政治科學論叢／第五十六期／民國 102 年 6 月／頁 1～38

用過核燃料之國際多邊化管控趨勢：兼論我國處理用過核燃料策略的契機*

曾雅眞**

摘　要

在核不擴散之國際安全的考量下，2005 年 IAEA 發佈專家小組報告，啓動核燃料後端循環多邊化倡議，促成美國提出綜合核燃料服務（CFS）規劃，更引發俄國的積極回應。我國用過核燃料（spent fuel）數量相當可觀，如何在不違逆國際核治理相關規範暨核不擴散機制下，處理用過核燃料，已然是我國核能政策所面臨的重大挑戰。核燃料循環的多邊化倡議，已是國際核能法學界的熱門課題，但於我國學界仍屬陌生。爲此，本文擬觀察國際核燃料後端循環多邊化發展趨勢，並評估此種發展對我國相關管理政策的挑戰與契機。

關鍵詞：核燃料循環、用過核燃料、多邊化、國際原子能總署、國際安全

* DOI:10.6166/TJPS.56(1-38)。本文爲國科會計畫之部分研究成果（NSC 100-2410-H-218-008-MY2）。

**南台科技大學國際企業系副教授，E-mail: paristwo@mail.stust.edu.tw。

收稿日期：101 年 12 月 17 日；通過日期：102 年 3 月 29 日

臺灣大學學術期刊資料庫

壹、分析框架的歧異與融合－國際公法與國際政治對話下的國際核能治理

核能和平使用與防阻核武擴散，不僅是國際核能治理標的，國際核能法造法要旨，更是核不擴散以及核安全機制國際規範的構成核心。[1] 國際原子能總署（International Atomic Energy Agency, IAEA）於 21 世初葉提出核燃料循環多邊化倡議後，開啓核不擴散與核安全規範相互融合的進程，再度爲專注於核不擴散機制運作的國際關係研究，投下是否應修正分析架構的理論衝擊，而國際核能法學者，更是面臨如何處理新興國際核能造法（law-making）議題的挑戰。

國際社會回應和平使用核能暨核不擴散機制的內在矛盾，反映出國際關係暨國際公法兩學門相互借鏡研究成果，完備彼此分析架構的必要性。對國際關係研究而言，觀察核燃料循環過程中技術性規範的意義，將是解析核不擴散機制運作的關鍵；而對國際公法而言，權力要素在國際造法過程中的重要性，已不容忽視。

國際公法與國際關係的對話，至少包含兩種向度。首先，國際關係學者對國際公法研究成果的重新認識，構成對話的第一個向度。國際關係對國際公法的認識在過往存在不少偏見，但隨著社會建構理論（social constructivism）的風行，國際關係學者已開始正視，法律規範在建構國際社會過程中所扮演的關鍵性作用。其次，國際公法對國際關係研究成果的檢視，則構成國際公法與國際關係理論對話的另一個向度。透過檢視國際

---

[1] 當今兩岸對於國際原子能總署（IAEA）使用的英文特定名詞，有不一致的中文翻譯。例如 spent fuel 一詞我國行政院原子能委員會譯爲「用過核燃料」，中國大陸暨 IAEA 文件的中文譯本則譯爲「乏燃料」；Safeguard 一詞，我國譯爲「防保」，中國大陸暨 IAEA 文件的中文譯本則爲「保障」。1968 年生效的 Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons，台灣的官方機構仍譯爲「防止核武器蕃衍條約」，中國大陸於 1971 年取得聯合國中國代表權之後，聯合國的官方中文譯名亦改爲「不擴散核武器條約」。本研究在運用相關名詞時，以 IAEA 官方文件的中文譯名爲原則，但是仍參考台灣之官方中文名詞並加註英文，期能避免誤解。

臺灣大學學術期刊資料庫

關係理論研究發現所進行的反思，不但凸顯了國際公法在國際社會運作的重要性，亦進一步提升了國際公法的學術價值與貢獻。

國際關係對國際公法的重新認識，反映出國際關係理論的演化，以及國際公法與國際關係兩項學門間的理論激盪。現實主義宗師摩根索（Hans Morgenthau）曾批評，專注於條約條文解釋的實證法學（positivism），無法正確理解國際事務，國際公法有必要進行研究方法的革新（1940：282），不過專注於權力與國家利益的現實主義學者，除了強調法律在國際事務研究中的無足輕重，並沒有提出革新國際公法研究的內容與方向。

但是冷戰結束帶來的理論衝擊，要求國際關係重新看待國際社會之本質，省思國際組織等非國家行爲者在國際制度運作中所扮演的角色，規範（norm）以及透過法律化（legalization）所產生的規範遵奉（compliance）效果，都成爲國際關係重新認識國際公法的切入點。新自由制度主義學者界定法律化（legalization）是制度化（institutionalization）的某種型式，法律化除具備功能性作用外，更可以解釋本土政治行爲者的偏好與動機，以及特定國際規範的具體形象（Goldstein et al., 2000: 396-398）。國際制度與建制（regime）研究，強調國際公法在國際制度運作中的功能性作用，以爲國際公法提供遊戲規則、穩定的期待（stable expectations）、建立有效的底線與共同基準，它更是合理化政府作爲的正當性來源，而且透過對國際公法的遵奉，國際公法能強化本土政治運作的透明度（Burley, 1993: 220）。在新自由制度主義者的眼中，國際政治與國際公法，在法律化的課題上，產生了共同的研究議題（agenda）（Kahler, 2000: 683）。

社會建構主義對規範的探索，開啓國際關係理解國際公法之正當性的另一個境界。夸特衛爾（Friedrich Kratochwil）認爲規範與事實、程序（process）與內涵（substance）間的持續對話，生成了法律（1989：181-211）。他認爲法律規範（legal norms）與其他規範的最大差異，不在於特質，而是在於所運用的程序（1989：251)。此外，布奈（Jutta Brunée）與妥布（Stephen J. Toope）認爲，法治（rule of law）是由各行爲者相互建構而成，法律一方面提供此種互動建構的脈絡（context），法治生成的建構過程，更產生了規範與規則體系（system of norms and rules），而此一體系的拘束性與拘束效力（binding effectiveness），則取決於它們是否

臺灣大學學術期刊資料庫

被視爲正當（Brunnée and Toope, 2000: 43-48）。當規則與法律體系（legal system）等同於社會中的實踐與共享知識，規則就具有說服力（persuasive），而法律體系也就被視爲正當（Brunnée and Toope, 2001: 188）。社會建構主義彰顯說服具有權威的根源，更對於法律規範的演化，提供了新思路。

透過國際關係理論，國際公法也有新的研究方向與成果。國際公法對於過程（process）的專注，容許國際公法學者去探索法律制度是如何被建構，如何被運作，以及如何影響國際社會（Burley, 1993: 209）。相對地，國際關係理論對於制度、規範與法制化的研究成果，亦提供國際公法學者，得就特定法律制度的功能與結構，進行概念化的昇華與再認識（Slaughter et al., 1998: 373）。例如在國際關係權力概念的啓發下，國際公法學者對於國家權力在國際造法過程的意義產生了新的認知。國際公法學者發現，強權國家在國際法的發展、維繫與變革過程中，較一般國家更具影響力，更能將本國的利益轉化爲法律的概念（Byers, 1999: 35-40）。國際法的發展過程中，許多重要的法理概念，源自強權自身行爲的正當化過程，例如領土的先佔（occupation)、有效佔領原則（effective occupation)，以及條約神聖原則（sanctity of treaties）等，均是由不同時代的強權所創造，進而成爲國際法的重要內容（Krisch, 2005: 382-383）。在法律制度建構過程中，運用議程設定形塑結構性權力，更賦予某些國家透過國際制度之正當程序，置入利於強權的國際規範（曾雅眞，2007）。

不過國際關係理論的歧異，構成國際公法從國關理論吸取養份的障礙。首先，國際關係的研究議題（agenda）、專業用語以及研究方法，與傳統的國際公法研究，存在相當差異（Abbott, 1999: 364）。其次，國際關係理論之不同流派，對於規範與制度的觀點亦不盡相同，例如現實主義就對制度的作用嗤之以鼻（Mearsheimer, 1994/1995）。最後，即使是專注於規範與制度的國關學者，對法律規範的關注亦很有限（Abbott, 1999: 364）。例如國關學者對於國際核能治理制度的關切，似乎只限於核不擴散機制的運作，對於和平使用核能的實踐與法律規範的演化與作用，並未投注太大心力。

歷經長期的隔閡，國際公法與國際關係相互借鏡彼此的研究發現與概念，並已在國際研究社群得到諸多的正面回應（Biersteker et al., 2007；

臺灣大學學術期刊資料庫

Slaughter et al., 1998；Simmons and Steinberg, 2006）。國際法律制度建構過程的深度解析，以及國家面對國際制度的調適，是國際公法與國際關係足以共同發揮的研究議題。經由理論與研究成果的相互借鏡，兩者在理解國際建制的建構過程、國家如何應對國際制度的談判過程、共有規範基礎的論述建構、以及新的國際法律制度建構後，國家內部機關如何承受衝擊以及如何應對調整等等命題，皆有得以相互成長的空間（Slaughter et al., 1998: 385-393）。

