電壓與電流（含中性線）分析；(2) 不平衡負載與太陽能發電對於整體微電網之影響；(3) 開發如圖 2 所示之整合有智慧變流器、儲能系統控制與變壓器 OLTC 調節之協調式控制策略，用於微電網饋線系統之電壓問題改善；(4) 透過 OPAL-RT 建構即時模擬環境，作為微電網配電饋線之測試驗證。

1. 說明研發成果之重要貢獻

(1) 完成適用於具微電網之配電系統饋線電壓控制策略開發

傳統配電系統較常採用變電所 OLTC 調節或於饋線中安裝補償電容之方式來抑制電壓變動問題。然而，隨著現今再生能源安裝占比於系統中提高，其除對既有系統造成運轉上之衝擊，連帶也為傳統調控方法之操作帶來挑戰。本計畫主要研究配電系統併入高占比太陽能發電時所造成之電壓問題，並在具有微電網系統架構下提出可有效改善饋線電壓變動之協調控制策略，其整合了太陽能智慧變流器、儲能系統與變壓器 OLTC 三項設施之操作。計畫中，透過各種情境之模擬分析，找出了各項設施獨立運轉時之有效調控範圍，以及在何種困難情境下須啟動協調控制來維持系統電壓穩定。所開發之控制策略，在電壓調節設計上分別依據 IEC 與 CNS 國際與國家標準之要求進行操作，讓整體方法符合法規適用性；此外，於協調控制中加入相關改良機制，避免了不同設施在執行電壓調節時發生追逐現象，進而影響改善之效。整體計畫提出之方法，如圖 3 所示經由完整之模擬試驗得到良好之驗證，預期所提出之成果未來可作為電網與再生能源規劃之參考依據。

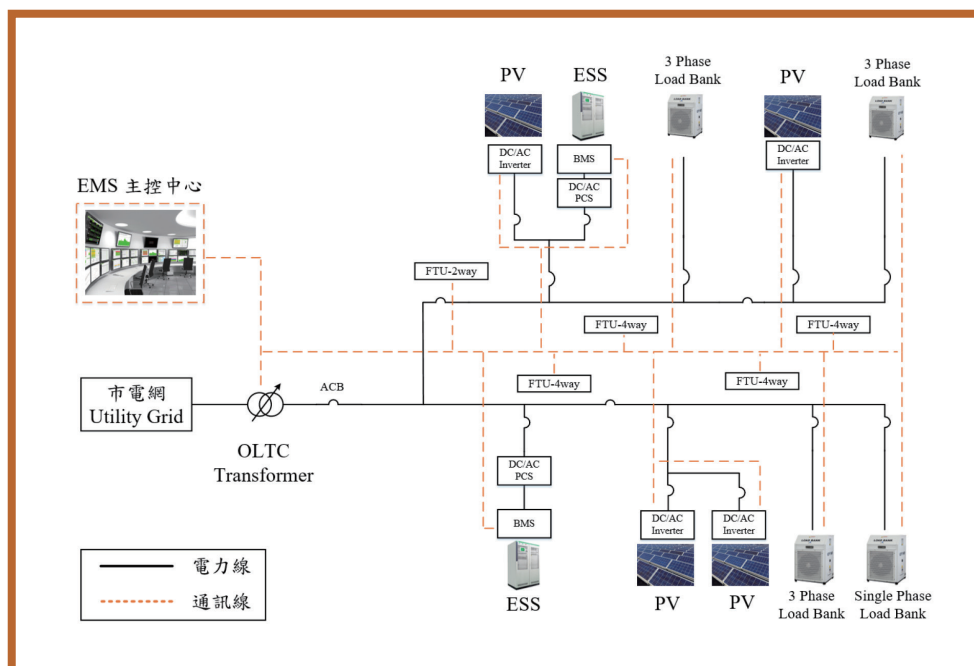


圖 1 微電網系統架構圖。

2. 學術成就方面，共發表國內外研討會及期刊論文

- (1) IEEE ICASI 2020 會議發表 Improvement of Voltage Fluctuation by Fuzzy-Based Inverter Voltage/Var Control for the Distribution System with PV Integration.
- (2) IEEE IS3C 2020 會議發表 Using Multi-Mode PV-STATCOM System for Steel Plant Power System Voltage Fluctuation Mitigation
- (3) Energies 期刊發表 Assessment of PV Hosting Capacity in a Small Distribution System by an Improved Stochastic Analysis Method

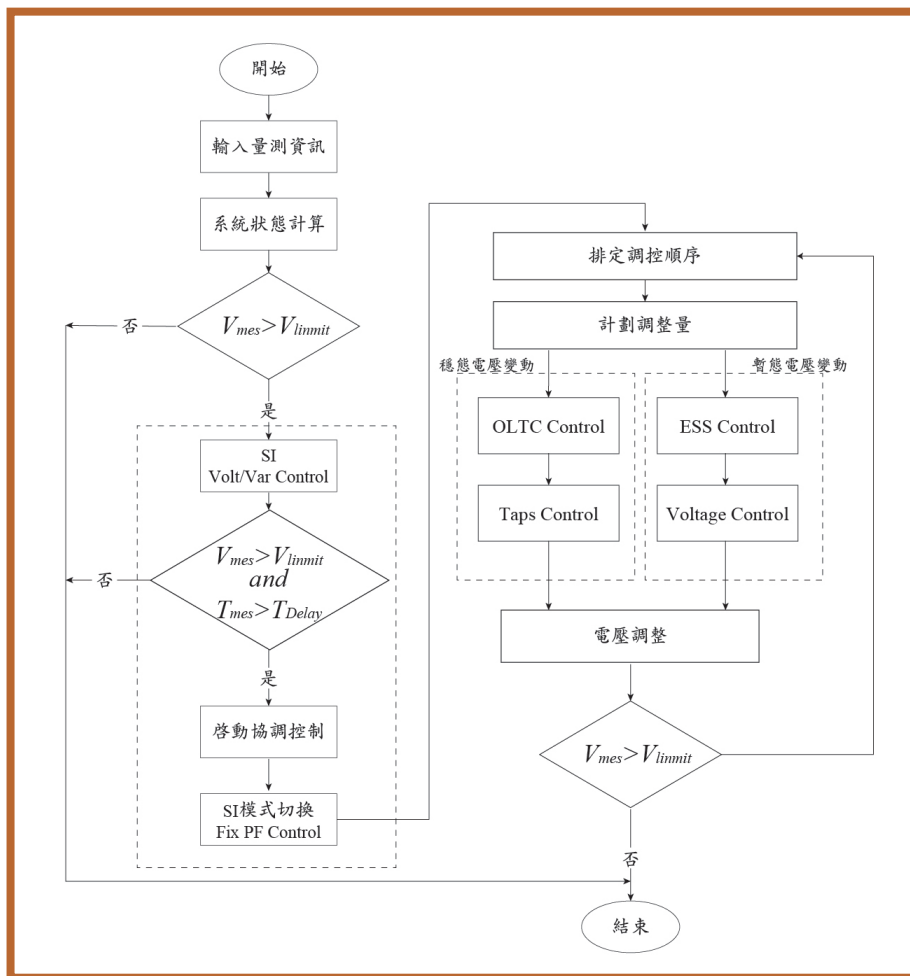


圖 2 本計畫提出之協調控制策略。

(四) 展望

高占比再生能源併入配電系統運轉所帶來之運轉衝擊與電力品質問題持續受到各界所重視，惟有維持良好之併網控制與操作，方能讓再生能源之利用於系統中達到最大化。致使，尋求高效且合乎時代之分析技術與系統調控方法乃是國內朝向先進電網技術發展所應關注之重要課題之一。

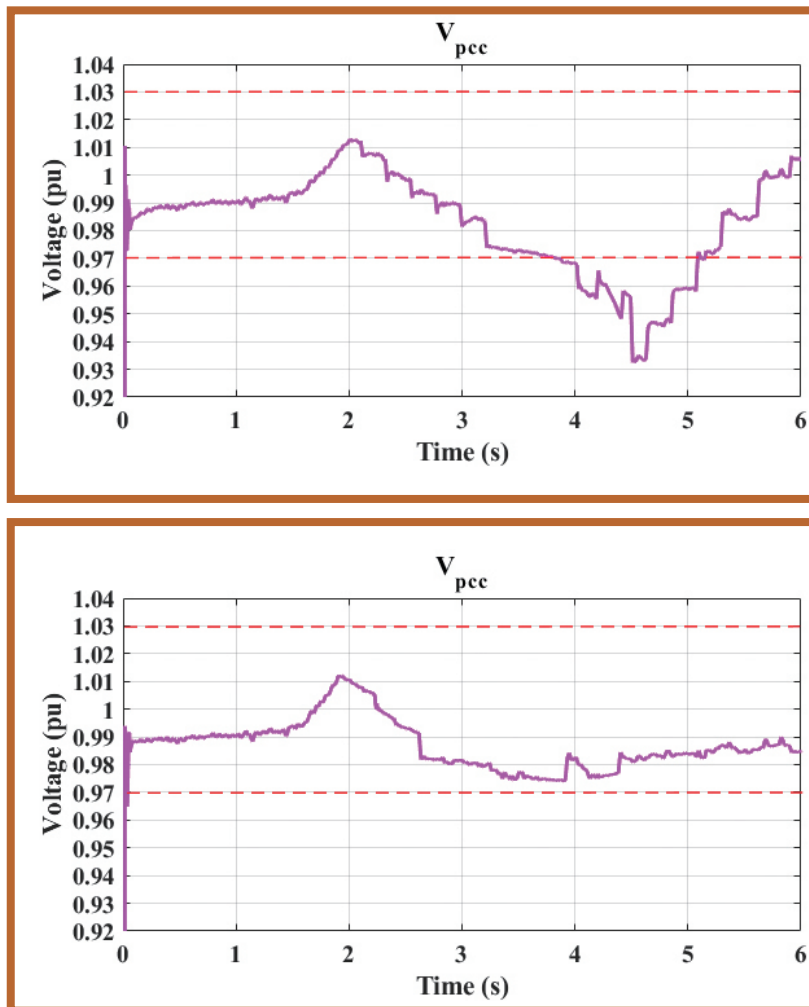


圖 3 併接點電壓：(左) 不具協調控制；(右) 具協調控制。

二、配電級綠能與需量排程之研究

計畫單位：核能研究所

Study on Switching Scheme of Distribution Networks Considering Green Energy and Demand Response

Execution Unit : Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

This project aims to establish a systematic feeder automatic switching scheme for reducing the impact of distributed renewable energy high penetration and demand users' participation in the demand response program in the regional distribution networks. Therefore, a research on switching scheme on green energy and demand response in distribution networks is planned. Firstly, the relevant researches related to the integration of high penetration of distribution green energy and demand response to improve the operation efficiency of the regional distribution networks has been extensively collected as the following research reference for this project; secondly, it is proposed to build a simulation analysis platform based on Python, including a database system, forecasting program module, power flow analysis module, and optimization program module ; finally, the load and weather data of the regional distribution networks was imported into the database through the developed platform, and the OpenDSS is used to build the grid model. Then the deep learning and optimization algorithms are also be applied to analyze the relationship between feeder load and green energy through the built platform, the optimal phase arrangement of the three-phase loads, and the optimal switching scheme for feeder reorganization.

(一) 摘要

本計畫建立一系統化饋線自動開關切換排程，其目的為降低饋線上分散式再生能源高滲透與需量用戶參與需量反應方案對區域配電網之衝擊與影響，因此擬訂進行配電級綠能與需量排程之研究。首先，廣泛蒐集彙整整合綠能高滲透與需量反應作法以提高區域配電網運轉效能之相關文獻，作為本計畫後續研究參考；其次，擬定以Python為基礎建立模擬分析平台，包含資料庫系統、預測程式模組、電力潮流解析模組與最佳化程式模組；最後，藉由所開發之平台匯入區域配電網負載資料與氣象資料於資料庫，並利用OpenDSS建立電網模型，再以深度學習與最佳化演算法透過所建置之平台進行饋線負載與綠能關連性分析、負載最佳相位配置，以及饋線重組最佳開關切換策略。

(二) 計畫目標

在正常運轉情況下，當饋線尖峰負載過高時，例如：台灣夏季預期外的大量空調用電，造成部分饋線異常重載，故需即時切換轉供；或者當系統需要緊急卸載時，可將重要負載（如醫院等）切換轉移至其他饋線；再者，隨再生能源的大量併網，饋線上上群聚大量太陽光電發電系統所發電力可被轉供至相對時間下其他尖峰需量過高之饋線；除此之外，近年來（特）高壓用戶參與計畫性與臨時性需量反應，以及需量競價等方案，在尖峰用電與系統發生運轉可靠度期間抑低用電已舒緩供電瓶頸亦可能造成區域配電網內饋線負載分布不均，此時可透過開關切換達饋線負載均勻分布。在台電調度中心，配電負載轉供可分為定期轉供與不定期轉供。定期負載轉供是以降低系統損失、提升系統運轉穩定為目的，以及變電所電力設備定期檢修時，將其負載轉移至其他變電所之手段；而不定期負載轉供則以縮小停電區域範圍及儘速復電為原則。而定期負載轉供搭配配電變壓器相別調整，可有效提高負載因素、參差因素、三相平衡度，以及饋線末端電壓，然而兩者間的相互關係複雜，在最佳運轉配置決定上不容易，台電目前亦缺乏較有系統性的整合方式，故本計畫完成開發一最佳化模擬平台，其架構圖如圖 1 所示。

(三)重要成果

本計畫以饋線歷史負載與氣象站資料進行預測與關聯分析，預測方法使用機器學習之長短期記憶 (Long Short Term Memory, LSTM) 與極限梯度上升 (eXtreme Gradient Boosting, XGBoost)，兩預測法則之細節設定則整理如下表 1，測試之各狀態變數的平均貢獻度等分析數值整理於表 2，圖 2 為 168 小時之饋線負載實際值、LSTM 法與 XGBoost 法之預測結果。在某時間區域兩方法之方均根偏移分別為 56.43 與 63.56，故此饋線負載以 LSTM 方法預測模型較為精確。圖 3 為兩方法以沙普利值關聯分析結果，在此饋線負載中以 LSTM 模型分析出之重要因子亦較 XGBoost 合理。