近期國際公法與國際關係學門所進行的豐碩對話，開啓了吾人檢視核燃料循環多邊化倡議演化的分析架構。本文擬自國際公法視角，去探索一個國際建制從無到有的歷程，國際社會成員的調適回應，以及所可能承受的政策壓力。藉由用過核燃料之國際多邊化的演化過程，本文擬觀察國際多邊化的程序如何被設計、國際多邊化的規範基礎如何浮現、這些規範的基礎是透過何種論述取得正當性，進而產生影響力，以及國家面對此種發展，所遭遇之內部制度的調整壓力。

貳、核燃料環循與用過核燃料處理

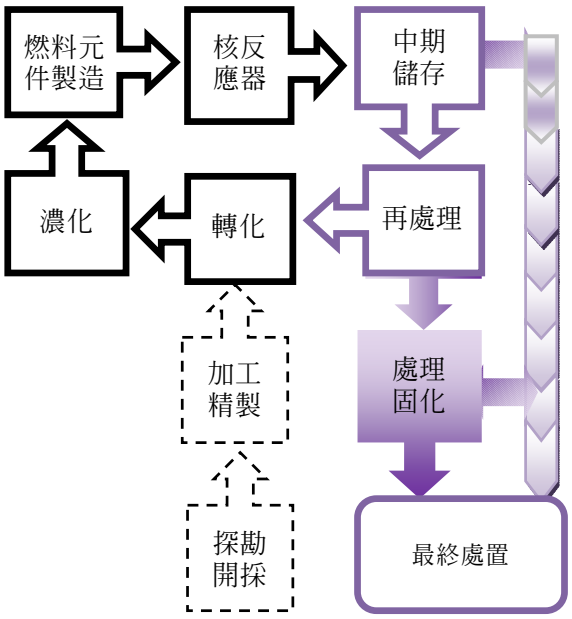
用過核燃料（spent fuel）的國際多邊化管控，已納入國際社會議程，並且成爲各方關注的焦點。不擴散核武器條約締約國 2010 年審議大會（2010 Review Conference of the Parties to the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons）於最終文件建議，須在 IAEA 或區域論壇的主導下，本著不歧視暨透明化原則，在不影響各國依據 NPT 條約的相關權利，以及不損及各國核燃料循環政策的前提下，滿足 IAEA 全面保防（safeguard）的要求，並針對核燃料前端循環之供應保證暨後端循環的可能處理方式，持續研討核燃料循環的多邊化措施（NPT, 2010: section 57）。試圖透過此一多邊化措施，強化防止核武器擴散之國際安全目標。

核燃料循環是供應核燃料予核反應器的一系列步驟（顧忠茂，2009）。如以核反應器爲中心，核燃料循環可分爲前端（front end）和後端（back end）兩部份。前端核燃料循環，是指產出適用核電廠之核燃料組件的過程，包括鈾礦勘察、開採（mining）、鈾礦石加工精製、鈾轉化（conversion）、

臺灣大學學術期刊資料庫

鈾濃縮（enrichment）與燃料元件製造（fuel fabrication）等。後端核燃料循環，則是自核反應器卸出之用過核燃料的運輸、貯存、再處理（reprocessing），以及放射性廢棄物的處理暨最終處置（disposal）等過程（參閱圖 1）。

圖 1　核燃料循環圖



資料來源：作者自行製作

用過核燃料是指，在核反應器芯內，受過輻射照射，並自反應器芯內，永久卸出的核燃料（IAEA, 1997: article 2.m）。用過核燃料仍含有大量的鈾與鈽等放射性元素，單位用過核燃料中，仍含有大約 95% 的鈾 235，1% 的鈽 239 暨次鋼系元素（Minor Actinides, MA），以及 4% 的裂變產物（Fission products, FP）（顧忠茂，2009：6）。因此，自用過核燃料中，提取可進一步使用的放射性同位素，即是所謂的再處理（IAEA, 1997: article 2.1）。經過再處理的用過核燃料，可以分離萃取出鈽 239 與鈾 235。若再混合再處理鈽 239 與天然鈾、再處理鈾或貧鈾，則可製成鈾鈽混合氧化燃料（Mixed oxide, MOX），成爲低濃縮鈾（Low-Enriched Uranium, LEU）的替代品，

臺灣大學學術期刊資料庫

作爲民用核反應器的燃料。

鈾濃縮與再處理技術，是防止核武擴散的重要關鍵。鈾濃縮與再處理技術，被視爲是有心發展核武器國家，取得製造核武原料－武器級鈽 239 暨高濃化鈾－的重要管道。一般民用核反應器內，大約僅有 4% 濃度的低濃縮鈾，但武器級鈾 235 的濃度，需達到 90% 以上，鈽 239 的濃度，則須需達到 93% 以上（顧忠茂，2009：12）。換言之，只要擁有鈾濃縮與再處理的技術與相關設施，即有可能擁有製造核武原料的能力。有鑑於此，是否擁有鈾濃縮或再處理技術，是觀察有心發展核武器國家，能否取得武器級鈾或鈽的重要指標。因此，用過核燃料之管制也成爲防止核擴散機制的重要關切課題。

依據對於用過核燃料的處置方式，核燃料循環有開放式與封閉式兩種類型。開放式核燃料循環亦稱爲「一次通過」（once-through）式循環，意指不再處理用過核燃料，而是將用過核燃料直接儲存。封閉式循環，則是將用過核燃料視爲一種資源而不是廢棄物，經再處理後，即可取得製造 MOX 燃料的再處理鈾與鈽（OECD, 2012: 41-42）。

然而無論是開放式或封閉式核燃料循環，都會產生高放射性廢料（High-Level Waste, HLW）。用過核燃料的放射活度與衰變熱都很高，高熱、高放射性與高毒性，致使用過核燃料的儲放需要格外謹慎。以一座 1000MW 的核電廠爲例，每年卸出的用過核燃料元件約爲 25～30 噸。用過核燃料經過化學再處理，亦會產生高放射性廢液，通常每處理一噸用過核燃料元件，約會產生 5,000 公升高放射性廢液，即使經過蒸發濃縮，體積亦有 400 公升（顧忠茂，2009：6-7）。製造 MOX 燃料之再處理流程，所產生的高放射性廢液暨無法轉換的放射性物質，即使採用玻璃固化方式處理，亦需經過冷卻後，方能進行中期儲存（Interim Storage）與最終處置（Final Disposal）。因此，無論是開放式或封閉式核燃料循環，都會面臨最終處置高放射廢料的嚴肅課題。

各國對於用過核燃料的管理策略與實踐不盡相同，整體而言，目前實際可行的策略包括再處理，中期貯存以及最終處置等三種方式。首先，對於用過核燃料採用再處理策略的國家，以法國及英國最具代表性。此外，中國大陸亦正在發展再處理的閉式循環策略。

臺灣大學學術期刊資料庫

第二種方式爲中期貯存，意指在有回取（retrieval）之意圖下，將用過核燃料或放射性廢物存放在具有保護作用的設施（IAEA, 1997: article 2.t）。也就是藉由中期貯存以降低放射性活度，俾利於最終處置或是進入再處理程序。中期貯存可分爲濕式和乾式兩種。濕式貯存，是利用水池進行強制冷卻。目前台電公司各核電廠的用過核燃料，皆是採用濕式貯存法，放置於各電廠的貯存池內。不過，濕式貯存法具有初期投資大、需長期維護管理，並且會產生二次廢棄物之缺點。

將用過核子燃料置於金屬容器內並填充惰性氣體後加以密封，藉由空氣的自然對流冷卻，外部有混凝土護箱來保護金屬容器並降低輻射劑量，此種貯存方式稱爲「乾式貯存」。乾式貯存因運轉維護容易、操作成本較低、燃料較不易腐蝕也不會產生二次廢棄物及發生輻射洩漏等優點（行政院原子能委員會，2012e）。

目前，美國的用過核燃料系同時採用濕式及乾式儲存法置於核電廠內，等待最終處置。截至 2010 年底，美國貯存的用過核燃料總共爲 6.45 萬噸，其中有 1.535 萬噸儲放於乾式護箱容器內（Feiveson et al., 2011: 105）。台灣目前亦採用中期貯存法，作爲用過核燃料處理方式定案之前的過渡處理方式。台電公司核一、核二與核三廠的用過核燃料，均存放在各廠的用過燃料池內，儲存規模經兩次擴充。到 2012 年 11 月止，共計儲存 16,087 束用過核燃料元件，合計 3,298 噸（行政院原子能委員會，2012d）。

用過核燃料管理的第三種方式爲最終處置。最終處置庫是放置用過核燃料等核材料的地下設施，通常位於地面以下數百公尺深處，並且能夠確保放射性核元素與生物環境長期隔離的穩定地質構造。在運行階段，處置庫將包括一個可能位於地面上或地面下的接收區，以及位於地下的容器操作區和放置區。在最終關閉後，將完成對處置庫所有放置區的回填作業，並停止一切地表活動（IAEA, 2005: para 200 & 201）。

雖然最終處置是一個不可避免的處理方式，但目前最終處置位址的選擇，仍是各國面臨的嚴格挑戰（Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management Fourth Review Meeting of the Contracting Parties, 2012）。例如美國 2002 年選定猶卡山（Yucca Mountain）作爲全美用過核燃料暨高放射性核廢料的最終

臺灣大學學術期刊資料庫

處置場址，但經過十年的波折，終於未能定案。美國藍緞委員會（Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future）更於 2012 年建議，應致力開發一處新的地質處置設施（Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future, 2012: viii），無異宣告現行美國最終處置設施的選址與運轉，又重新回到原點。

不過，芬蘭與瑞典的進展似乎較爲順利。被芬蘭選擇作爲用過核燃料處置庫前奏的昂加洛（Onkalo）地下設施，已於 2010 年挖掘至最終處置深度。波西瓦（Posiva）核廢物管理公司，擬於 2012 年底申請該處置庫的建造許可證，並於 2020 年開始進行最終處置作業（IAEA, 2012: para. 6）。其次，瑞典核燃料和廢物管理公司（Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company, SKB）則於 2011 年 3 月申請在福斯馬克（Forsmark）建造一座用過核燃料處置庫的許可證，並估計在 2025 年之前，開始最終處置作業（IAEA, 2012: para. 6）。

最後，即使選擇再處理用過核燃料的法國，亦必須因應再處理後所產生之高放射性核廢料的最終處置問題。法國國家放射性廢物管理局（L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, ANDRA）在 2012 年元月，簽署設計未來深部地質處置庫的契約，預定於 2025 年開始在法國東部的默茲／上馬恩（Meuse/ Haute-Marn）地區，運作此一最終處置庫（IAEA, 2012: para. 29）。

由於目前沒有最終處置設施投入運作，故而用過核燃料的存量正不斷地增加當中，並且大多數仍處於中期貯存階段；同時這些中期貯存的用過核燃料儲放時間，亦可能超過原有預期（IAEA, 2012: para. 28）。據 IAEA 統計，全球於 2011 年自反應爐中，卸出大約 1.05 萬噸重金屬（tonnes of heavy metal, HM）的用過核燃料。累計至 2011 年 12 月止，全球已卸出的用過核燃料，累積總量約爲 35.05 萬噸重金屬，其中約 24 萬噸重金屬被中期貯存，其餘約 11 萬噸重金屬則進行再處理（IAEA, 2012: para. 28）。由此可知，絕大部份的用過核燃料，均處於中期貯存階段，等待最終處置或是未來可行並且安全的新式處置方式。

目前國際上對用過核燃料的處理方式，僅有再處理部份存在商業市場。法國與英國，即承攬再處理日本用過核燃料並製造 MOX 的商業契約。

臺灣大學學術期刊資料庫

目前全球商業再處理能力，每年約爲 4,800 噸重金屬，主要是由法國、俄國和英國的公司所承攬。日本曾有意發展用過核燃料的商業再處理能力，不過自 2011 年 3 月 11 日發生福島核災後，原本預計年處理 800 噸重金屬的六所村商業後處理廠，已經中止建造（IAEA, 2012: para. 28）。

至於中期貯存或最終處置的國際商業市場，目前並不存在。對於將用過核燃料視爲廢棄物的國家而言，本國的用過核燃料，並沒有國際商業途徑，得以暫時或永久地，置放於其他國家儲存設施內的相關機制。接受委託再處理用過核燃料的國家，也不會將委託國委製 MOX 燃料過程所產生的高放射性廢料，存放在本國設施內，而是要求委託國，運回這些高放射性廢料後，自行處置。

我國自 1978 年起開始民用核能發電，迄今共有核一、二、三廠的六部核能機組，若加上目前正在建造中的核四廠二部機組，預計將會有八部機組加入運轉發電。台電公司預估，四個核電廠八部機組在運轉 40 年後，將會產生大約 7,714 公噸的用過核燃料（台灣電力公司，2011：1.1）。僅管馬英九總統於 2011 年 11 月 3 日宣佈，台電公司現有的核一、核二暨核三廠，在預定的運轉期限屆止後，不再延役；並且，興建中的核四廠必須在確保安全無虞的基礎上，才會進行商轉；最後，在核四廠兩部機組均能在 2016 年以前，穩定商轉的前提下，核一廠將會提前中止運轉（中華民國總統府，2011）。不過，核電廠核反應器運轉，必然會產生用過核燃料，即使核一廠可能在核四廠運轉後提前退役，我國的用過核燃料數量，仍是相當可觀，如何處理用過核燃料，已然是我國核燃料循環政策所面臨的重大挑戰。

參、IAEA 核燃料後端循環之多邊化管控建議

IAEA 早期的國際造法功能，僅限於核安全之一般性規範，其在核不擴散領域的角色扮演，亦僅是保防督察任務的執行者。IAEA 保防督察任務主要源自「不擴散核武器條約」（Nuclear Non-Proliferation Treaty, NPT）的第 3 條規範。該款授權 IAEA 查核 NPT 無核武核締約國核設施，賦與 IAEA 在核不擴散機制的保防（safeguard）功能中，扮演監督執行的角色（袁易，

臺灣大學學術期刊資料庫

2005：105）。但 IAEA 執法的正當性與權威性，亦隨著聯合國安全理事會各項核不擴散決議，而不斷的強化（Alvarez, 2005: 231）。20 世紀末，IAEA 已成爲核能和平使用相關規範的核心造法者。諸如依據 1994 年核安全公約（Convention on Nuclear Safety），IAEA 所發佈涉及核安全的相關建議暨行爲準則，無論就其內涵或實踐功能觀之，皆已超越一般軟法（soft low）性質，成爲一種具備類強制力與類執行性（compliance）之法律規範（Handl, 2003: 17）。核不擴散建制（regime）的相關規範，成爲不擴散核武器條約，區域性無核區條約（Nuclear Free Zone Treaty），聯合國安全理事會相關決議，以及核供應國集團（Nuclear Suppliers Group, NSG）制定設計或製造核物項暨核技術出口管制準則（guidelines）的制訂基礎。

核燃料循環多邊化倡議反映 IAEA 爭取國際議題主導權的努力。IAEA 曾先後於 1970 至 1980 年代進行核燃料循環多邊化管理研究，不過受到冷戰影響，始終未能付諸實踐（曾雅眞，2012：74）。IAEA 秘書長巴拉迪（Mohamed ElBaradei），於 2003 年提出涵蓋前端與後端的核燃料循環多邊化倡議。針對後端部份，巴拉迪提議，將用過核燃料暨輻射廢料，置於多邊管控（multilateral control）之下（El Baradei, 2003: 48）。關於前端的核燃料循環倡議，國際社會已經有三項國際核燃料供應機制的實踐，分別是俄國的核燃料銀行、IAEA 核燃料銀行與美國核燃料供應保證（American Assured Fuel Supply, AFS）機制（曾雅眞，2012）。至於核燃料後端循環多邊化的討論與實踐，目前亦正積極開展中。

完備核不擴散效能，是推動核燃料環循國際多邊化的規範論述基礎。2005 年的 IAEA 專家小組報告，是 IAEA 核燃料後端循環多邊管控的建議基礎。依據 IAEA 秘書長巴拉迪指示而成立的專家小組，於 2005 年 2 月 22 日提出「核燃料環循多邊方案」（Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle），在防止核擴散的前提下，就核燃料環循前端與後端之各種多邊化的類型暨其利弊，提出全面性的分析。在後端部分，專家小組將處理用過核燃料的多邊化方案分爲三類。第一類，是不涉及設施所有權的服務保證（Assurances of services）。第二類，是將現有的國家設施轉換爲多國設施（Conversion of existing national facilities to multinational facilities）。第三類，則是建造新的聯合設施（Construction of new joint facilities）。

臺灣大學學術期刊資料庫

最後，專家小組並建議，「燃料租借／燃料收回」（fuel-leasing/fuel take-back），以及核燃料循環個別部分，所構成的　燃料循環中心（fuel cycle centres）概念（IAEA, 2005: para. 309），也是個可行之道（參閱表 1）。