台電配電變壓器相別調整操作習慣為以一個月為週期，區處以人工調閱報表的方式決定相位配置；而饋線開關轉供部分則由調度中心統籌，視情況進行饋線結構重整，達到系統更有效的運轉結果。本計畫則提出一套系統性的整合平台，將鄰近之各變電所、饋線，以及負載預測資料建模，再以饋線負載均化、改善損失與饋線末端壓降、不平衡率等作為最佳化目標，並以饋線電壓以及併聯轉供電壓大小與相位差等作為限制，利用強化學習法之 Asynchronous Advantage Actor-Critic (A3C) 法求解配電變壓器相別調整，以及饋線開關的切換，使得系統有明確性、規劃性的得出最佳運轉方法，達到系統運轉效能提升、總損失下降，以及降低保護電驛誤動作等結果。表 3 為根據式 (1) 目標函數制定之 4 個模擬案例及其最佳化模擬結果，分別考慮不同權重不同權重之饋線總損失、出口中性線電流，以及調整個數。其中降低調整個數是考量人工作業成本，而圖 4 顯示案例一之饋線損失與其均化結果。

$$(1) \quad OF = \left[\omega_1 \left(\frac{E_{loss}^i - E_{loss}^{min}}{E_{loss}^{max} - E_{loss}^{min}} \right)^p + \omega_2 \left(\frac{I_n^i - I_n^{min}}{I_n^{max} - I_n^{min}} \right)^p + \omega_3 \left(\frac{N^i - N^{min}}{N^{max} - N^{min}} \right)^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

(四) 展望

本計畫依據所擬定目標與工作項目。首先，廣泛蒐集並彙整有關綠能高滲透、需量反應、需量預測與人工智慧最佳化等方法用以提高區域配電網運轉效能之相關文獻，作為本計畫立論參考依據；其次，以Python程式語言為基礎建立一套系統化求解方法與模擬分析平台，包含FTU資料轉檔方法、預測程式模組、電力潮流解析模組、影響因子分析模組與最佳化排程模組；最後，藉由所開發之程式匯入區域配電網負載資料與氣象資料於SQLite資料庫，並利用OpenDSS建立電網模型，再以深度學習與最佳化演算法進行饋線負載與綠能關連性分析、負載最佳相位配置，以及饋線重組最佳開關切換排程，本計畫以台電雲林區處虎菁配電變電所所轄饋線形成之區域配電網進行模擬分析，結果顯示本計畫所提方法以開關切換策略與相位平衡建議可有效降低中性線電流與系統損失，提高配電網運轉效能，以期進一步由下而上提高饋線、區域配電網至輸電網運轉穩定度；此外，本計畫亦藉由分析影響饋線淨負載變動因子，粗略評估饋線之負載與再生能源佔比，用以瞭解饋線淨負載受天候之影響程度。

表 1 預測法則之細節設定比較

LSTM	訓練輸入張量維度	訓練輸出矩陣維度	疊代次數
	12051×4×7	12051×1	50
XGBoost	訓練輸入矩陣維度	訓練輸出矩陣維度	樹個數/學習率
	12055×7	12055×1	32000/0.0080

表 2 100 次多項式計算測試之各因子之貢獻度、平均值、誤差比與標準差

方法	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	平均值	誤差比 (%)	標準差
LSTM	1.137	1.145	1.137	1.139	1.149	1.149	1.141	1.141	14.1	0.00516
XGBoost	1.112	1.177	1.113	1.148	1.037	1.243	1.154	1.143	14.3	0.06376

表 3 饋線重構與負載換相最佳化模擬案例及其結果

Case	Weighting			E_{loss} (kWh)	I_n (A)	N
	ω_1	ω_2	ω_3			
Original	-	-	-	9512	34.8	-
Case 1	1	0	0	8249	28.8	812
Case 2	0	1	0	8698	19.9	774
Case 3	0.8	0.2	0	8297	23.2	796
Case 4	0.4	0.3	0.3	8331	21.2	398

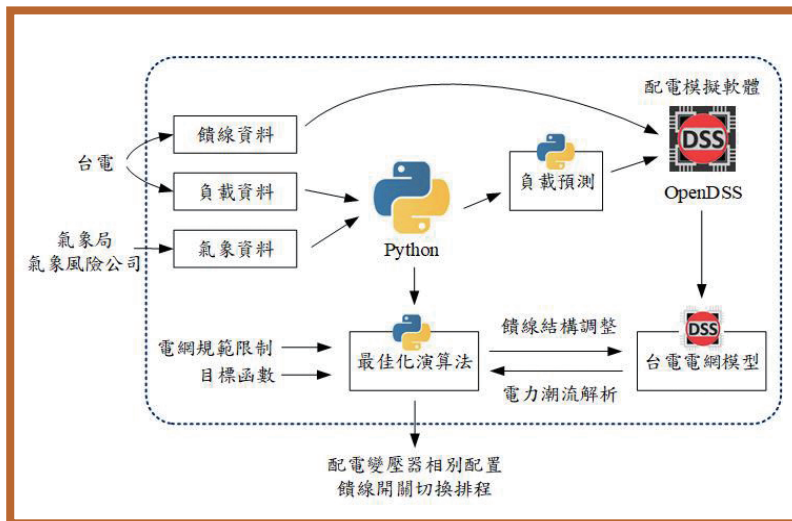


圖 1 本計畫架構圖。

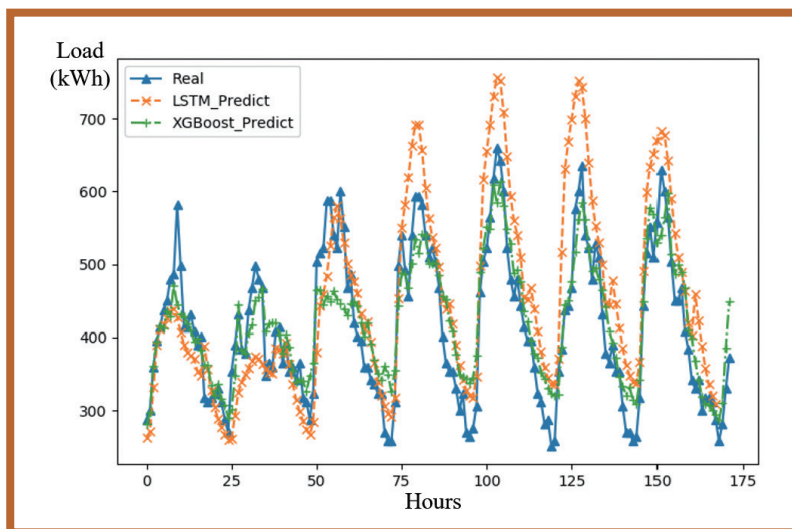


圖 2 實際負載、LSTM 法與 XGBoost 法。

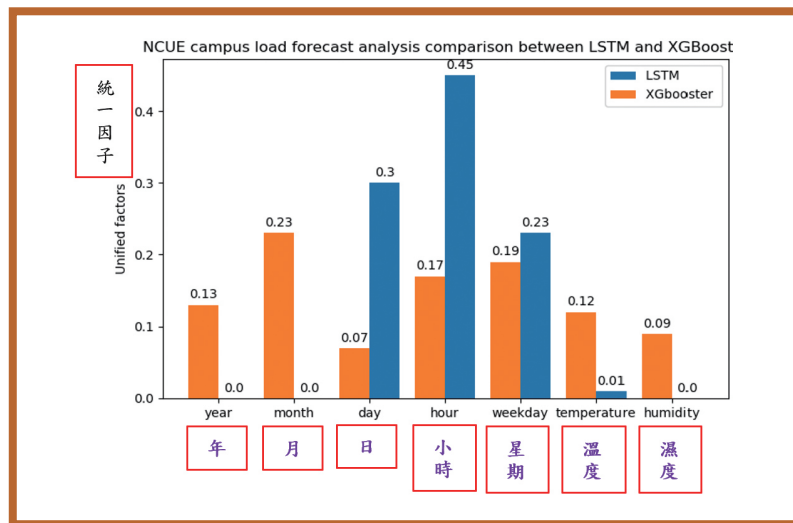


圖 3 LSTM法與XGBoost法之分析因子結果。

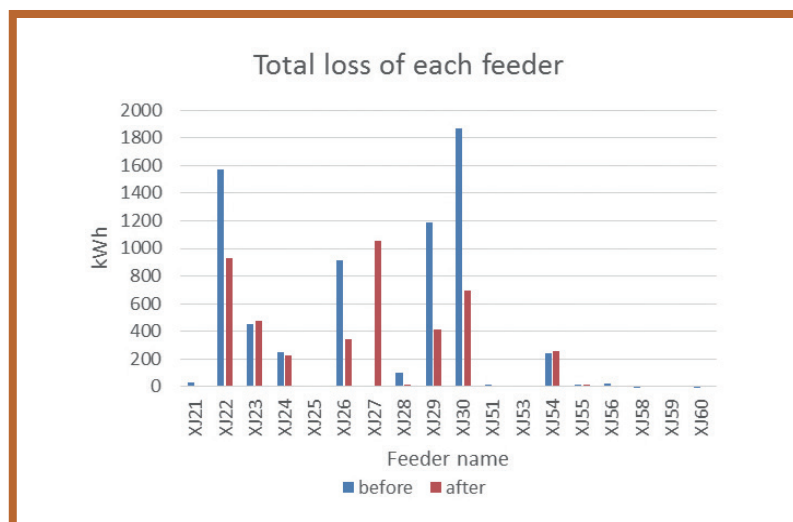


圖 4 Case1 之饋線損失降低與均化結果。

三、含綠能之三相不平衡配電 轉供策略研究

計畫單位：核能研究所

Study of Electric Power Distribution for Three-phase Unbalanced Power System

Execution Unit : Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

The main objective of this project is to study the generation and distribution capabilities of various distributed generators. Due to the high penetration rate of the renewable energy, the decline of sensing components of various electronic equipment, and three-phase unbalanced loads, the control performance of the microgrid is very poor and cause the energy loss. To overcome this problem, the regulation technology and transfer strategy between the distributed generators and the feeder of the microgrid are researched in this project to maintain the stability of the microgrid system by compensating the three-phase unbalanced loads. Moreover, the microgrid system of the institute of Nuclear Energy Research (INER), including diesel generators, storage system and three-phase unbalanced loads, is adopted to established the simulation models. Based on this system, the regulation and transfer strategy of the distributed generators in different operating modes will be discussed to maintain the stability of the microgrid system.

(一) 摘要

本計畫主要目標為研究微電網內各分散式電源與儲能自主發電調配能力，以因應再生能源之高滲透率、各項電子設備感測元件隨時間衰退與三相不平衡負載等，所造成控制不佳與系統能源損耗情形，為克服此問題，本計畫將研究微電網內各分散式電源饋線系統間調控技術與轉供策略，並透過補償三相不平衡負載，以強化微電網系統之穩定性。此外，本計畫將依據核能所微電網系統為基礎，建立相關微電網系統，其微電網系統包含柴油發電機、儲能系統與三相負載，並依此探討分散式電源在不同運作模式之間互相轉供策略以維護微電網系統之穩定性。

(二) 計畫目標

本計畫主要目標為研究微電網內各分散式電源與儲能自主發電調配能力，以因應再生能源之高滲透率、各項電子設備感測元件隨時間衰退與三相不平衡負載等，所造成控制不佳與系統能源損耗情形。本計畫依據核能所微電網系統為基礎，建立相關系統模型，包含柴油發電機、儲能系統與三相負載，並依此探討分散式電源在不同運作模式之間互相轉供策略以維護微電網系統之穩定性。

(三) 重要成果

在微電網系統中最重要之議題為功率分配亦即電能管理，目前在微電網系統分散式電源控制部分，已經發展出各種控制法則，其中最為常見的控制法則區分如下：(1) 定功率控制法 (P/Q Control)、(2) 電壓、頻率控制法 (V/f Control)、(3) 下降控制法 (Droop Control)。本計畫研究微電網內各分散式電源饋線系統間調控技術與轉供策略，並透過補償三相不平衡負載，以強化微電網系統之穩定性。本計畫運用瞬時功率理論發展出不平衡負載補償控制策略，如圖 1 所示，首先，將三相不平衡負載之電流

訊號經由瞬時功率計算得到所需補償功率 (P_L 、 Q_L)；接著，同時將變流器直流鏈電壓經由直流鏈電壓之控制方法得到電流控制力 (\bar{P}_{loss})；為了使責任分界點無虛功率的存在，所以令瞬時虛功命令為零 ($Q_s^* = 0$)，上述結合瞬時實功率 P_L 與瞬時虛功率 Q_L 。利用瞬時功率反轉算出 \hat{a} 軸與 \hat{b} 軸的電流命令 (i_{La} 、 i_{Lb}) 再經由座標轉換得到三相電流命令 (i_{La} 、 i_{Lb} 、 i_{Lc})，最後將目標參考電流透過電流控制技術產生脈波寬度調變訊號，訊號送入功率開關產生補償電流，以改善電力品質。

1. 說明研發成果之重要貢獻

- (1) 透過 PSIM 軟體開發模型並進行模擬，不平衡情境顯示在 $t = 0.5$ s 時 a 相負載從 48.4Ω 變成 72.6Ω ，b 相及 c 相負載為 48.4Ω ，負載之電壓、電流如圖 2 所示，柴油發電機提供負載所需之電壓、電流如圖 3 所示，三相六臂變流器之儲能系統補償柴油發電機之不平衡電流，三相六臂變流器之儲能系統之電壓、電流如圖 4 所示。由圖 3 及 4 可知，儲能系統結合補償策略，可使柴油發電機三相輸出電流達平衡狀態。
- (2) 本研究所發展之電力控制與補償策略雛型，可用來針對不同電壓管制層級，進行微電網穩定性調控，達成用電效率及能源安全效益的提昇。除可輔助國內能源廠商作為技術開發之參考，亦能促進國內電力相關產業投入微電網之技術提升。
- (3) 主持人於 2020 年 11 月榮獲 IEEE 2020 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C 2020) 最佳論文獎。

2. 學術成就方面，共發表國際期刊論文一篇。

(1) Cheng-I Chen, Yeong-Chin Chen, Chung-Hsien Chen, and Yung-Ruei Chang, "Voltage Regulation Using Recurrent Wavelet Fuzzy Neural Network-Based Dynamic Voltage Restorer," *Energies*, 13, 6242, 2020, pp.1-19.