表 1　處理用過核燃料之多邊化方案

方　案	內　容	意　義
服務保證	再 處 理	用過核燃料仍含有大量的鈾與鈽等放射性元素，自用過核燃料中，提取可進一步使用的放射性同位素，即是所謂的再處理；放棄本國再處理能力是取得再處理服務保證的前提，不涉及設施的所有權。
	中期貯存	中期貯存意指在有回取（retrieval）的意圖下，將用過核燃料或放射性廢物存放在具有保護作用的設施中；中期貯存服務保證主要是針對核電廠營運者所提供的保證。
	最終處置	意指將用過核燃料等核材料放置在最終處置庫的地下設施，通常位於地面以下數百公尺深處，並且能夠確保放射性核元素與生物環境長期隔離的穩定地質構造；最終處置服務保證意指，向某國或是該國的核電廠營運者保證，用過核燃料（或是經再處理後返回的高放射性廢物）將確實在國內或在國際上得到及時的最終處置。
多國設施	再 處 理	將現有國家的再處理設施轉換爲「多國設施」意指，將各國現有之相關設施，轉變成爲國際擁有暨管理的國際實體，並且該實體將成爲全球再處理市場的新興市場參與者。
	中期貯存	中期貯存設施的多邊管控意指，將一國中期貯存設施轉置多邊管理後，中期貯存設施所在的地主國，將自夥伴國接收用過核燃料，並貯存在地主國的中期貯存設施內。
	最終處置	最終處置設施的多邊管控意指，一國現有最終處置庫轉置於多邊管控後，多邊最終處置庫設施所在的地主國，將自夥伴國接收用過核燃料，並進行最終處置。
聯合設施	再 處 理	再處理之聯合設施意指，建造新的多國再處理聯合設施，並由該等多國設施管理機構，提供再處理服務。
	中期貯存	中期貯存聯合設施意指，設立區域或多國中期貯存共同使用設施。
	最終處置	最終處置聯合設施意指，創設國際多邊最終處置設施。

資料來源：IAEA (2005)

臺灣大學學術期刊資料庫

一、服務保證

依照核燃料的後端循環程序，第一類的服務保證可分爲再處理、中期貯存暨最終處置等三種服務保證類型。

㈠再處理服務保證

首先，關於再處理服務保證，專家小組報告認爲，放棄本國再處理能力（capability）是取得再處理服務保證的前提（IAEA, 2005: para. 178）。在此前提下，希望再處理用過核燃料，並有意將分離鈽和／或鈾再製成 MOX 燃料者，即可以取得再處理服務保證。易言之，放棄本國再處理能力的國家，在有需要時或有必要時，就能夠取得再處理服務，或者取得一攬子的再處理暨製造 MOX 燃料的保證。

防止核擴散是取得再處理服務保證的核心要件，IAEA 專家小組因此建議，再處理服務保證應滿足下列四大前提要件。第一，服務範圍僅止於，不包括分離鈽在內的交付，或回送 MOX 燃料。第二，同一廠址原則。亦即再處理廠與 MOX 燃料製造設施，應位於同一廠址。第三，即時再處理原則。亦即同步進行再處理與 MOX 燃料的製造，藉以防止分離鈽的過量貯存。第四，即時回送 MOX 燃料原則。亦即，新製 MOX 燃料的回送，應與換料週期同步進行，藉以避免擬收回之燃料在服務接受國（customer country）停置的時間過長（IAEA, 2005: para. 179）。

最後，依據保證者的不同，再處理服務保證的提供者，亦有三種可能的管道。分別是第一，由供應方（suppliers）提供額外的再處理供應保證。第二，由國際的政府聯盟（international consortium of governments）提供的保證。第三，由 IAEA 提供的再處理保證（IAEA-involved arranges）（IAEA, 2005: para. 98）。供應方的再處理服務保證，是由再處理廠的營運者，向同意放棄再處理能力之國家，提供再處理服務保證。國際的政府聯盟所提供的再處理保證，則是由政府聯盟，向需求方提出再處理用過核燃料暨回送 MOX 燃料的保證。此種保證的形式，可能是一種契約，或者是一種透過滿足某種要件之後的法律義務。需求方在滿足上述特定情況下，即可購買再處理的服務保證。最後，IAEA 亦可能透過法律或是契約形式，向需

臺灣大學學術期刊資料庫

求方提供再處理暨回送 MOX 燃料的服務保證（IAEA, 2005: para. 191-195）。

㈡中期貯存服務保證

中期貯存服務保證是對核電廠營運者所提供的保證。亦即，一旦核電廠的現場貯庫滿載之後，自該電廠反應器所卸出的用過核燃料，將有所去處（IAEA, 2005: para. 265）。有鑑於多邊貯存安排意謂跨國合作意願，因此該項貯存設施，必須在一項國際公約或協定的約束下運行。換言之，多邊貯存庫的管理，無論是委託予商業公司、地主國或是國際的政府聯盟，都需要有一個明確的國際框架，律定應有規則。除此之外，多邊中期貯存設施更涉及貯存設施地主國和夥伴國的政治穩定，用過核燃料的所有權（ownership）轉移等重要課題（IAEA, 2005: para. 267-268）。

最後，依據保證者的不同，中期貯存服務保證亦包括三種型式。分別是，由供應方，由國際的政府聯盟，以及由 IAEA 所提供的中期貯存服務保證。在第一種型式中，提供核電廠燃料的商業實體，同時承諾收回並貯存用過核燃料，直到該等用過核燃料進行再處理或直接處置爲止（IAEA, 2005: para. 277）。國際的政府聯盟提供的中期貯存服務保證，則是在供應方不持有或不取得所有權的情況下，接收某批用過核燃料，並且無限期地臨時貯存該批核物料（IAEA, 2005: para. 278）。最後，IAEA「核材料國際貯存庫」（International Nuclear Materials Storage）的中期貯存，則是第三種服務保證類型（IAEA, 2005: para. 281）。

㈢最終處置服務保證

最終處置服務保證是指，對某國的用過核燃料進行最終處置的保證。也就是向某國或是該國的核電廠營運者保證，用過核燃料（或是經再處理後返回的高放射性廢物）將確實在國內或在國際上，得到及時的最終處置（IAEA, 2005: para. 222）。

最終處置服務保證依據保證者的不同亦有三種型式。第一，是由供應方提供的最終處置服務保證。此項概念源於過去蘇聯的實踐。前蘇聯承諾提供核燃料給依據蘇聯設計之核電廠，並全面承諾收回用過核燃料。此外，商業核燃料公司在商業基礎上提供「燃料租借／燃料收回」安排，亦可作

臺灣大學學術期刊資料庫

爲一種最終處置服務保證方式（IAEA, 2005: para. 241）。第二種類型的最終處置服務保證，是由國際的政府聯盟提供。它是一項涉及若干核燃料公司暨其政府的集體「燃料租借／燃料收回」機制。最後一種型式，則涉及 IAEA 管理用過核燃料之最終處置的安排。不過 IAEA 專家報告認爲，各國是否願意授予 IAEA 接收用過核燃料的權利，將是 IAEA 該等服務保證的最大挑戰（IAEA, 2005: para. 243）。

二、將現有設施轉換為多邊控管

依照核燃料的後端循環程序，第二類的設施多邊化控管，亦包含再處理、中期貯存暨最終處置等三種類型。

㈠再處理設施的多邊管控

所謂再處理的多邊控管，即是將現有的國家設施，轉變爲國際擁有暨管理的國際實體，並且該實體將成爲全球再處理市場的新興市場參與者（IAEA, 2005: para. 196）。此種多邊控管的再處理方案，恐怕面臨多重挑戰。其一，設施轉換的多邊控管，可能因爲多邊的介入，而增加再處理技術擴散的風險。它更涉及用過核燃料之產權歸屬，以及再處理鈽暨高放射性廢物，如何回送服務接受國等問題（IAEA, 2005: para. 196）。

㈡中期貯存設施的多邊控管

所謂中期貯存設施的多邊控管是指，某些國家的中期貯存設施被轉置於多邊管理之後，中期貯存設施所在的地主國，將自夥伴國接收用過核燃料，並且將之貯存於地主國的中期貯存設施內。此外，在增加區域後處理能力或是設立區域最終處置能力之前，多邊管控的中期貯存設施，將可作爲一項區域的緩衝性安排（IAEA, 2005: para. 285）。

㈢最終處置設施的多邊控管

最終處置設施的多邊控管是指，將某國的現有最終處置庫，轉換爲多邊管控之後，多邊最終處置庫設施所在的地主國，將自夥伴國接收用過核燃料，並進行最終處置。此種方案的預期收入，固然有助於建造具有良好

臺灣大學學術期刊資料庫

環境暨保防的現代化處置庫，不過亦可能面臨諸多政治認可暨公眾接受度的挑戰（IAEA, 2005: para. 244-245）。

三、設立新的多邊聯合設施

依照核燃料的後端循環程序，多邊聯合新設施方案亦包含再處理、中期貯存暨最終處置等三種類型。

㈠再處理聯合設施

首先，再處理聯合設施是指，建造新的多國再處理聯合設施，並由該等多國設施管理機構，提供再處理服務。除了再處理之外，多國再處理設施仍將同時承擔再處理服務保證的雙重任務，亦必須面臨在國際市場上的商業競爭（IAEA, 2005: para. 197）。

㈡中期貯存聯合設施

中期貯存聯合設施是指，設立區域或者多國範圍的中期貯存共同使用設施。此種聯合設施的建造，首先要考量該設施的地主國選擇要件，包括：地主國的政治意願、選址、良好的監管基礎結構、政治穩定、防擴散信譽、同意權協議，以及轉運國等問題。中期貯存聯合設施的成功，取決於高水準的安全標準、可靠的品質保證，公平暨透明的費用分擔、以及對於此種設施的政治支持。長期並持續的公眾支持，更是設立中期貯存聯合設施的重要條件（IAEA, 2005: para. 287-288）。