(四) 展望

隨著微電網系統及電力電子技術的發展，不同類型的負載與日俱增，其中電感性負載佔大多數，電感性負載會造成輸電系統上有虛功率傳遞，這樣的現象會增加配電系統的線路損耗。現今正值智慧電網相關系統整合與建置階段，電力品質補償裝置之設置與相關控制技術實為值得關注之發展項目。

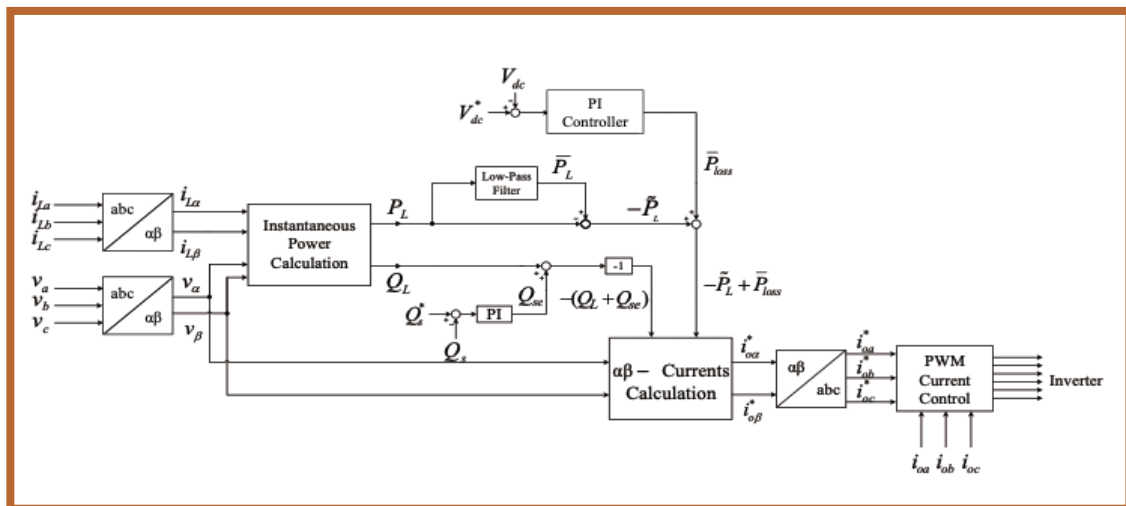


圖 1 不平衡負載補償控制架構圖。

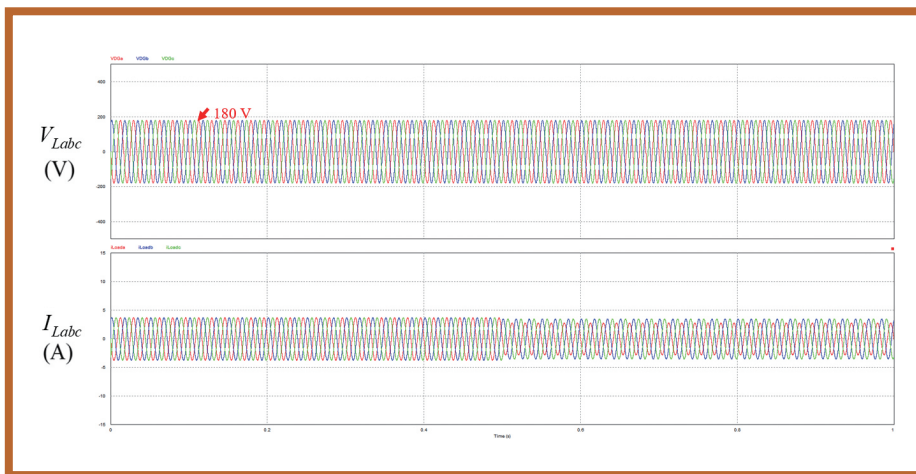


圖 2 負載之電壓、電流。

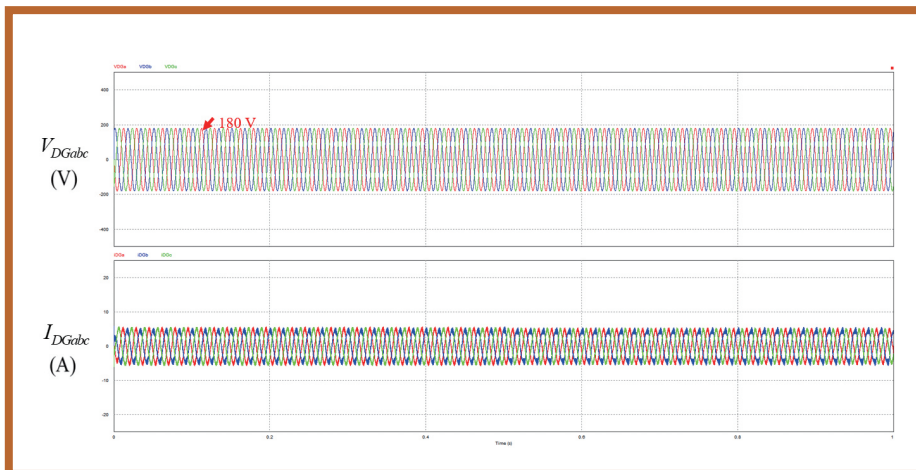


圖 3 柴油發電機之電壓、電流。

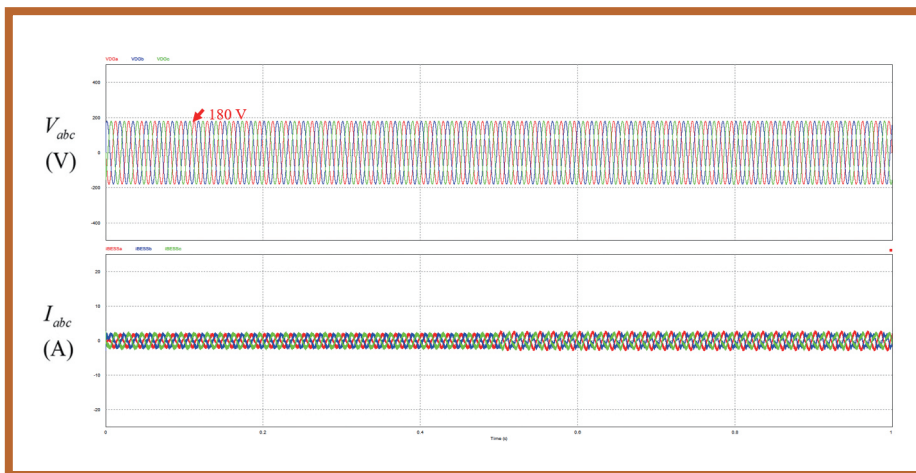


圖 4 三相六臂變流器之儲能系統之電壓、電流。

四、電解液雜質影響分析與處理程序技術之研究

計畫單位：核能研究所

Impurity Analysis and Improvement for Recycling Vanadium Electrolyte

Execution Unit : Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

Recycling vanadium electrolyte with impurities and chemical additives from the raw materials to the refining process may result in reduced electric performance and damage the equipment and premature component damage. This research was studied to remove impurities by commercial active carbon, resin and precipitation method. The results show precipitation method was the highest efficiency, and the removal efficiencies of iron and ammonium ions were more than 70%. Regenerative electrolyte of coulomb efficiency, voltage efficiency and energy efficiency were 92.8%, 87.3% and 80.9%, respectively under the conditions of commercial all vanadium redox cell testing (@100 mAcm⁻², average output power density >120 mWcm⁻²).

(一)摘要

從事業廢棄物中煉製鈮電解液，因煉製過程中的所有雜質與化學添加劑皆有可能殘留於氧化鈮中而進入電解液，導致電池性能降低與元件提早損壞。本委託計畫在分析商用電解液與本計畫含雜質電解液中發現最主要的雜質為鐵離子與銨離子。因此本研究經評估商用活性碳、商用離子樹脂和沉澱法等方式去除電解液中的雜質，結果顯示沉澱法去除鐵離子與銨離子達 70% 以上。再生後電解液經全鈮液流單電池在市售

全鈳液流電池測試的條件下 (@100 mAcm⁻²，平均輸出功率密度 >120 mWcm⁻² 下) 測試後庫倫效率、電壓效率與能量效率依序庫倫效率、電壓效率與能量效率依序為 92.8%、87.3% 與 80.9%。

(二) 計畫目標

綠能結構用之儲能系統組件產業應用之全鈳液流電池系統 (VRFB) 之電解液占整體系統成本的 40% 以上，為大幅降低鈳電解液成本，可從事業廢棄物中煉製鈳電解液。然而事業廢棄物的提煉鈳液方法大部分經由鈉化培燒法或是聯胺法提煉而成，因此從原物料到煉製過程中的所有雜質與化學添加劑皆有可能殘留於氧化鈳中而進入電解液中，會導致電池性能降低與元件提早損壞。本研究擬以藉由本計畫含雜質電解液建立鈳電解雜質去除程序，並分析比較處理前後之成分與電性分析，建立連續式處理程序。

表 1 含雜質電解液處理前後結果

本計畫電解液 (1.6 M)	雜質, ppm (Fe: 73.2 ; NH4+: 650)		去除率
活性碳法	Fe:	71.6	2 %
樹脂法	Fe	71.9	2 %
沉澱法	Fe	20.0	73 %
	NH4+	148.2	77 %

表 2 再生電解液單電池電性測試條件與結果

測試樣品	測試條件	CE%	VE%	EE%
本計畫電解液	1.6 M @ 50 mAcm ⁻²	92.29	4	86.6
本計畫再生電解液	1.6 M @ 50 mAcm ⁻²	93.6	92.6	86.6
	1.6 M @ 100 mAcm ⁻²	92.8	87.3	80.9
	2.0 M @ 50 mAcm ⁻²	93.1	90.8	84.4

(三)重要成果

1. 說明研發成果之重要貢獻

(1) 電解液處理前雜質成分與電性分析分析：含雜質電解液與商用鈳電解液之經感應耦合電漿 (Inductively Coupled Plasma, ICP) 分析後，可知鐵與鉍離子遠高於標準。鐵的標準電位為 -0.44 V ，其電位會影響全鈳液流電池的充放電電壓與效能 (如圖 1 所示)，需去除。關於鉍離子對鈳電池的影響文獻研究結果正反不一[1][2]，但電解液規範將鉍離子濃度設定在 50 ppm 以下，因此鉍離子對全鈳液流電池的影響仍有待探究。

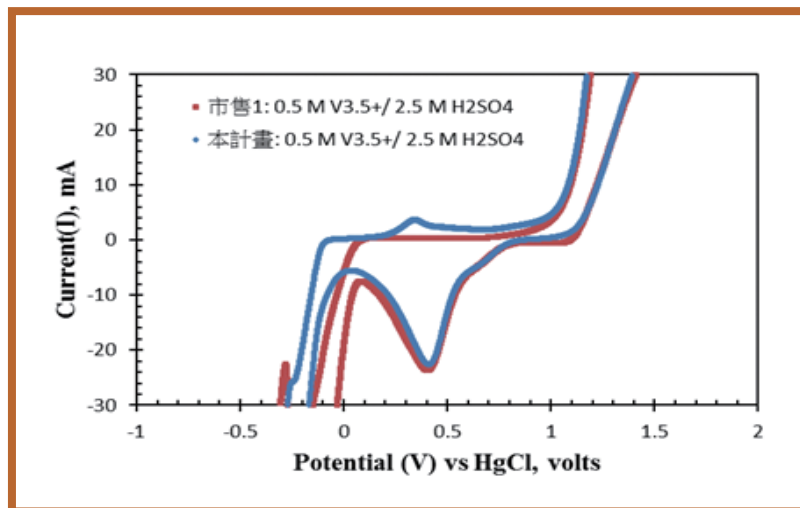


圖 1 雜質電解液與市售電解液。

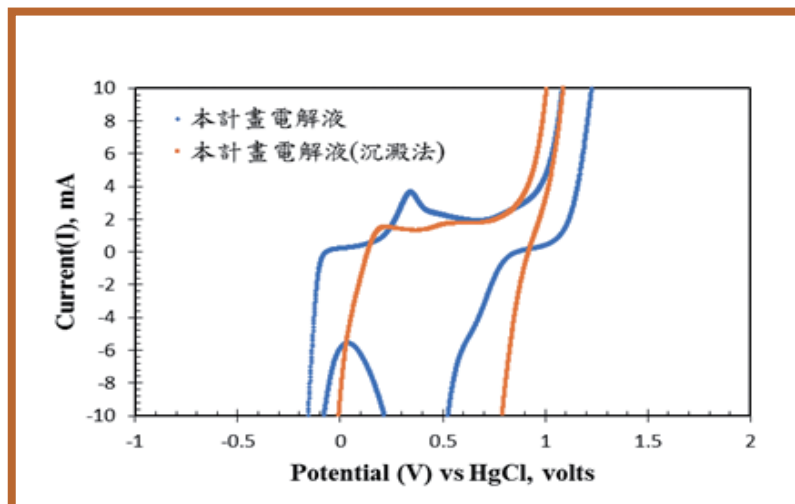


圖 2 處理前後之電解液分析。

(2) 處理程序評估與電性測試：由表 1 之 ICP 分析結果可知，無論是活性碳與離子樹脂調整效果皆不顯著，而沉澱法去除鐵離子與銨離子的效果較為明顯（去除率為 70% 以上），CV 分析如圖 2 所示，並依實驗結果建立乙處理程序如圖 3。再生之電解液經全鈳液流單電池測試後，在相同 1.6 M 比較 50 mAcm⁻² 與 100 mAcm⁻² 的電流密度的電壓效率結果可發現依序為 92.6 % 與 87.3 %（如表 2 和圖 4 ~ 圖 6）。

(四) 展望

鈳電解液會隨著全鈳液流電池的普及價格越高，但全鈳液流電池的效能主要取決於鈳電解液品質。因此，電解液中的雜質去除是非常值得研究的。本研究經評估商用活性碳、商用樹脂和沉澱法比較後，雖沉澱法去除雜質效果較佳但耗能，未來可在持續優化處理程序。