㈢最終處置聯合設施

創設國際多邊最終處置設施，將面臨多項技術挑戰與政治挑戰。在技術層次，必須針對核廢物的特徵、整備暨運輸進行可靠的技術評估。更需就存量、成本／效益、安全暨法律問題進行分析。最後，最終處置庫的選址極其重要。因爲與建議場址有關的具體安全、環境暨政治問題，將左右此種國際方案的存續（IAEA, 2005: para. 246）。涉及到國際多邊最終處置設施成敗的政治挑戰，來自於地主國的選任。舉凡政治意願、廠址的地質穩定性、良好的監管機制、政治穩定、防擴散信譽，以及轉運國的同意

臺灣大學學術期刊資料庫

權協議，均是擇定地主國的要件。而地主國國內的公眾接受度，亦是建立國際最終處置庫的評估重點（IAEA, 2005: para. 247）。

爲了克服「不要建在我家後院」（Not in my backyard）的抗拒，IAEA 專家小組報告建議，應當建造一個以上的國際最終處置庫。因爲地主國絕不願意成爲全球唯一的最終處置場址，故而在各洲建立若干區域性最終處置庫，將使運輸量減至最低程度，並且服務接受國也將有一定程度的靈活性。IAEA 專家小組報告建議，在北美設立兩個國際最終處置庫，在南美洲設立一個國際最終處置庫，在西歐／中歐設立兩個國際最終處置庫，最後，在俄國、非洲、南亞、中國大陸與東南亞，亦各自設立一個國際最終處置庫（IAEA, 2005: para. 248）。

肆、國際管控用過核燃料的倡議

強權國家回應建構國際多邊化管控用過核燃料的表現，反應強權國家先期形塑法制基礎，主導國際制度建構過程的主動性。美國與俄國都透過國際論壇或是多國組織等方式，在多方參與的情況下，研擬各種可能發展爲用過核燃料多邊控管的不同概念，目前仍以美國主導之綜合核燃料服務（Comprehensive Fuel Services, CFS）倡議的進展較爲顯著。

一、美國主導的綜合核燃料服務倡議

美國於 2006 年小布希（George W. Bush）政府時代，提出全球核能夥伴計畫（Global Nuclear Energy Partnership, GNEP），但是 GNEP 防核擴散的成效有限，歐巴馬總統（Barack Obama）執政後，於 2010 年 6 月 17 日在加納（Ghana）召開會議，將 GNEP 正式更名爲國際核能合作論壇（International Framework for Nuclear Energy Cooperation, IFNEC），並且調整其運作方向。目前 IFNEC 的正式會員共 32 國，另有三個國際組織觀察員，以及 31 個國家觀察員（IFNEC, 2012），其規模已經遠遠超出 GNEP 時代。透過 CFS 倡議，IFNEC 正逐步向國際社會推薦該等用過核燃料的多邊管控概念。

在降低核擴散的目標下，GNEP 原本希望透過 UREX+ 再處理新技術

臺灣大學學術期刊資料庫

的研發，創造新的核燃料服務機制。在用過核燃料的問題上，GNEP 希望透過可靠暨全面性的核燃料供應服務，利用先進的核再循環技術，以及後端的廢料處理技術，說服一般國家，放棄發展鈾濃縮與再處理設施，藉以降低核武擴散的可能性（Department of Energy, 2006；NPT, 2008: para. 4）。

不過 GNEP 最終仍被迫轉型。GNEP 爲人垢病之處，在於刻意將全球分爲核燃料技術供應國以及核燃料消費國。此舉無異是剝奪《核不擴散條約》第 4 條賦予各締約國，爲和平用途目的，進行研究、製造、和使用核能源的權利。依據 GNEP 規劃，只有核燃料技術供應國能夠進行燃料循環活動，至於一般的核燃料消費國，則只能運作核電站，而不能進行燃料循環的相關活動。美國等擁有先進核技術的核燃料技術供應國，將成立國際財團，向核燃料消費國提供費用合理的核燃料租賃服務，並負責將用過後燃料送回供應國，進行再循環處理（顧忠茂，2008：11）。此外，GNEP 的後端多邊控管倡議，意謂美國將建立再處理工廠，爲所有核燃料消費國提供再處理服務，此種方向亦違逆長期以來美國不發展再處理的政策方向。再者，GNEP 的 UREX+ 核燃料再處理技術，並不能滿足核不擴散的目的。最後，創建 GNEP 核燃料服務，更需要歷經繁雜的立法與修法程序。不能防止核擴散，甚至可能昇高核擴散風險，是 GNEP 最後被迫轉型的關鍵（Nikitin, 2011: 28-29）。

轉型之後，IFNEC 改造了 GNEP 的決策方式與組織結構。首先，IFNEC 的決策採用共識決。其次，IFNEC 的最高決策機構爲部長級執行委員會（Executive Committee），是由各參與國以及候選參與國所共同組成。其下設有指導委員會（Steering Committee），由美國能源部的副助理部長（Deputy Assistant Secretary）麥基尼（Edward McGinnis）擔任執行主席，另有法、中、日三國人士擔任副主席。指導委員會下設兩個工作小組，分別是基礎建設發展工作小組（Infrastructure Development Working Group, IDWG），以及可靠核燃料服務工作小組（Reliable Nuclear Fuel Services Working Group, RNFSWG）。基礎建設發展工作小組下設放射性廢物管理次小組（Sub-group on Radioactive Waste Management）；至於可靠核燃料服務工作小組，則設有資源需求與核燃料次小組（Sub-group on Resources Requirement and Fuel Supply），以及後端核燃料循環路徑選擇次小組

臺灣大學學術期刊資料庫

（Sub-group on Approaches for Selection of Back-end Fuel Cycle Options）（IFNEC, 2011）。

此外，IFNEC 與 GNEP 在參與國權利暨討論議題上，也有相當差異。首先，在和平使用核能的權利保障方面，IFNEC 於宗旨（Statement of Mission）明言，參與國不需放棄任何權利，即可共同分享或自願貢獻，和平使用核能的經濟效益（IFNEC, 2010）。平等的參與以及共識決，是 IFNEC 與 GNEP 時代的根本差異。最後，IFNEC 的討論課題，亦延展到核燃料後端循環議題。強調滿足高標準的核安保（security）、核安全（safety），以及在核不擴散的基礎上，推進和平使用核能的互利合作途徑（IFNEC, 2010）。有別於過去 GNEP 只關注再處理技術發的有限視野，IFNEC 主動探索包含中期貯存暨最終處置在內的核燃料後端循環方案，並提出 CFS 倡議。

綜合核燃料服務倡議的具體概念仍在發展中。不過，同時擔任 IFNEC 指導委員會主席的美國能源部副助理部長麥基尼強調，CFS 倡議是全球商業基礎運作最可靠的核燃料服務。在 CFS 概念下，供應者將會提供一套涉及核燃料供應、用過核燃料管理，以及最終處置服務的各種選項（options）。此外，CFS 將依據不同使用者以及核能服務供給者之個別需求，提供彈性的客製化途徑。最後，CFS 倡議提供之競爭性經濟效益，將會高於本國自行發展相關設施或相關處置活動所造成的各種負擔，例如發展本國的鈾濃縮或再處理設施，用過核燃料與高放射性廢物之中期貯存與最終處置等（McGinnis, 2012）。

換言之，CFS 將會依據每一個不同使用者之狀況與需求，提出量身訂作的前端核燃料服務保證，以及後端的用過核燃料處理方式。當然，強調 CFS 經濟效益的目的，在於說服務接受國，放棄發展相對昂貴的本國再處理或是鈾濃縮等核燃料製造設施，藉以降低核擴散風險。但值得注意的是，CFS 倡議所提供的核燃料後端循環服務，包含了中期貯存與最終處置等途徑，而非早期 GNEP 所倡議的再處理技術研發暨 MOX 燃料製程。此等事實顯示，IFNEC 對於核燃料後端循環的處理方向，傾向於開放式的後端循環。

企業的積極參與，是 CFS 的特點。IAEA 推動的核燃料環多邊化倡議，

臺灣大學學術期刊資料庫

涉及各國能否依據《核不擴散條約》第 4 條，保有締約國和平使用核能之研究與製造權利。過去 GNEP 將全球國家分類爲核燃料技術供應國以及核燃料消費國，因存在歧視性的差別待遇，而未能吸引各國積極參與。爲避免主權國家權利的爭議，CFS 倡議特別強調企業參與的重要性。IFNEC 於第二屆執行委員會的共同聲明（Joint Statement）中強調，CFS 需要與企業界共同努力，在實踐 CFS 的過程中，需要創建一個公私實體的夥伴關係，拓展企業界所能發揮的角色（IFNEC, 2011）。

不過私人企業的參與，也造就了一個規避主權國家應有權利的後門，營造出一個以核技術高低爲核心的參與門檻。放眼全球，擁有足夠技術與資金條件，並且能積極參與 CFS 的企業，不過就只有美日歐俄等核技術先進國家的公私營企業。絕大多數的核電國家，在研發核技術的龐大經濟金融成本，以及市場機制壓力下，通常只能選擇主動放棄發展本國的鈾濃縮以及再處理等核燃料製造技術，淪爲在國際市場上不能受到主權保障的核電使用國。

CFS 倡議的實踐運作模式目前仍未具體揭露。不過，日本新聞媒體於 2011 年 7 月披露，在 CFS 概念下，美國、日本與蒙古擬議，將蒙古生產的鈾燃料，出口至使用核電站的國家，爾後再由蒙古回收用過核燃料，儲存於蒙古。日本媒體更指出，美日蒙三國政府協議，在 CFS 的商業視野下，三國將定期進行磋商。同時，亦將與 IAEA 協商，向蒙古提供修建用過核燃料儲存設施之技術支援的可能性。[2]

事實上，美日等國有意在蒙古建立核廢料儲存設施的說法，一直甚囂塵上，美國駐蒙古烏蘭巴托大使館，即曾於 2011 年 4 月 12 日發表聲明，否認兩國曾就建造接收他國用過核燃料之貯存設施一事，進行諮商（Embassy of the United States Ulaanbaatar Mongolia, 2011）。蒙古總統額勒畢格道爾吉（Ts. Elbegdor），更於 2011 年 9 月 13 日召集閣員，強調依據蒙古法律，不容許進口或是轉運外國核廢料至蒙古，據此重申蒙古政府並沒有與外國政府，簽署任何在蒙古境內掩埋，或是貯存外國核廢料的

[2] 該新聞原發表於 2011 年 7 月 18 日的日本共同新聞社網頁，不過該條新聞的網頁已經被刪除，故採用人民網轉載（人民網，2011）。

臺灣大學學術期刊資料庫

協定，並且頒布命令，要求蒙古政府官員，在沒有蒙古國家安全委員會（National Security Council）的同意下，不得協商或同意，其他國家與國際組織在蒙古儲存核廢料（The Office of the President of Mongolia, 2011）。

不過，蒙古是否接納他國核廢料所引發的政治風波顯示，CFS 可能設想之一，乃是在商業市場運作的前提下，與一個富藏鈾礦的開發中國家接觸，在該國投資人力、資金與技術，並建造核燃料生產設施；爾後再透過核燃料租借方式，向他國輸出核燃料，再將該等租借核燃料所產生的用過核燃料運回本國，進行中期貯存或是最終處置。

目前 IFNEC 正積極向國際社會推介 CFS。《用過核燃料管理安全和放射性廢物管理安全聯合公約》（Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management）的締約國第四次審議會議，於 2012 年 5 月 14 日，在維也納召開。美國在該次會議上，向審議會議的開放工作小組（Open-Ended Working Group）介紹 CFS 倡議。締約國雖承認討論核燃料後端循環綜合方案的重要性，但也注意到這是個複雜問題，因此在審查會議上表示，需要更多的時間來審議此一課題。不過，審議會議也建議，將在 2013 年初加開第一次專題會議，繼續討論 CFS 倡議（Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management Fourth Review Meeting of the Contracting Parties, 2012: 14）。預料隨著 IAEA 相關會議的召開，CFS 倡議的具體實施途徑，將會有更清楚的揭露。

二、俄國主導的國際核電基礎設施中心倡議

俄國總統普丁（Vladimir Putin）於 2006 年 1 月 25 日宣示，將成立國際核電基礎設施中心（Global Nuclear Power Infrastructure, GNPI）。普丁利用在聖彼德堡召開歐洲經濟共同體高峰會議的機會倡議，在不歧視的基礎上，並且在 IAEA 的監管下，於俄國設立提供核燃料循環服務的國際核電基礎設施中心（IAEA, 2006）。

俄羅斯國家原子能公司（ROSATOM）總裁柯里揚科（Sergei Kiriyenko）揭示，俄國有意在其境內，設立四種國際核燃料循環服務中心。第一種，是國際鈾濃縮中心（International Uranium Enrichment Centre, IUEC）。第

臺灣大學學術期刊資料庫

二種，是用過核燃料的再處理暨儲存中心。第三種，是爲新興核子國家，成立人員培訓暨認證中心。最後，則是建立核能新技術研發中心（Yudin, 2009: 26-27）。不過，目前僅有 IUEC 有具體成果，其他三項中心尚沒有顯著成就。

俄國的國際核電基礎設施中心倡議，在核燃料循環服務前端的成果領先各國。繼 2007 年俄國與哈薩克於安加爾斯克（Angarsk）成立 IUEC 後，亞美尼亞和烏克蘭亦先後加入該中心。俄羅斯國家原子能公司，亦於 2010 年 3 月 29 日，與 IAEA 簽署協定，於 IUEC 設立低濃縮鈾儲存庫（IUEC, 2010），成立全球第一座核燃料銀行（nuclear fuel bank），開啓全球核燃料循環服務步入多邊化機制的濫觴。依據該協定，當 IAEA 會員，因商業或核不擴散以外的政治原因，被中斷核燃料供給時，則 IAEA 會員得在符合協定規範的前提下，得透過 IAEA，取得俄國 IUEC 所提供的核燃料。

雖然設立用過核燃料的再處理暨儲存中心，也是俄國 GNPI 倡議的發展項目之一。不過，目前俄國仍依循前蘇聯的用過核燃料回收模式，僅同意向俄國設計與建造的他國核電廠，提供俄國核燃料，並回收用過核燃料至俄國進行再處理與儲存。例如，俄國於 2010 年即與越南簽約興建越南的第一座核電廠，雙方並協議，將越南核電廠的用過核燃料，運回俄國進行再處理（World Nuclear News, 2010）。目前俄國對於核燃料後端循環的政策，仍是以再處理的閉式循環爲主，沒有考慮採用開放式的循環路徑。

目前，俄國對於境外用過核燃料的可能多邊化途徑，是以再處理爲主要考量，但是對於再處理過程所產生的高放射性廢物的處理，俄國似乎也正在探索，高放射性廢物的最終處置多邊化的可能性。俄羅斯國家原子能公司，於 2012 年 6 月 22 日，與迦納（Ghana）簽署合作備忘錄，雙方同意開展和平使用核能的各種合作領域，其中包含核燃料循環的供應服務，以及放射性廢物處理等合作面向（ROSATOM, 2012.）。迦納雖有發展核電的企圖（World Nuclear News, 2012），但是俄國與迦納的合作，不禁令人聯想到 IFNEC 模式，在落後國家設立用過核燃料最終處置設施的考量。

臺灣大學學術期刊資料庫

伍、台灣處理用過核燃料的挑戰與契機

我國地狹人稠，在有限的地理條件下，如何處理用過核燃料暨高放射性廢物，已經面臨諸多的技術性挑戰，以及公眾接受度的政治壓力。長久以來，未能直接參與 IAEA 全球核治理的客觀限制，以及受制於台美核能相關協定的拘束，我國受益於核燃料循環後端多邊化倡議之空間，受到諸多限制。這些挑戰，突顯國際用過核燃料管理制度建構過程中，一般國家所面臨的內部制度調整壓力。

一、再處理用過核燃料途徑的障礙

我國現行的用過核燃料管理策略，乃是近程採行核電廠內的濕式水池貯存，中程以核電廠內乾式貯存，長程則推動最終處置爲方向的策略（行政院原子能委員會，2012b），而中程策略亦不排除在遵守國際核子保防協定下，尋求在國外進行用過核燃料再處理之可行性（行政院原子能委員會，2012a）。台電公司則說明，目前對於用過核燃料的管理，主要係採乾式中期貯存，並積極尋求國際合作（境外）處置機會，但在境外最終處置尚未具體可行之前，將持續發展境內直接最終處置之地質調查技術（台灣電力公司，2011）。不過原子能委員會似乎放棄將用過核燃料最終處置於境外的想法，認爲依國際慣例，用過核燃料再處理所產生之高放射性廢棄物仍歸各國自行負責處置，因此我國必須推動執行用過核燃料與高放射性廢棄物的最終處置計畫（行政院原子能委員會，2012a）。換言之，近程的廠內水池貯存或是乾式中期貯存，仍只是一個臨時性的措施，雖然我國極力爭取於境外再處理我國的用過核燃料，但整體的策略走向，仍是以在台灣境內最終直接處置爲目標。

僅管如此，受制於現行的台美核能合作協定條文，我國如何落實境外再處理的中程再處理策略，仍有待積極性的突破。首先，美國擁有否決台灣再處理用過核燃料的權力。依據 1974 年修正生效的《中華民國政府與美利堅合眾國政府民用原子能合作協定》（Agreement for Cooperation between the United States of America and the Republic of China concerning