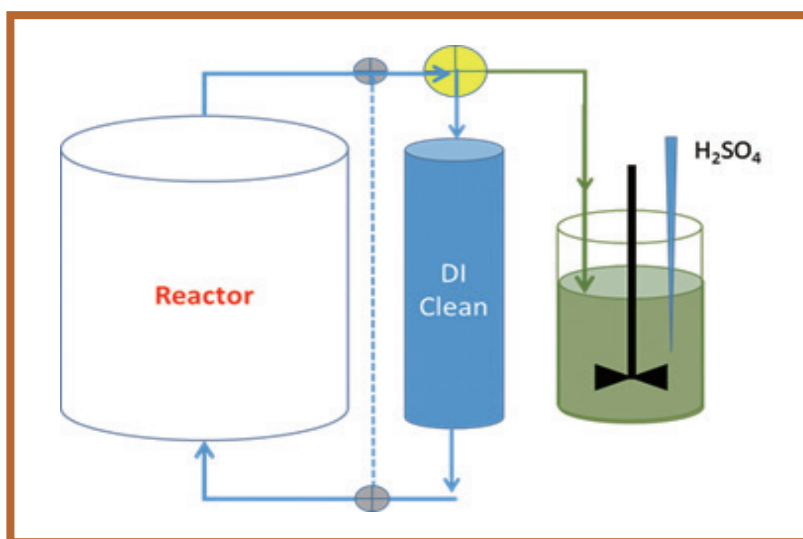


圖 3 連續式處理程序。

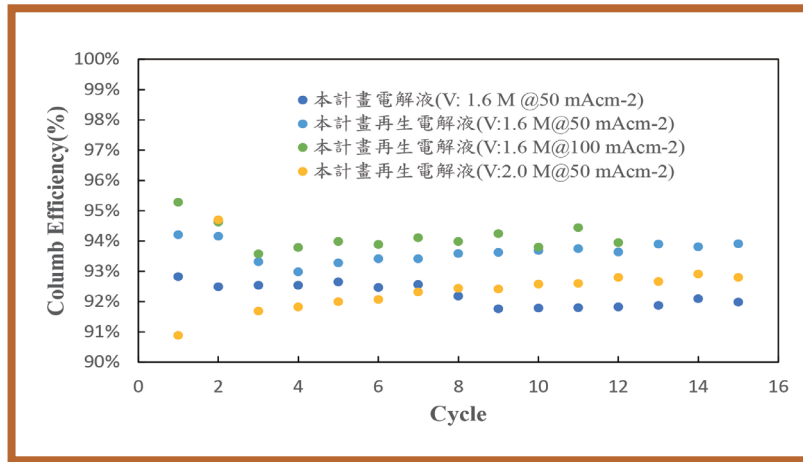


圖 4 再生電解液庫倫效率。

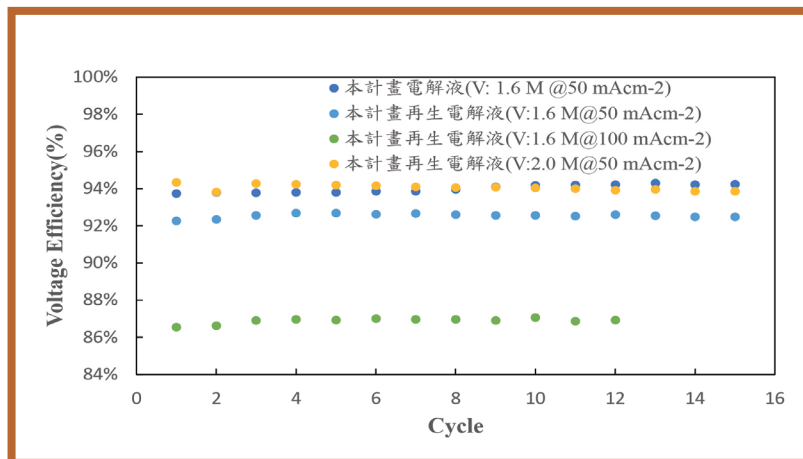


圖 5 再生電解液電壓效率。

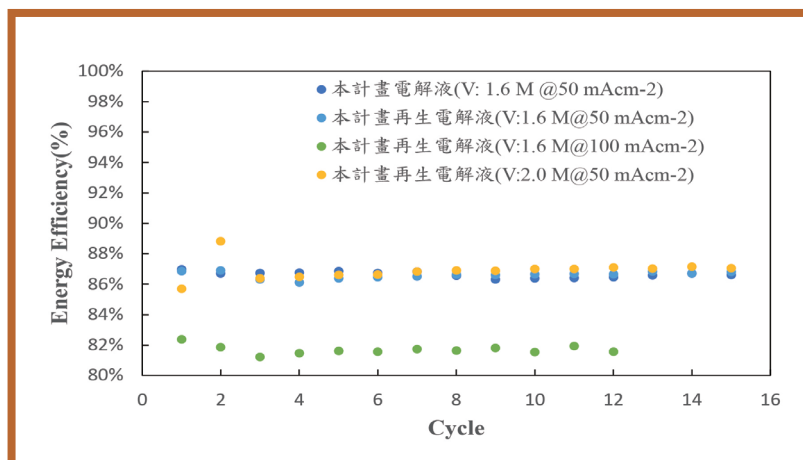


圖 6 再生電解液能量效率。

五、SOFC 硬焊封裝接合件高溫耐久機械性質

計畫單位：核能研究所

High-Temperature Durable Mechanical Properties of Braze Sealing Joint for SOFC

Execution Unit : Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

The aim of this study is to investigate the high-temperature creep properties and fracture pattern in an SOFC stack using braze sealing technique. Experimental results indicate that the creep rupture time of both unaged and aged joints is increased with a decrease in the applied constant shear and tensile loading at 750°C. The tensile and shear creep strengths of unaged joints at 1,000h are of 5.33 MPa and 3.27 MPa, respectively, which are about 40% and 33% of the average tensile and shear strengths, respectively. The tensile and shear creep strengths of aged joints at 1,000h are of 5.67 MPa and 3.63 MPa, respectively, which are about 40% and 37% of the high temperature average tensile and shear strengths. A thermal aging treatment at 750°C for 1,000h slightly enhances the joint strength of tensile and shear specimens. For unaged tensile and shear joints, fracture occurs at the interface between Cr₂O₃ and braze at short rupture time while fracture occurs at the interface between Ag₂CrO₄ and braze at medium-term and long-term rupture time. For both aged tensile and shear joints, fracture occurs at the interface between Ag₂CrO₄ and braze or between Cr₂O₃ and Ag₂CrO₄ for any rupture time.

(一) 摘要

本研究針對核研所開發適用於 MS-SOFC 系統硬焊封裝技術之銀基硬焊填料，進行與金屬連接板接合之接合件的高溫機械特性分析，探討硬焊填料/金屬連接板接合件於高溫下之潛變性能與破壞模式。由實驗結果得知不論在未時效及 1,000 小時時效處理後，接合件於 750°C 氧化環境下的張力及剪力潛變壽命皆隨著負載減少而增加。未時效張力及剪力接合件具 1,000 小時壽命的潛變強度分別為 5.33 MPa 及 3.27 MPa，為接合件高溫拉伸及剪力強度的 40% 及 33%，損傷程度相近。而時效處理之張力及剪力接合件具 1,000 小時壽命的潛變強度分別為 5.67MPa 及 3.63MPa，為接合件高溫拉伸及剪力強度的 40% 及 37%，損傷程度相近。經過時效處理後之張力及剪力接合件，其耐潛變能力得到一定的提升。根據斷面分析得知未時效張力及剪力接合件，在較短斷裂時間下，破斷面發生於氧化鉻層及銀焊料層之間，而中、長斷裂時間下，破斷面介於鉻酸銀層及銀焊料層之間。而時效處理之張力及剪力接合件，在所有斷裂時間下，破斷面皆會發生於鉻酸銀層及銀焊料層之介面或氧化鉻層及鉻酸銀層之介面。

表 1 未時效及時效處理之張力及剪力試片破斷面位置比較

斷裂時間	負重模式	時效條件	破斷面位置 *
短斷裂時間	張力	未時效	A
中斷裂時間	張力	未時效	A+B
長斷裂時間	張力	未時效	B+E
短斷裂時間	剪力	未時效	A
中斷裂時間	剪力	未時效	A+C
長斷裂時間	剪力	未時效	B+C+D+E
短斷裂時間	張力	時效	B+F
中斷裂時間	張力	時效	B+C
長斷裂時間	張力	時效	A+B
短斷裂時間	剪力	時效	B+F
中斷裂時間	剪力	時效	B+C+F
長斷裂時間	剪力	時效	B+C+F

- * A：氧化鉻層及銀焊料層之介面；B：鉻酸銀層及銀焊料之介面；C：鉻酸銀層及氧化鉻層之介面；D：銀焊料層；E：鉻酸銀層；F：氧化鉻層

(二) 計畫目標

為配合核研所執行高效率固態氧化物燃料電池技術開發及應用計畫之目標，本研究計畫針對核研所已開發適用於新一代平板式 MS-SOFC 系統硬焊封裝技術所用之硬焊填料，進行與金屬連接板接合之焊接件的高溫耐久機械特性分析，探討硬焊填料 / 金屬連接板接合件在高溫工作條件下的潛變行為，尤其是硬焊填料與金屬連接板之鍵結界面，在高溫長時間受力作用下之接合強度劣化行為與破裂模式，做深入的分析，以探討硬焊耐久接合性對 MS-SOFC 電池堆結構可靠度之影響。

(三) 重要成果

1. 對於未時效接合件在 750°C 下進行之潛變實驗，若施加張應力及剪應力分別小於 5.33 MPa 及 3.27 MPa，接合件之斷裂時間將會大於 1,000 小時（圖 1），而對於時效接合件，若施加張應力及剪應力分別小於 5.67 MPa 及 3.63 MPa，斷裂時間將會大於 1,000 小時（圖 1）。
2. 由圖 1 的比較可以看出，經過時效處理能略微提升接合件的耐潛變能力，在相同的作用力下，時效處理試片具有較長的潛變壽命。
3. 對於未時效張力及剪力接合件，在較短斷裂時間下，破斷面發生於氧化鉻層及銀焊料層之間，而中、長斷裂時間下，觀察到破斷介於鉻酸銀層及銀焊料層之間。（如表 1 所顯示）
4. 對於時效張力及剪力接合件，在所有斷裂時間下，破斷面主要會發生於鉻酸銀層及銀焊料層之間。（如表 1 所顯示）

(四) 展望

持續透過學界與核研所互補性的合作，相輔相成，建立金屬支撐固態氧化物燃料電池堆封裝接合件高溫耐久機械強度量測能量及壽命評估模式，將可作為國內在開發金屬支撐固態氧化物燃料電池系統，設計電池堆結構尺寸與材料選擇的參考，提升國內發展SOFC技術所需之研發能量、技術水平與人才培育。

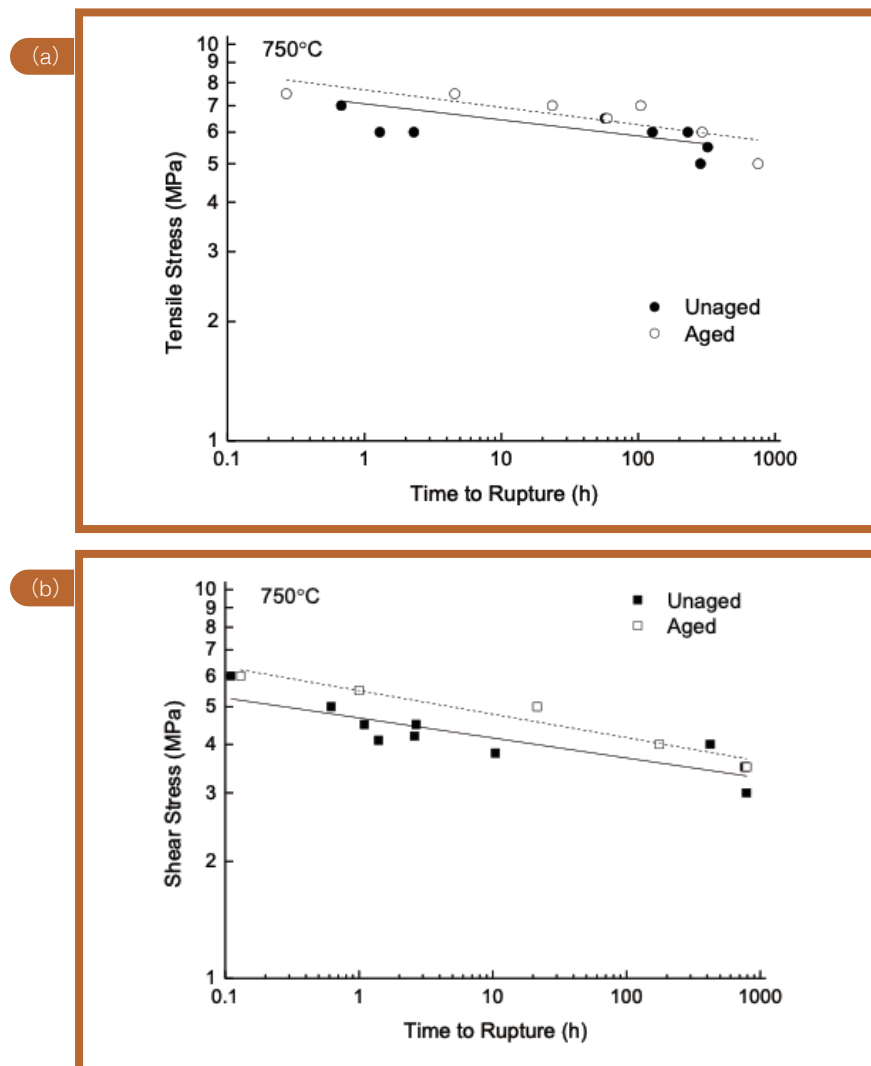


圖 1 未時效及時效處理接合件之應力—斷裂時間曲線比較圖：(a) 張應力模式；(b) 剪應力模式。

六、生質沼氣發電聯網應用模式及模組化設計研究

計畫單位：核能研究所

Yarrowia lipolytica Research on Biomass Power Generation Networking-Engineering Yarrowia lipolytica for the Synthesis of Medium-Chain Fatty Acids

Execution Unit : Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

Lipids are products of natural origin and are very attractive renewable alternatives to petrochemical raw materials. Although naturally occurring long-chain fatty acids can replace certain petroleum-based chemicals, medium-chain fatty acids possess the physical and chemical properties that are closer to currently used petroleum-based products. In this research project, we will use gene cloning technology to design an engineered *Yarrowia lipolytica* which is an oleaginous yeast that naturally produces lipids at high titers. Therefore, it is a good candidate for producing medium chain fatty acid. We will express ChFatB2 and CpFatB1 genes that encoding thioesterases for the catalytic conversion of medium-chain acyl-ACP molecules in *Y. lipolytica*. In addition, we will delete the three genes *gut2*, *faa1*, and *mfe1* from its chromosome to prevent byproduct formation. Results indicated that the created strain have only poor ability to accumulatively produce medium-chain fatty acids when using glucose as the substrate. However, when using octanoic acid as the substrate, the engineered strain is able to accumulate C10 medium-chain fatty acid. Future work will be continued on optimizing the pathway for medium-chain fatty acids production, especially when using glucose as the substrate.