臺灣大學學術期刊資料庫

the Civil Uses of Nuclear Energy），由美國所供應之任何特種核子原料需要「再煉」（reprocessing）時，或者是美國所供應的燃料元件須自反應器內移出，並且必須改變其形狀或含量時，此種再煉或改變，都必須經過台美雙方共同鑑定。此外，雙方亦只能在共同合意的設備中，進行該等再處理或改變（中華民國，1974：第 2 條丙項）。由於美國憂心台灣突破核不擴散的限制，所以在沒有取得美國諒解與同意之前，美國所供應的核燃料，經核照射後所產生的用過核燃料或是任何核物質，皆不能離開台灣或到境外進行任何形式的處理。

當然，如若美國願意爲我國再處理用過核燃料，則應爲最佳選項，不過此種日趨渺茫的期待，是我國所面臨的第二項挑戰。美國藍緞委員會於 2012 年 1 月 26 日，提出美國核廢棄物整合管理策略的最終報告。藍緞委員會在該報告中不建議美國採閉式循環路徑。此舉無異宣告，美國未來的政策核心爲直接最終處置，並且，再處理形式亦不會是核燃料後端循環的處置政策（Blue Ribbon Commission on America’s Nuclear Future, 2012: xii）。在不願意製造核擴散風險的考量下，美國政府似乎無意向他國提供再處理用過核燃料的商業服務。

爲此，當美國自身都將用過核燃料視爲一種廢物，放棄再處理用過核燃料的政策時，期待美國重回閉式循環再處理路徑，此種政策逆轉的可能性，似乎微乎其微。即使是長期堅持發展用過核燃料再處理技術的日本，也已於 2012 年 9 月 19 日，經內閣決議，通過「能源和環境創新戰略」（National Policy Unit, 2012），修正核燃料循環政策，自原來擬發展再處理的閉式循環研究，改爲開放式的直接處置研究。並且強調，推動再處理技術的目的，在於降低核廢物體積及毒性（The Energy and Environment Council, 2012: 5），而不是製造 MOX 燃料。

二、掌握國際核治理發展方向

我國自 1971 年失去聯合國之中國代表權後，被迫退出包括 IAEA 在內的所有聯合國暨其附屬機構的相關活動，即時掌握全球用過核燃料多邊化發展的趨勢，將是我國核能政策的重大挑戰。

目前 IFNEC 的 CFS 倡議，顯然傾向在多邊參與下，直接處置各參與

臺灣大學學術期刊資料庫

夥伴國的用過核燃料，不鼓勵閉式循環再處理路徑。爲此，我國現行的用過核燃料處理政策，是否有機會配合核燃料循環後端多邊化倡議，參與美國主導下 IFNEC 之 CFS 機制，進而創造將我國用過核燃料直接處境於境外的機會，取決於美國 CFS 等各種核燃料循環後端多邊化倡議的發展成果。

美國正在 IAEA 架構內，強力推展 CFS 倡議。例如在《用過核燃料管理安全和放射性廢物管理安全聯合公約》的締約國第四次審議會議上，美國即針對 CFS 提出報告，並供各方討論。此外，該次審議會議的最終報告並建議，在 2015 年的第五次審議會議中，締約國所提交的國家報告，應包括尋求長期管理並處置不同類型放射性廢物及／或用過核燃料的解決方案，並開展相關的國際合作（Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management Fourth Review Meeting of the Contracting Parties, 2012: para. 61）。最後，各締約方更應體認討論 CFS 的重要性（Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management Fourth Review Meeting of the Contracting Parties, 2012: para. 41）。

日本福島核災事變，促成國際社會開展核燃料後端循環合作的契機，在未來數年內，美國強力推展的 CFS 倡議，勢必成爲國際核治理制度的討論焦點。遺憾的是，我國無論在尋求參與 IFNEC 或者參與 CFS 議題的討論上，均呈現滯後現象。台電公司或是任何其它核能相關之公私營企業，目前均沒有參與美國主導的 IFNEC 活動。[3]

我國與 IAEA 的互動，仍集中在核保防事務（袁易，2009 : 362-363），至於涉及全球核能營運安全的核安全領域，或是用過核燃料暨放射性廢物處理等相關問題，我國自國際社會所能取得的多邊協助諮詢管道，十分有限。目前我國與 IAEA 的最主要接觸，乃是依據台美暨 IAEA 三邊保防協定（Agreement between the International Atomic Energy Agency, the Government of the Republic of China and the Government of the United States

[3] 我國並非 IFNEC 之會員，查考 IFNEC 列舉之企業參與名單，亦沒有發現台灣企業名列（Burkart, 2013）。

臺灣大學學術期刊資料庫

of America for the Application of Safeguards）的定期與不定期保防視察（行政院原子能委員會，2012c；袁易，2009：362-363）。除此之外，我國幾乎得不到 IAEA 提供之任何技術輔導暨同業審查（peer review）的可能。[4] 我國近年雖透過與經濟合作組織（Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD）下屬的核能署（Nuclear Energy Agency, NEA），取得國際核能治理的接觸管道，但對於我國要求加強技術移轉的呼籲，NEA 仍認爲目前沒有更動現行計畫的必要性（OECD/ NEA, 2012: 22）。近期較爲可喜的發展是，我國自 2010 後，即以非政府組織（NGO）觀察員身份，參與 IAEA 年會，並且得與 IAEA 協議，舉行定期會議（行政院原子能委員會，2012f：36）。此外，NEA 亦同意籌組專家團來台，協助審查比對，我國依據「歐盟核安規範組織」（The European Nuclear Safety Regulators Group, ENSREG）規範，所撰寫之核能電廠壓力測試國家報告（中華民國總統府，2013）。相較於 IAEA 會員國廣泛的多邊互動，在未能同步於全球用過核燃料多邊化發展趨勢的限制下，我國無論在掌握國際核治理制度發展趨勢，用過核燃料暨核廢物管理資訊的更新，以及最新議題的參與上，均有必要投注更多心力。

全球呼籲強化核能安全監管機構有效並且獨立的專業運作訴求，亦對我國的政府組織調整造成調適的壓力。我國政府的組織改造規劃，原意圖在 2013 年，將部會級的原子能委員會併入新成立的科技部，並降編爲三級機關核能安全署（蔡春鴻，2012：15）。但在國際強化核安的訴求下，爲宣示政府重視核能安全的決心，行政院決定改弦更張。唯受制於中央行政機關組織基準法有關部會數量上限的規定，行政院仍只能維持裁撤原子能委員會的決定，並於 2013 年另外通過核能安全委員會組織法草案，將核能安全管制機關之位階定位爲相當中央三級獨立機關，直屬行政院（行政院，2013），但此項組織調整仍有待立法院同意並完成立法程序後實施。

[4] 經檢視行政院原子能委員會 2001 至 2011 年歷年年報，IAEA 沒有向台灣提供同業審查服務（行政院原子能委員會，2013）。

臺灣大學學術期刊資料庫

三、處理用過核燃料的契機

我國的核能政策受到美國的深刻影響，在防止全球核擴散的政策背景下，美國已邁向開放式核燃料循環的政策路徑，更利用雙邊核能合作協定的修約機會，限制美國盟邦籌建再處理技術與設施的能力。在被迫放棄發展境內再處理能力的條件下，我國能否利用此一機會，爭取美方同意，將用過核燃料運到其他國家再處理，並且利用美國推動 CFS 倡議的機會，將再處理後之高放射核廢料，轉送到第三國境外直接儲置，將是我國用過核燃料處置政策的可能契機。

美國利用台美民用原子能合作協定修約的機會，要求我國放棄發展鈾濃縮暨再處理能力（Grossman, 2012）。意圖發展再處理技術的南韓，因此倍受壓力，認爲美國此舉，將使南韓無法在韓美民用原子能合作協定的修約談判中，取得有利於南韓核能政策的條件（曹栢乾，2012）。我國與美國在 1958 年 12 月 8 日簽訂《中華民國政府與美利堅合眾國政府民用原子能合作協定》，先後於 1962 年、1964 年、1972 年、1973 年歷經四次修正，目前台美民用原子能合作協定將於 2014 年終止，台美雙方目前正談判修約條文的具體內容。

依據外國媒體報導，美國向我國提出修約草案，要求我國比照 2009 年生效的美國與阿拉伯聯合大公國（the United Arab Emirate, UAE）民用核能合作協定，放棄在境內建造鈾濃縮與再處理設施的權利（Grossman, 2012）。

不過，放棄建造鈾濃縮與再處理設施的權利，或許可以換來我國用過核燃料轉運到境外再處理的機會。原因是，阿拉伯聯合大公國雖然放棄建造鈾濃縮與再處理設施的權利，美國卻在附加照會（Agreed Minute）中同意，阿拉伯聯合大公國的用過核燃料，得在符合英法兩國規範暨特定情況下，轉運到法國與英國，進行中期貯存或是再處理。雙方並且同意，經再處理後的鈽與特種可裂變物質，不得再送回阿拉伯聯合大公國（United States, 2009）。很明顯地，美國是擔心這些敏感物質將會被運用製造核武器，反而造成核擴散的風險。