(一) 摘要

脂質是天然來源的產品，對石化原料而言，為一非常具有吸引力的可再生替代品。雖然天然產生的長鏈脂肪酸可以代替某些石油類似物；然而，中鏈脂肪酸則可以更貼近目前使用的石油產品所需的物理和化學性質。在這個研究中，我們利用基因轉殖技術設計一株解脂耶氏酵母 (*Yarrowia lipolytica*)，從而產生中鏈脂肪酸。解脂耶氏酵母是一種油質酵母，其可在高滴度下自然產生脂質，我們在解脂耶氏酵母中表達對中鏈酰基-ACP 分子具有特異性的 ChFatB2 與 CpFatB1 硫酯酶，並將 *gut2*、*faa1*、*mfe1* 等三個基因從其染色體中剔除，使其具有可以累積生產中碳鏈脂肪酸的能力。結果顯示，當以葡萄糖當做底物時，所建構之菌株並不會累積 C10 脂肪酸。然而，在以辛酸做為底物之條件下，所建構之菌株就可以累積 C10 脂肪酸。未來將再繼續強化相關代謝路徑的改質，以提升最終改質菌株對葡萄糖轉化為 C10 的累積能力。

(二) 計畫目標

使用酵母作為微生物細胞工廠來生產有價值的可再生燃料和化學品已經成為對抗全球暖化與能源危機等各種問題的重要解決方案。脂肪酸是具有長烷基鏈的分子，末端帶有羧酸，與石油中發現的化學物質非常相似。它們可以作為在細胞內儲存能量和碳的分子。解脂酵母菌具有可大量產生脂質的特性，使其成為工業化生產脂肪酸衍生產品的最佳微生物平台；而其中又以解脂耶氏酵母 (*Yarrowia lipolytica*) 是研究最多的酵母。研究人員除已通過多種合理的進化方法對其進行了改造，以增加脂質的產生外，許多研究人員已經成功地在解脂耶氏酵母中生產了新型脂肪酸產品，包括 omega-3-脂肪酸，亞油酸衍生的不飽和和多不飽和脂肪酸以及烷烴。儘管它已可以被改造來產生大量的脂質和相關產品，但相關的烷基鏈比典型的石油衍生產品中的烷基鍊長得多，因而使其物理性質對工業和商業應用的吸引力下降。因此；利用基因轉殖技術建構生產中鏈脂肪酸的油質酵母將可使生產的可再生分子更適合用作石化產品之替代品。

(三)重要成果

1. 說明研發成果之重要貢獻

(1) 批式 (Batch) 與饋料批式 (Fed-batch) 發酵法之比較：舉辦亞太核醫法規訓練課程與參訪活動醫藥品查驗中心，以強化核研所內對於我國核醫藥法規面的認知與審查面的細節，與加強與核研所與法規單位的縱向聯繫，對於在案件送審效率、在開發中藥物的可行性與送件方針與在特殊性藥品專案申請方式。

(2) 以葡萄糖為底物 (substrate) 進行發酵：本研究初期嘗試以葡萄糖做為唯一底物，並嘗試透過發酵葡萄糖以生產 C10 脂肪酸。然而結果發現，發酵結果完全不包含目標產物癸酸，本研究根據結果作出兩個推論 (圖 2)。其一，當 *Y. lipolytica* 合成出癸酸後馬上就會被代謝掉或是合成為更長的脂肪酸，因此本研究將作癸酸回收率的發酵實驗，測試若一開始加入癸酸，其他代謝的速度為何；其二，根據 *Y. lipolytica* 的脂肪酸合成路徑，若要從最原始底物葡萄糖合成目標產物癸酸，中間有非常多的反應會影響癸酸的合成，因此第二個測試為直接加入辛酸 (8 碳脂肪酸) 作為合成癸酸的前驅物，測試是否能更功獲得癸酸。

(3) 癸酸的回收率：回收率的測試方法為在一開始發酵時 (0hr) 便加入癸酸，每 24 小時取點一次觀察癸酸的消耗程度。根據圖 3 結果可以發現，癸酸於第 24 小時便完全消耗，代表以葡萄糖為底物進行發酵時，可能會產生癸酸，但是被快速的消耗而沒有保存於 *Y. lipolytica* 之中。

(4) 以辛酸作為底物進行發酵：與饋料批式發酵一樣每天都會加入葡萄糖，除此之外，本研究將在第 24 小時取點後與 72 小時取點後額外加入辛酸作為發酵底物，觀察改殖菌株是否能夠累積癸酸。由圖 4 知結果可發現，加入辛酸作為底物時能夠確實累積癸酸，因此這方法是可行的。

2. 學術成就方面，本研究成果以投稿於第 26 屆台灣生物技術暨生物工程國際研討會，將於 109 年 6 月 25-26 日在中興大學發表。

(三) 展望

本研究建構許多植體以及將其線性化後成功轉形至 *Y. lipolytica* 之中，並對成功改殖的菌株進行發酵測試，測試結果最好的組合為每天補充葡萄糖（饋料批示發酵法）以及補充辛酸作為發酵底物，能成功累積癸酸。未來，本研究將繼續尋找能累積更多癸酸的發酵方式，希望能超過現有合成脂肪酸的產量，達到綠色生產之目的。此外，在研究過程中發現，開發一套能同時將多組基因轉殖入 *Y. lipolytica* 中的系統，對於未來利用 *Y. lipolytica* 來當作生物精煉宿主細胞是非常重要的。

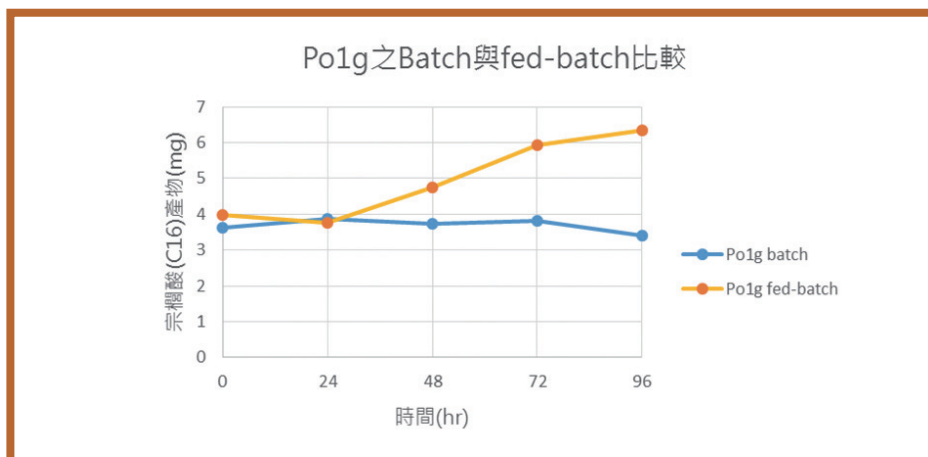


圖 1 不同發酵方式之差異。

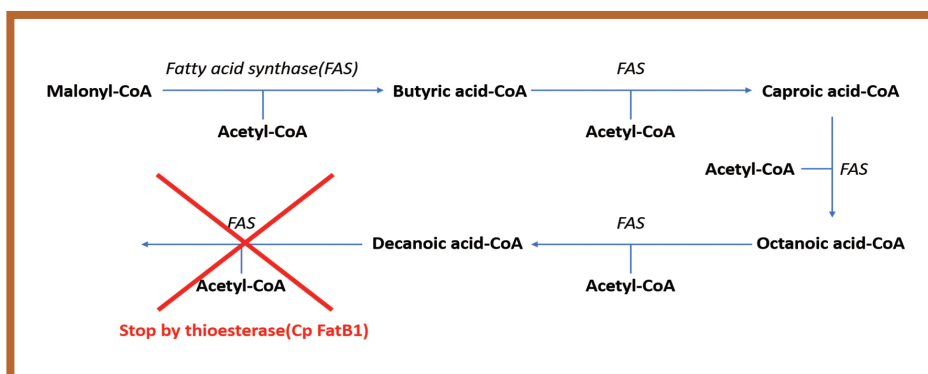


圖 2 脂肪酸合成路徑圖。

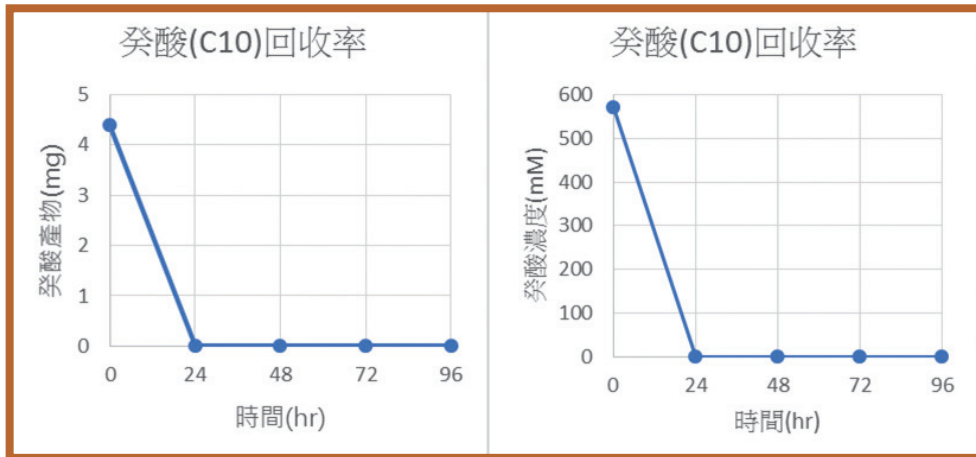


圖 3 癸酸的回收率。

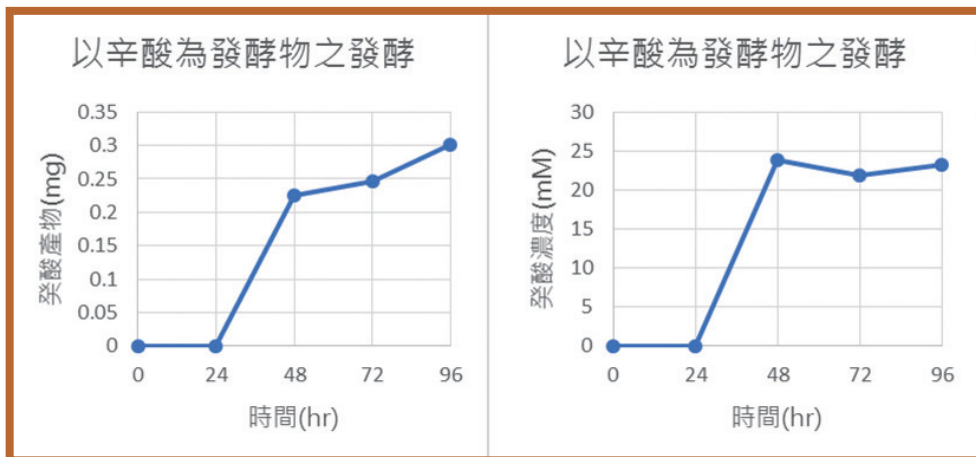


圖 4 以辛酸作為發酵物之發酵。

七、高功率脈衝磁控濺鍍製作 高性能抗反射薄膜研究

計畫單位：核能研究所

Research of high performance anti reflection coatings fabrication by high power impulse magnetron sputtering

Execution Unit : Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

The demand of anti-reflection (AR) coatings is increased rapidly as the fast development of optoelectronics industries in nowadays. The high power impulse magnetron sputtering (HiPIMS) technique, is characterized for its ability to deposit thin films with dense microstructure, uniform film thickness and excellent adhesion properties, which has attracted lots of attentions from academia and industries. In this work, we did the simulation and designed the thickness values of TiO₂/SiO₂ multilayer thin films and then grew these thin films using HiPIMS technology. We found that the thickness differences for TiO_x/SiO_x and TiO_x/SiO_x/TiO_x/SiO_x thin films were less than 5% implying their good uniformity. The hardness of 5.8 GPa and the maximum adhesion critical load of 21.7 N were obtained for TiO_x/SiO_x film. For the TiO_x/SiO_x/TiO_x/SiO_x films, the hardness was 6.6 GPa and the maximum adhesion critical load was 6.9 N. The reflectance of 5.98 % was achieved in the range of 400-700 nm for the TiO_x/SiO_x thin film fabricated using 15 sccm oxygen flow rate. Meanwhile, the average absorbance of 1.72 %, reflectance of 1.40 % and transmittance of 96.84 % were obtained in the range of 400-700 nm for TiO_x/SiO_x/TiO_x/SiO_x film, which already met the requirement and can be used as anti-reflection coating.

(一) 摘要

近年來隨著光電科技產業的發展，對於抗反射 (AR) 薄膜之需求日漸殷切，高功率脈衝磁控濺鍍 (HiPIMS) 技術可獲得結構緻密、厚度均勻性佳與附著性優異的薄膜，因此備受學術界與工業界的重視。本計畫首先透過模擬計算與設計 TiO₂/SiO₂ 薄膜厚度，再以 HiPIMS 技術進行複合式 AR 鍍膜測試。結果顯示以疊加型高功率脈衝磁控濺鍍技術製備雙層之 TiO_x/SiO_x 薄膜與四層 TiO_x/SiO_x/TiO_x/SiO_x 薄膜的厚度差異都小於 5%，顯示極佳的均勻性。在機械性質方面，雙層 TiO_x/SiO_x 薄膜硬度值達 5.8 GPa，最高臨界荷重為 21.7 N；四層 TiO_x/SiO_x/TiO_x/SiO_x 薄膜硬度值為 6.6 GPa，最高臨界荷重為 6.9 N。從光學特性分析結果可知，以氧流量 15 sccm 鍍製雙層 TiO_x/SiO_x 薄膜，在 400 nm-700 nm 波段有較低的反射值 5.98%；四層 TiO_x/SiO_x/TiO_x/SiO_x 薄膜於 400-700nm 波段的平均吸收率為 1.72%，反射率為 1.40%，穿透率為 96.84%，此薄膜之光學性質已達到預期成果，可作為抗反射光學薄膜。

(二) 計畫目標

本計畫透過模擬計算多層複合式薄膜之厚度設計，使整體抗反射之反射率 <5% 及膜厚差異 <5% 以內。之後以高功率脈衝磁控濺鍍系統鍍製單層與多層氧化物薄膜，測量分析氧化物薄膜電漿回饋光譜，分析氧化物薄膜之微結構、光學性質。最後將成果投稿至兩篇國際期刊。

(三) 重要成果

1. 模擬計算多層複合式薄膜之厚度設計

本計畫利用多光束干涉遞歸法與高/低/高/低折射率的四層抗反射膜層設計，結合自行撰寫的薄膜厚度模擬比對程式來進行計算與設計，獲得如圖 1(a) 的結果。並在後續鍍膜實驗結果獲得驗證。

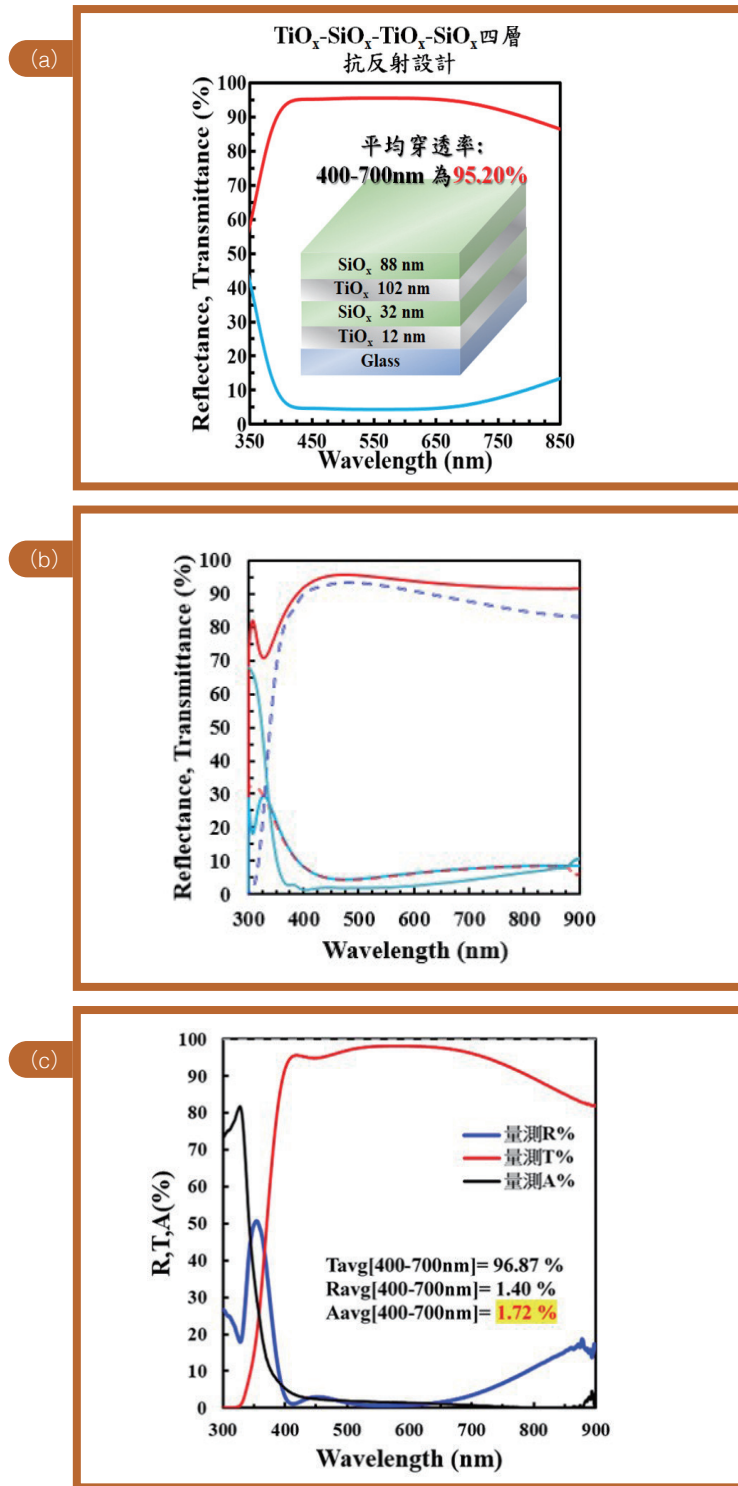


圖 1 (a) 抗反射理論模擬結果，(b) 單面兩層 $\text{TiO}_x/\text{SiO}_x$ 與 (c) 單面四層 $\text{TiO}_x/\text{SiO}_x/\text{TiO}_x/\text{SiO}_x$ 薄膜的光學性質分析曲線圖。

2. TiO_x/SiO_x 與 TiO_x/SiO_x/TiO_x/SiO_x 鍍膜實驗與驗證

本計畫利用高功率脈衝磁控濺鍍系統鍍製單面兩層 TiO_x/SiO_x 與四層 TiO_x/SiO_x/TiO_x/SiO_x 氧化物薄膜，其中兩層 TiO_x/SiO_x 與四層 TiO_x/SiO_x/TiO_x/SiO_x 薄膜的光學性質分析曲線圖分別如圖 1 (b) 與 (c)。兩層 TiO_x/SiO_x 於 400-700 nm 波段的平均反射率 5.98%，平均穿透率 91.46%，平均吸收率 2.56%；而四層 TiO_x/SiO_x/TiO_x/SiO_x 薄膜於 400-700 nm 波段的平均反射率 1.40%，平均穿透率 96.84%，平均吸收率 1.72%。

單面兩層 TiO_x/SiO_x 薄膜的截面形貌如圖 2 所示，平均厚度為 100 nm，厚度差異為 2.6%。圖 3 則是四層 TiO_x/SiO_x/TiO_x/SiO_x 薄膜的截面形貌，平均厚度為 235.7nm，厚度差異為 0.6%。顯示本研究的兩種薄膜的厚度均勻性皆符合要求。兩層 TiO_x/SiO_x 與四層 TiO_x/SiO_x/TiO_x/SiO_x 氧化物薄膜的機械性質分析結果如表 1 所列，前者的硬度與彈性係數分別是 5.8GPa 與 127 GPa；後者的硬度與彈性係數分別是 6.6GPa 與 71 GPa。兩種薄膜經過刮痕試驗測試之後的表面形貌分別如圖 4 (a) 與 (b)，其附著性質列於表 1，可以看到兩層 TiO_x/SiO_x 的附著性質優於四層薄膜者。

3. 獲獎-海報論文「疊加型高功率脈衝磁控濺鍍系統製備氧化鈦薄膜之機械性質評估」獲得 2020 台灣鍍膜科技協會年會學生海報論文最佳人氣獎 (109 年 10 月 23-24 日，台中市)

表 1 單面兩層與四層薄膜機械性質結果

Sample	Hardness (GPa)	Elasticmodulus (GPa)	LC1 (N)	LC2 (N)
TiO _x /SiO _x	5.8 ± 1.2	127 ± 11	12.1	21.7
TiO _x /SiO _x /TiO _x /SiO _x	6.6 ± 0.1	71 ± 3	6.9	6.9

4. 學術成就方面，共發表國內外研討會及期刊論文共 7 篇，資料如下：

(1) 國內研討會

- I. 陳威廷、駱碧秀、李志偉，“氧化鈦薄膜的抗腐蝕性質評估”，109 年度防蝕工程年會暨論文發表會（109 年 9 月 4-5 日，雲林）
- II. 陳威廷、李志偉“疊加型高功率脈衝磁控濺鍍系統製備氧化鈦薄膜之機械性質評估”，2020 台灣鍍膜科技協會年會暨科技部專題計畫研究成果發表會（109 年 10 月 23-24 日，台中市）（學生海報論文最佳人氣獎）
- III. 陳威廷、蔡宗翰、盧榮宏、李志偉“疊加型高功率脈衝磁控濺鍍系統製備氧化鈦薄膜之光學性質評估”，2020 中國材料科學學會年會暨科技部專題計畫研究成果發表會（109 年 11 月 6-7 日，新北市）



圖 2 單面兩層 $\text{TiO}_x/\text{SiO}_x$ 薄膜的截面微結構。



圖 3 單面四層 $\text{TiO}_x/\text{SiO}_x/\text{TiO}_x/\text{SiO}_x$ 薄膜的截面微結構。

(2) 國際研討會

- I. Wei -Ting Chen, Bih-Show Lou, Jyh-Wei Lee Jyh-Wei Lee, “Effect of target poisoning ratios on the fabrication of titanium oxide coatings using superimposed high power impulse and medium frequency magnetron sputtering”, 2021 ICMCTF conference, (April 26-30, 2021, Virtual Conference)

(3) 期刊論文

- I. “Effect of oxygen flow ratios on the optical and mechanical properties of silicon oxide thin films grown by superimposed HiPIMS” ，投稿至 Surface & Coatings Technology 。
- II. “Optical properties evaluation of titanium oxide films fabricated using plasma emission monitoring technique by superimposed high power impulse magnetron sputtering” ，投稿至 Materials Letters 。
- III. “Effect of target poisoning ratios on the fabrication of titanium oxide coatings using superimposed high power impulse and medium frequency magnetron sputtering” ，投稿至 Surface & Coatings Technology 。

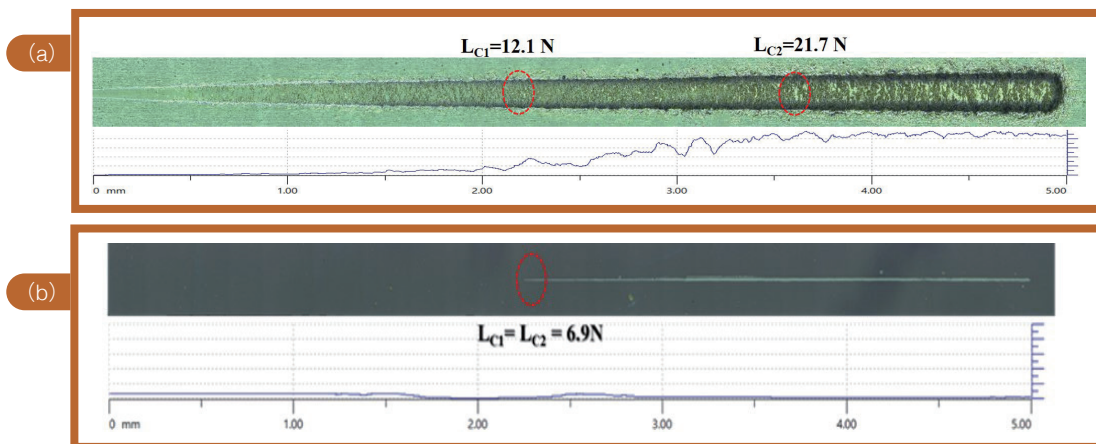


圖 4 單面 (a) 兩層 TiOx/SiOx 與 (b) 四層 TiOx/SiOx/TiOx/SiOx 刮痕試驗刮道。

(四) 展望

本計畫已由自行研發之模擬軟體成功模擬計算多層複合式薄膜之厚度設計，再藉由高功率脈衝磁控濺鍍系統鍍製兩層 $\text{TiO}_x/\text{SiO}_x$ 與四層 $\text{TiO}_x/\text{SiO}_x/\text{TiO}_x/\text{SiO}_x$ 氧化物薄膜，獲得反射率 1.40 %，穿透率 96.84 %，吸收率 1.72 %，及膜厚差異小於 5 % 的成果。展望未來可以結合商業量產型之大型鍍膜系統進行大尺寸基板的抗反射鍍膜製造，以提升台灣地區光電產業抗反射薄膜的製程技術。



八、除濕輪於塑膠及農作物乾燥過程對於揮發性有機氣味吸附特性研究分析

計畫單位：核能研究所

Study on the adsorption characteristics of desiccant wheels for volatile organic gases from the drying process of plastic and crop

Execution Unit : Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

This project focuses on analysis of the adsorption characteristics of the desiccant wheels which were made by aluminum dross for the wider application. Adsorption tests of the desiccant wheels which have different PPIs (pores per inch) are conducted to pass through three volatile organic gases to obtain the operation parameters of adsorption kinetics and breakthrough curves. Based on the results of adsorption tests, mathematical models of the desiccant wheels with different PPIs will be developed. The adsorption capacity of desiccant wheels for toluene, ethanol, and acetone were 1.54, 1.19, and 0.81 $\mu\text{g/g}$, respectively. This study is a pioneering study for VOCs adsorption by using the desiccant wheels. In a further study, adsorption capacity can be improved by modifying the surface of the desiccant wheels.

(一) 摘要

本計畫乃採用鋁渣純化後之環保再生材質高溫燒結陶瓷化之除濕輪進行揮發性有機氣體吸附特性試驗，期使擴展資源化的除濕輪的實際應用面。吸附試驗以設計建構可串聯使用之試驗模組進行吸附特性研究，使用不同孔徑的除濕輪通過三種有機氣體分別進行吸附測試，以獲得吸附動力及貫穿曲線之操作參數。由吸附試驗獲得之實驗數據，分析不同孔徑除濕輪之吸附特性下的數學模型。除濕輪對於甲苯、乙醇及丙酮之平均單位吸附量分別為 1.54、1.19 及 0.81 $\mu\text{g/g}$ 。本研究是除濕輪對於有機氣體吸附的前驅研究，未來可對除濕輪進行改質增加吸附能力。

(二) 計畫目標

鋁渣屬於一般事業廢棄物，然而其遇水容易產生化學變化的特性，鋁渣若經不當處置，除有害金屬離子可能會透過地表水釋出而污染環境外 (Das et al., 2007)。核能研究所於 2019 年開發建置「公斤級煉鋁爐渣純化提取氫氧反應系統技術」，將鋁渣以多孔陶瓷技術高溫燒結製成不同孔徑除濕輪。除濕輪可經由加熱來達成水氣的吸脫附，達成對農產品乾燥的效果 (Patel and Kar, 2012)。本計畫乃利用除濕輪多孔特性，進一步測試對揮發性有機氣體 (Volatile Organic Compounds, VOCs) 的吸附特性。

本計畫由核能研究所提供環保再生材質除濕輪進行吸附試驗，除濕輪是以鋁渣純化再生的氫氧化鋁或氧化鋁作為陶瓷漿體原料，其粒徑分佈分別為 $D_{10}=22.4\ \mu\text{m}$ 、 $D_{50}=40\ \mu\text{m}$ 、 $D_{90}=63.5\ \mu\text{m}$ ，再以 1,000-1,300 $^{\circ}\text{C}$ 燒結而成的陶瓷化多孔材質輪體。多孔陶瓷乃以發泡技術製作的聚合泡棉作為陶瓷漿料之載體，陶瓷孔徑由發泡材料的孔洞尺寸主導。環保再生材質除濕輪的孔徑大小在 10-60 PPI (pores per inch) 之間。多孔材質的特性可增加吸附劑對 VOCs 的吸附能力 (Zhang et al., 2012)，相關研究亦指出可應用添加劑的方式增加處理 VOCs 的能力 (Cordi and Falconer, 1996)。

(三)重要成果

1. 吸附試驗設計

本研究以核能研究所製備之除濕輪套入除濕輪串連模組進行吸附試驗。吸附有機氣體以化學計量方式製作吸附試驗之不同極性有機氣體，氣體共包含乙醇 (ethanol)、丙酮 (acetone) 以及甲苯 (toluene)，分為高濃度 (101-150 ppm)、中濃度 (51-100 ppm) 與低濃度 (1-50 ppm)，製備於具化學惰性之PVF聚氟乙烯樹脂採氣袋中 (Tedlar®, DuPont™, USA)。採氣袋連接在吸附輪體承載艙一端，另一外以定流量之採氣泵進行吸附試驗。每批次試驗開始，重新校正比對採氣泵流量，採氣泵流量設定在 0.5 ± 0.25 l/min 左右，以皂泡式流量校正計進行流量測定與校正。每一批次之流量測定，皆經 10 次量測比對，待最終平均流量與額定流量誤差在 5% 以內，始得開始進行吸附試驗。另外，為避免試驗氣體累積與工作場域安全，吸附試驗模組已架設在分析實驗室之化學排煙櫃內，以維護操作人員安全。

2. 吸附動力及貫穿曲線操作參數

Yoon-Nelson Model (Yoon and Nelson, 1984) 是廣泛使用的吸附動力模式，從防毒面具的活性碳填充濾毒罐設計與測試 (SEA, 1997)，到工業廢氣的吸附床設計 (Kim and Kang, 2004; Tsai et al., 1999)，在實場操作都有實際應用。Yoon-Nelson Model 為假定氣流通過吸附床中的吸附劑時，部分氣體分子被吸附而部分氣體分子通過，吸附分率的衰減率正比於貫穿分率 (P) 與吸附分率 (Q) 的相乘。

(1)

$$-\frac{dQ}{dt} \times QP$$

(2)

$$t = \tau + \frac{1}{k} \ln \frac{c}{c_i - c}$$

(1) 上式可再一步積分後，可得 (2)

t : 時間 (min)

τ : 貫穿濃度發生時間 (min)

k : 反應速率常數 (1/min)

c_i : VOCs 進流濃度 (ppmv)

c : VOCs 經吸附床吸附後之出流濃度 (ppmv)

$$(3) \quad Qg \times C_0 \times t_b = [Y_0 \times S \times Z - Z_a \times \rho_b] \times \left(\int_0^{Z_a} C dZ \right) / (C_0 Z_a)$$

$$(4) \quad W = S \times Z \times \rho_b$$

W：吸附層最少材質總量 (kg)

Qg：進流有機氣體流量 (m³/min)

S：吸附層之截面積 (m²)

C₀：進流有機氣體中溶劑濃度 (kg/m³)

C：有機氣體中溶劑濃度 (kg/m³)

Y₀：吸附層在溶劑濃度為 C₀ 時之平衡吸附量
(kg solvent/kg solvent gas)

Z：吸附層所需填充厚度 (m)

Z_a：吸附層之質量傳輸帶厚度 (m)

ρ_b：吸附輪體之填充密度 (kg/m³)

此外，針對不同有機氣體分別通過吸附模組，由 (3) 式計算，由已知之氣體濃度 C₀，在固定流量 Qg 下，由貫穿濃度可推算吸附層之質量傳輸帶厚度 Z_a 以及吸附層所需填充厚度 Z，並可獲得單位吸附材質之平衡吸附量 Y₀。經由上述參數可帶入 (4) 式中求出吸附層最少材質總量 W，以作為後續處理有機氣體之依據。

由 3 種氣體、3 種濃度以及 3 種孔隙率的吸附試驗結果 (圖 1)，建構相對應之突破曲線 Yoon-Nelson Model 吸附動力模型 (圖 2)。吸附動力模型所得之各項參數如表 1 所示，動力模式之 R² 皆在 0.9 以上，平均標準誤差 (Mean absolute error, MAE) 在 0.01-0.04，理論 50% 貫穿時間 (τ_{50_theor}) 也與實驗 50% 貫穿時間 (τ_{50_exp}) 近似。由吸附動力模式之參數中，除濕輪對於乙醇氣體的平均反應速率常數 (k) 為 0.110 1/min，對於丙酮氣體為 0.294 1/min，對於甲苯氣體為 0.159 1/min。除濕輪之平均單位吸附量於乙醇氣體為 0.81 μg/g，於丙酮氣體為 1.19 μg/g，於甲苯氣體為 1.54 μg/g。平均質量傳輸帶厚度 (Z_a) 於乙醇為 24.5 cm，於丙酮為 8.3 cm，於甲苯為 14.7 cm。

(四) 展望

本研究以除濕輪為吸附材建構吸附模型，模型考量氣體動力進行設計，並進行相關的氣密與流量設定調校。吸附試驗進行過程，考慮有機氣體爆炸濃度下限，避免實驗過程有安全顧慮，所有試驗過程皆在化學排風櫃中進行。吸附試驗選擇三種不同極性的有機氣體進行單一氣體吸附，每一批次吸附皆使用新的陶瓷化多孔除濕輪體進行試驗，試驗過程不進行脫附。

由三種有機氣體之吸附試驗結果來看，除濕輪之平均單位吸附量於乙醇氣體為 $0.81 \mu\text{g/g}$ ，於丙酮氣體為 $1.19 \mu\text{g/g}$ ，於甲苯氣體為 $1.54 \mu\text{g/g}$ 。吸附結果低於目前常見使用活性碳或是沸石之吸附材。建議後續對除濕輪進行改質，搭配除濕輪之多孔特性，增加吸附能力。

本研究是以 5 個除濕輪為一組進行批次吸附試驗，以串聯方式增加有機氣體在除濕輪體的移動距離，俾便觀測質量傳輸厚度。在吸附試驗結果中得知，平均質量傳輸帶厚度 (Z_a) 於乙醇為 24.5 cm ，於丙酮為 8.3 cm ，於甲苯為 14.7 cm 。在進行吸附試驗之批次秤重結果發現，除濕輪並非均質，建議在除濕輪製作過程須考慮輪體均質程度，以利後續研究。



表 1 吸附動力模型參數

pore	gas	conc. (ppm)	weight (g)	k (1/min)	R ²	τ_{50_exp} (min)	τ_{50_theor} (min)	MAE	adsorption capacity ($\mu\text{g/g}$)	Za (cm)
10PPI	ethanol	129.5	1806.35	0.189	0.995	10.5	10.2	0.01	0.69	25.0
		77.6	1800.44	0.112	0.973	20.9	22	0.02	0.87	25.0
		46.5	1806.55	0.097	0.986	24.3	26.9	0.02	0.64	24.7
30PPI		129.5	1884.51	0.127	0.994	18.1	18	0.01	1.17	25.0
		77.6	1882.05	0.08	0.98	15.4	19	0.02	0.77	25.0
		46.5	1860.75	0.085	0.971	28	29.3	0.03	0.69	25.0
60PPI		129.5	1820.51	0.141	0.984	14.7	15.9	0.02	1.08	21.0
		77.6	1760.1	0.077	0.946	14	16.5	0.04	0.75	25.0
		46.5	1730.56	0.078	0.963	21.4	25.6	0.04	0.65	24.8
10PPI	acetone	122.5	1814.74	0.479	0.969	8.2	8.7	0.03	0.69	9.6
		69.5	1744.6	0.235	0.993	32.4	32.8	0.01	1.51	7.6
		41	1801.78	0.311	0.992	26.5	26.7	0.02	0.72	6.8
30PPI		122.5	1919.55	0.243	0.991	21.6	21.9	0.02	1.62	11.0
		69.5	1892.1	0.235	0.996	35.3	35.2	0.01	1.45	8.1
		41	1849.83	0.379	0.988	20.8	21.1	0.02	0.53	7.1
60PPI		122.5	1828.13	0.366	0.967	19.6	20	0.04	1.55	7.9
		69.5	1744.05	0.19	0.997	39.7	39.8	0.01	1.81	8.5
		41	1733.59	0.211	0.988	30.8	31.4	0.02	0.85	8.3
10PPI	toluene	126.5	1824.94	0.25	0.975	8.4	9.2	0.02	1.27	14.8
		70.3	1798.97	0.174	0.948	11.6	12.7	0.04	0.98	14.8
		42.5	1829.76	0.086	0.957	22	24.5	0.03	1.11	16.6
30PPI		126.5	1843.79	0.155	0.973	17.5	18.5	0.02	2.39	13.0
		70.3	1650.05	0.12	0.954	22.4	26	0.05	2.01	18.8
		42.5	1863.45	0.146	0.963	27.5	29.4	0.03	1.22	10.4
60PPI		126.5	1832.04	0.202	0.964	13.1	14.6	0.04	1.82	22.1
		70.3	1708.84	0.155	0.934	20.9	22.2	0.04	1.71	10.0
		42.5	1803.86	0.147	0.979	29.6	31.4	0.03	1.36	11.9

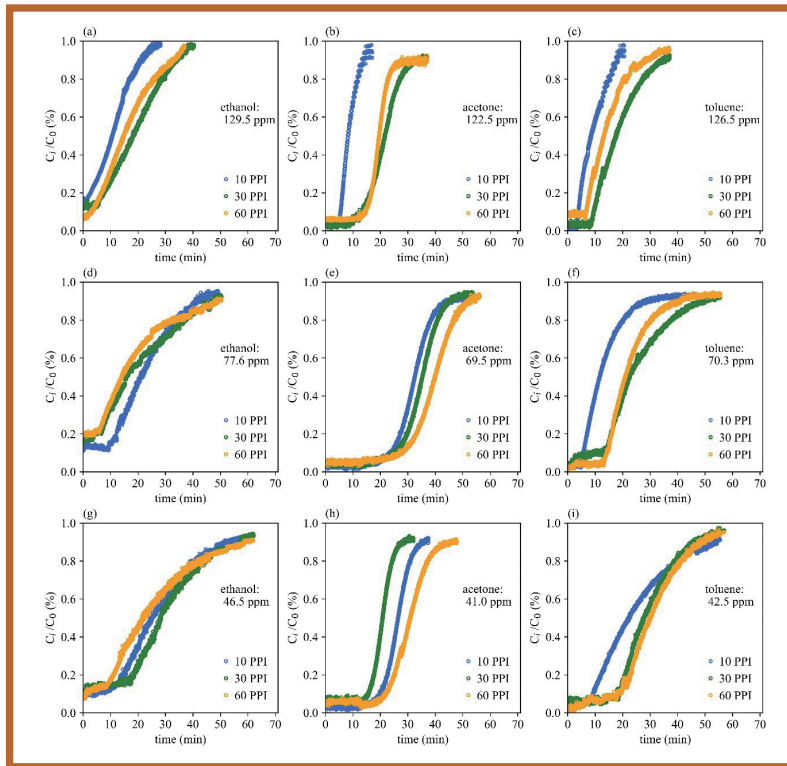


圖 1 甲苯、乙醇、丙酮不同濃度區間通入不同PPI 輪體之吸附曲線。

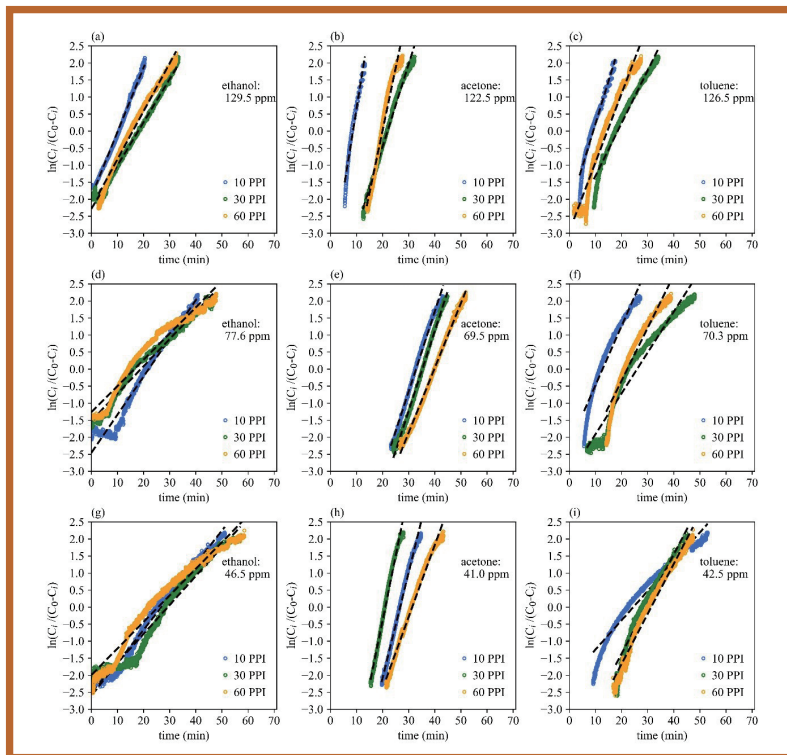


圖 2 甲苯、乙醇、丙酮不同濃度區間通入不同PPI 吸附輪體之 Yoon-Nelson model 吸附動力模型模擬結果。

九、連續生產沼氣之厭氧發酵技術開發

計畫單位：核能研究所摘要

Development of anaerobic digestion technology of continuous production of biogas

Execution Unit : Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

This study explores the optimization of biogas production in continuous anaerobic digestion after acid depolymerization of fiber waste, and high-nitrogen biogas slurry is used a material to adjust the carbon/nitrogen ratio. The chemical oxygen demand (COD) of the kitchen waste biogas slurry are 44800 mg/L, the total solid content (TS) was 43% and the volatile solids (VS) is 25%. The C/N ratio of the high-nitrogen biogas slurry was at 7.5. High nitrogen-containing kitchen waste biogas slurry and depolymerized fiber raw materials batch flask experiments show that the optimal conditions are the substrate/inoculum ratio (S/I ratio) of 1 and C/N ratio 20, pH=7, which produces 476 mL-biogas/g TS. The co-fermentation of depolymerized fiber raw materials and pig farm biogas slurry were the S/I=1, C/N=20, pH=6, which produced 795 mL-biogas/g TS. The COD removal rate is the best under the condition of pH=6. In this study, the biogas potential of depolymerized fiber materials mixed with wastewater of pig farms in different parameters (hydraulic retention time and organic load rate) of continuous stirred tank reactor (CSTR) anaerobic digestion is further analyzed. The best experimental parameters are the hydraulic retention time of 25 days and the carbon-nitrogen ratio of 20 are the best conditions for biogas production, which produces 333 mL-biogas/g COD and 880 mL-biogas/g TS. The results also verify that the addition of organic acids can effectively increase the biogas production.

(一)摘要

本研究探討纖維廢棄物酸解聚處理後於連續式厭氧消化生產沼氣系統最佳化，利用高含氮之沼液當作調整材以調整碳氮比評估沼氣生產效率。廚餘沼液的化學需氧量為 44800 mg/L、總固體含量及揮發性固體分別為 43%、25%，碳氮比為 7.5。批次搖瓶實驗結果顯示，解聚稻稈與廚餘沼液共醱酵最佳條件為 S/l=1、C/N=20、pH=7，平均每克乾重可產生 476 毫升沼氣，而解聚稻稈與養豬場沼液共醱酵為 S/l=1、C/N=20、pH=6，每克乾重產氣量為 795 毫升，並且得知於 pH=6 條件下 COD 去除率效果最佳。本研究也進一步探討纖維料與養豬廢水混摻於連續系統厭氧共醱酵沼氣生產效率並探討參數最佳水力滯留時間、碳氮比，達到最佳沼氣生產量。公斤級連續式反應器實驗結果顯示，水力滯留時間 25 天、碳氮比 20 為產沼氣最佳條件，每克 COD 及乾重產氣量分別達 333 毫升與 880 毫升沼氣，同時初步驗證了添加有機酸能有效提升產沼氣。

(二)計畫目標

厭氧消化產沼氣技術會伴隨大量副產物沼液沼渣的生成，促使近年來沼液沼渣去化再利用之研究興起。本研究採取以高含碳解聚纖維稻稈為料源，並添加廚餘（或豬糞）厭氧消化系統出流之高含氮沼液以供醱酵做進一步產沼氣，運用於公斤級連續式反應器 (CSTR) 進行生質沼氣研究，以評估纖維稻稈與沼液共醱酵之最佳產氣條件。

(三)重要成果

1. 說明研發成果之重要貢獻

(1) 主要發現

在本計畫中，經由一系列解聚纖維稻稈與廢水混參比例、碳氮比和水利滯留時間調整後，公斤級連續式反應器內以碳氮比 20、水力滯留時間 25 天、pH 7.3 的條件下單日總產氣量最高可達 13530 公升，每克乾重產氣量最高可達 1833 毫升，是最佳稻稈處理及產氣綜合表現。

(2) 本計畫所解決之問題

生質沼氣除了能作為燃料產生經濟效益外，利用生產沼氣時的厭氧消化過程處理回收物也能為環境帶來利益，例如傳統農業肥料（如動物糞便、廢棄農作物等）自然降解的過程中會導致甲烷與二氧化碳的排放。若先經過厭氧消化處理，不僅有助於減輕異味、去除對人體或動物有害的病原體，消化後產生的沼液具有用作土壤肥料的潛力，回收產生的沼氣也有助於減少溫室氣體排放。

歐洲的沼氣廠使用原料來源為都市廚餘、生活垃圾、加工業廢水、玉米稈和禽畜糞便等，厭氧消化後富含高有機質之殘渣可製成肥料、餘熱回收利用，提高能源效率。

2. 學術成就

本計畫研究成果預計可發表在國內研討會中，後續初步探討結果進行深入研究後預計將撰寫 2 篇期刊論文發表。

(四) 展望

本計畫使用公斤級連續厭氧消化系統，將高含氮沼液與纖維料源的厭氧反應參數調整至最佳化，提升生質沼氣生產效率，優化再生能源應用。未來將可以提供實場規模之參照，最終達到提升農業廢棄物與能源作物的經濟價值，此技術將可延伸應用至其他纖維料源之沼氣生產，將對台灣綠色能源、產業升級、循環經濟及永續發展均有其重要性。

十、沼液沼渣回收再利用方法 評估

計畫單位：核能研究所

Evaluation of recycling methods of biogas residue and slurry

Execution Unit : Institute of Nuclear Energy Research

Abstract

Using de-aggregation lignocellulose to increase the carbon source has been proven to improve the total production of biogas in the AD process. However, the characteristics of the biogas slurry and residue still need to be analyzed in order to evaluate the decontamination method. In this project, we analyzed the biogas slurry and residue produced by co-digestion of de-aggregation lignocellulose and livestock wastewater, including fertilizer composition, heavy metals, and harmful bacteria, then refer to this as the basis for evaluating the feasibility of resource utilization. Based on the results of the analysis, we calculated the recommended amount of biogas slurry to farmland. The accumulation of zinc in the soil should be monitored regularly. E.coli was not detected in the sample, but Salmonella was detected, so it is recommended not to use it for lettuce planting.

(一)摘要

為提升厭氧消化之沼氣生產效率，利用木質纖維解聚物來增加碳源，已證實可增加沼氣的總產量，然而其所產生的沼液沼渣之特性仍須進一步分析，方能評估其去化方法。本計畫針對國內外畜牧廢水之處理方式進行探討，並針對木質纖維解聚物及畜牧廢水共消化所產生之沼液沼渣進行肥分、重金屬及有害菌的分析，以作為評估資源化利用可行性的依據。根據分析結果，我們估算沼液入田時的建議使用量；根據重金

屬分析結果，需要定期監測土壤中鋅的累積量；樣品中未檢測出大腸桿菌，但有少量沙門氏桿菌，因此建議不要使用在生食蔬菜上。

(二) 計畫目標

為評估木質纖維解聚物及畜牧廢水共消化所產生之沼液沼渣的再利用可行性，本計畫分為「去化方法評估」及「特性分析」兩部分執行。「去化方法評估」主要搜尋國內外研究案例、實施概況及相關法規，作為本案參考依據；「特性分析」則針對沼液沼渣進行肥分、重金屬及有害菌的分析，並提出本案之沼液沼渣於田間施用的建議使用量。

表 1 核研所沼液沼渣肥力分析

第一批次			
檢測項目	混合沼渣沼液	離心沼液	離心沼渣
全氮 %	0.06±0.05	0.08±0.02	1.55±0.02
全磷酐 %	0.17±0.02	0.13±0.01	1.57±0.06
全氧化鉀 %	0.19±0.01	0.15±0.02	1.38±0.03
鈉 %	0.11±0.006	0.11±0.002	0.11±0.003
氯 mg/kg	5.48±0.39	5.39±0.87	3.59±0.83
pH	7.4	7.82	7.52
EC mS/cm	8.04	8.31	1.44
有機質 %	2.95±0.05	1.09±0.01	64.72±0.38

第二批次			
混合沼渣沼液	離心沼液	離心沼渣	污泥
0.94±0.04	0.74±0.02	0.99±0.05	2.50±0.25
0.20±0.01	0.16±0.06	5.77±0.08	21.85±0.17
0.04±0.00	0.04±0.00	3.05±0.04	0.70±0.01
0.10±0.002	0.10±0.00	0.35±0.008	0.05±0.001
1.18±0.84	3.62±0.42	7.47±0.23	3.99±1.77
7.31	7.50	7.42	7.83
4.87	4.98	1.10	1.57
1.25±0.03	0.76±0.01	67.75±0.02	43.06±0.75

a：pH、EC 樣品和水比 (1:10, w/v)

(三)重要成果

1. 國內現況分析

國內針對畜牧糞尿處理上，多數採用畜試所三段式豬糞尿處理方式，亦即固液分離後，經分離後之固形物以堆肥化處理，液體部分則約停留 10 天時間，經厭氣發酵法處理後，再經活性污泥法處理後排放。環保署於 2016 年起即開始推廣「沼液沼渣農地肥分使用」計畫，然必需考量公共衛生問題及進行環境監測，避免環境、農田及地下水遭受污染。環保署及相關部會積極推動沼液沼渣資源化利用，在多個縣市政府配合之下，截至 109 年 9 月 30 日，全台已有 1,419 家畜牧場採行畜牧糞尿資源化利用，核准施灌量每年達 664 萬公噸。在此政策推行之下，未來本案所使用木質纖維解聚物及畜牧廢水共消化技術所產出之沼液沼渣，便可依循此路徑進行去化。

2. 核研所厭氧共消化技術沼液沼渣特性分析

核研所樣本肥力分析結果如表 1，相較於一般畜牧場，第一批次的含氮量偏低，第二批次則高於平均值。從兩批次樣本的含氮量來看，顯示核研所產出的沼液廢水含氮量較不穩定。在全磷酐的部分，兩批次混合沼液沼渣分別為 $0.17 \pm 0.02\%$ 及 $0.20 \pm 0.01\%$ ，相較於畜牧厭氧廢水，核研所的全磷酐值偏高；在全氧化鉀的部分，第一批次混合沼液沼渣數值為 0.19% ，高於第二批次的樣本 (0.04%)。綜合上述肥力分析結果，第一批次樣本在磷鉀比例上偏高，第二批次氮肥比例較高，因此在後續使用上需依照作物及生長期的需求進行施用。

在重金屬分析部分，兩批次的混合沼液沼渣之鋅濃度分別為 113.8 ± 56.3 及 98.25 ± 13.44 mg/L，其餘皆在偵測極限以下 (< 0.1 mg/L)。離心沼渣之鎘、鎳重金屬含量超過有機堆肥標準，無法直接施用於土壤中，建議添加其他物質再處理，例如堆肥化處理後，製成堆肥使用。

在有害菌部分，兩批次的樣本在大腸桿菌檢測培養基上皆未發現藍色菌落 (圖 1A)，表示該樣品未檢測出大腸桿菌 (< 100 CFU/mL)；在沙門氏桿菌檢測培養基上，可檢測到代表沙門氏桿菌的紫紅色菌落 (圖 1B)，兩批次樣本分別為 3.9×10^3 及 2.3×10^4 CFU/mL。

根據上述肥分及重金屬檢測結果，本計畫選用甘藍、洋蔥、小黃瓜及香蕉作為例子，並參考作物施肥手冊及台灣肥料有限公司作物施肥建議，評估其可取代肥料之用量，詳細內容請參閱結案報告。

(四) 展望

沼液沼渣的性質可能隨著季節、氣候及進料條件改變而產生變化，由本計畫的分析來看，在肥分上本案與一般畜牧場大不相同，且變化量較大，因此會影響未來農田使用的用量與效果，未來待進料參數穩定後，需再進行定期檢驗分析。在重金屬部分，由於樣本中銅濃小於 0.1 mg/L，幾乎不會造成土壤的累積風險，但鋅濃度的部分則較高，因此須注意使用量及每年檢驗土壤的重金屬含量。有害菌分析之部分，本次分析樣品中並未檢測出大腸桿菌，但仍含有少量之沙門氏桿菌，故此建議以沼肥培養之作物，不要使用於生食蔬菜之供應上。

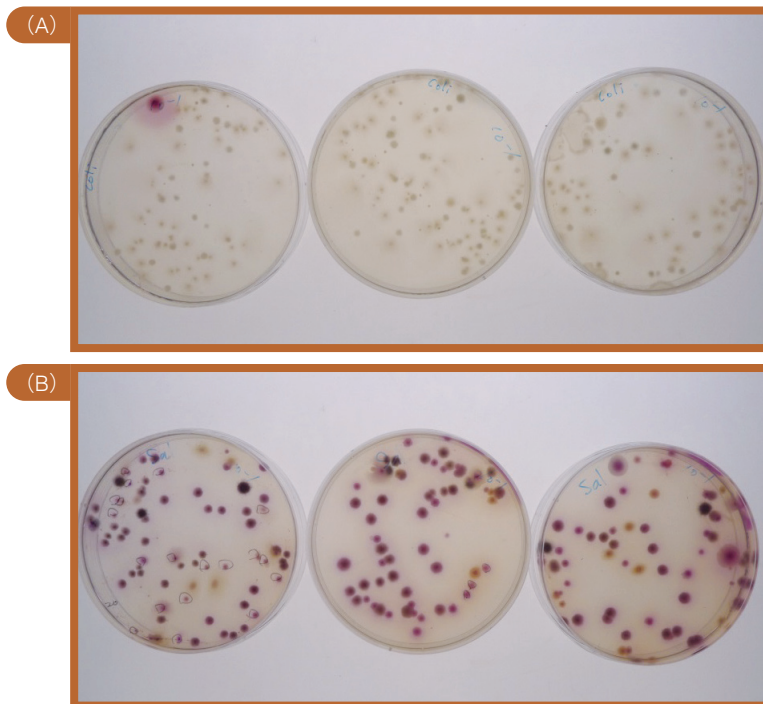


圖 1 腸桿菌群 (A) 及沙門氏桿菌 (B) 檢測培養。每個實驗為三重複。



A series of horizontal dotted lines spanning the width of the page, providing a template for writing notes.

行政院原子能委員會暨所屬機關研究計畫成果彙編下冊

109 年度行政院原子能委員會暨所屬機關研究計畫成果彙編下冊

編著者：行政院原子能委員會 Atomic Energy Council, Executive Yuan

出版機關：行政院原子能委員會 Atomic Energy Council, Executive Yuan

電話：+886-2-8231-7919

地址：新北市永和區成功路 1 段 80 號 2 樓

No.80, Sec.1, Chenggong Rd., Yonghe Dist., New Taipei City 234, Taiwan (R.O.C.)

網址：<https://www.aec.gov.tw>

出版年月：中華民國 110 年 10 月

定價：NT\$ 250

ISBN：978-986-5467-26-5

GPN：1011001053

- 原能會保留所有權利欲利用本書全部或部分內容者，需徵求行政院原子能委員會同意或書面授權。連絡電話：(02) 8231-7919。

You shall obtain the permission from AEC before using all or any part of the content of this report. TEL：+886-2-8231-7919

【版權所有，翻印必究】