目前對我國最理想的方案，乃是利用台美民用原子能合作協定修約的

臺灣大學學術期刊資料庫

機會，藉美國與阿聯的協議內容，作爲台美重新訂約的範本。亦即，取得美方同意，在不違反核不擴散暨核安全相關公約的前提下，將目前貯放於核電廠內的用過核燃料，轉運到第三國，進行再處理或是中期貯存。至於可能製造核武的鈽與特種可裂變物質，則不回送台灣貯放，而是直接尋求其他途徑，例如透過 IFNEC 倡議的綜合核燃料服務商業運作機制，在境外進行最終處置，藉之降低在我國境內建造用過核燃料暨最終處置設施的政經壓力與風險。

不過在最理想的狀況尚未改變之前，我國對於用過核燃料的處置方案，仍不宜放棄在境內進行最終處置之研究。有鑒於我國用過核燃料數量的持續增加，在不能突破境外再處理的限制之前，目前亦只能自三座核電廠燃料池內，移轉用過核燃料至乾式貯存設施，同時規劃境內用過核燃料最終處置設施的運轉。台電公司擬於 2055 年完成最終處置場之建造，目前全案處於「潛在處置母岩特性調查與評估階段」，該階段預計於 2017 年結束（台灣電力公司，2011：1.2）。核一廠乾式中期貯存設施，已於 2012 年 5 月 2 日通過原能會審查，並核准試運轉。此外，原子能委員會亦於 2012 年 3 月 15 日，受理台電提出的「核二廠用過核子燃料乾式貯存設施建造執照」申請，並邀請 30 位專家學者組成審查團隊，目前正執行安全分析報告審查暨安全驗證研究中（蔡春鴻，2012：9）。

綜上述，如何實現我國用過核燃料管理策略的契機，端視台美民用原子能合作協定的修約情況，以及我國能否參與 CFS 運作機制，爭取將用過核燃料於境外再處理，以及將所有核廢料轉貯於境外中期貯存設施暨最終處置庫的機會。

陸、結論

如何安全並妥善地管理用過核燃料，是我國面臨的嚴峻挑戰。我國在 1970 年代興建運轉的核電廠，都已面臨機組老化暨設計概念老舊的問題。尤其是在 2011 年日本福島核災過後，國際社會益發關注核安全之際，如何在滿足我國能源需求、消除國際社會疑慮，以及兼顧成本考量的前提下，處理數量日益增長的用過核燃料，並贏得民眾對於核電的信任與信心，是

臺灣大學學術期刊資料庫

我國用過核燃料處置政策所面臨的重要挑戰。

打破國際核治理制度的邊緣化困境，掌握國際核治理制度的最新發展趨向，是我國克服各種核安挑戰的可行途徑。由於過往曾有試圖發展核武器的歷史紀錄（錢復，2005：336-347），我國目前與 IAEA 全球核治理的互動，僅止於核子保防措施。長久被排拒在國際核治理制度之外，已是我國核安全的重大隱憂。尤其是在涉及重大政經社議題之用過核燃料的處置政策上，我國因受制於客觀的國際孤立暨主觀的視野限制，對於全球核燃料循環倡議的多邊化發展，一直處於有限認知的窘境。

再處理成本、國際社會疑慮以及核安全的顧慮，亦是我國執行用過核燃料管理政策所面臨的關鍵挑戰。成本問題曾是政府執行用過核燃料管理政策的重要考量。雖然原能會網站明白宣示，我國用過核燃料的管理政策，乃是以最終處置作爲終極方向，但亦不排除以再處理方式，作爲我國處理用過核燃料的選項（行政院原子能委員會，2012a）。據 OECD 估算，單位用過核燃料的再處理費用約爲 6.23 厘／千瓦小時（miles/kWh），直接處置費用則約爲 5.46 厘／千瓦小時（OECD, 1994: 15），於是相較於用過核燃料的直接處置，再處理的成本明顯偏高。

台電公司亦估算成本，認爲用過核燃料境內直接處置的成本較爲價廉。據台電公司的評估，境內用過核燃料最終處置成本約爲 1,279 億台幣，而現有六部機組全部用過核燃料之境外處置方案，則約需 1,869 億元台幣。如果加上核四運轉四十年產生的用過核燃料數量，全部境外直接處置費用將高達 2,662 億元台幣（台灣電力公司，2011：6.62）。[5] 因此，就成本考量而言，境內直接處置系比較符合成本效益的政策選項。

不過，依據歐盟的估算，小國將可受惠於多邊機制的經濟效益。對於僅有少量用過核燃料或核廢物的國家而言，參與多邊機制具有明顯降低成本的經濟效果，對於需要大量處理用過核燃料或核廢物的國家，多邊機制也明顯提供技術與資金分攤的優點，更具備在最適當地點儲置本國用過核

[5] 用過核子燃料最終處置計畫之經費估算內容包括：境內最終處置調查、設計、建造、運轉、封閉、監管等費用。境外處置方案所需費用則包括運輸、處置等費用。上述估算金額系以 2004 年之幣值爲估算基準（台灣電力公司，2011：6.62）。

臺灣大學學術期刊資料庫

燃料或核廢物的選擇彈性（European Union, 2006: 21）。歐盟評估，興建最終處置庫的成本，依據不同地質條件而有極大差異，約在 50～65 億歐元之間（European Union, 2006: 15）。此外，依據最終處置數量的規模大小，用過核燃料的單位最終處置費用亦有差異，大約在 8～12 萬歐元／噸之間 （European Union, 2006: 17）。但歐盟評估，多邊共享之最終處置庫，至少將可節省數十億歐元，或者減少一半以上的支出成本（European Union, 2006: 21）。歐盟的估算方式，似與台電的估算有所出入。此外，歐盟對於境外多邊共享最終處置庫的成本估算與考量，或可供台電作爲重新估算的參考。

美國政府要求我國明確放棄境內再處理政策，以及 IAEA 推動核燃料循環多邊化引發的熱烈迴響，都再次驗證國際社會堅持核不擴散的決心，但同時也愈加深化大國疑慮我國執行用過核燃料管理政策的決心。核安全已成爲台灣民眾的首要關切，基於地理條件的限制，以及民眾對核子設施的疑慮，意圖在國內特定區域籌設最終處置設施，勢必遭致強烈的反彈。甚至就技術層面而言，最終處置設施的地質與安全基準的要求甚高，如果我國未能在境內覓得適當並且符合安全要件的廠址，如何處理數量日益成長的用過核燃料，將會成爲國家安全的重大挑戰。

有鑑於此，參與核燃料後端循環的多邊化機制，或可是我國因應用過核燃料管理政策挑戰的最佳路徑。首先，在核安優先的考量下，吾人不但必須要有「金錢換核安」的決心，並且亦必須向國際社會明確宣告，我國善盡國際社會成員，維護核安全以及堅持核不擴散的決心，藉以進一步消除國際社會（尤其是美國）的疑慮。爲此，我國應向國際社會明確宣示：一、放棄單方逕行再處理的作爲；二、在參與前提下，遵循國際核燃料後端循環之各項多邊規範；三、以此政策方向爲說帖，向國際社會宣示我國用過核燃料管理的具體政策。相信此項積極作爲，除可向國民宣示，核安全是我國用過核燃料管理政策的首要考量外，更得以消除大國的疑慮，並同步提昇我國的核安水準。其次，善用多邊機制的成本分攤，更將利於我國，以最符合經濟效益的途徑，降低我國執行用過核燃料管理政策的成本。

結合國際核燃料後端循環多邊化的發展現勢，將是我國處理用過核燃料政策的契機。美國主導的 CFS 倡議，已然開啓我國用過核燃料於境外

臺灣大學學術期刊資料庫

再處理，並於境外進行最終處置的一線曙光。我國實應把握台美民用原子能合作協定修約的機會，以美國－阿聯民用核能合作協議的內容作爲談判範本，爭取美方同意，爲我國創造境外再處理或最終處置用過核燃料的機會，並爲我國舖設參與多邊化機制的有利路徑。

如何掌握全球核治理制度的發展趨勢，讓國內法規與國際核治理規範接軌，並爲台灣創造參與全球核治理制度的有利條件，是國內各界所應戮力以赴的方向。相對地，核燃料循環多邊化機制的創設過程，同時亦帶給國際公法與國際關係，觀察國際核能治理制度法制化的一個有利契機。

參考書目

一、中文部分

人民網，2011，〈日美蒙有意在蒙古建國際乏燃料儲存設施〉，人民網網頁，http://world. people.com.cn/GB/1029/42354/15217233.html，2012/12/14。

中華民國，1974，〈中華民國政府與美利堅合眾國政府民用原子能合作協定之修正〉，全國法規資料庫網頁，http://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll_print.aspx?PCode=Y0070277，2012/12/14。

中華民國總統府，2011，〈總統召開「能源政策」記者會〉，總統府網頁，http://www.president.gov.tw/Default.aspx?tabid=131&itemid=25756&rmid=514，2012/12/14。

中華民國總統府，2013，〈總統接見法國前核能安全署署長拉柯斯特（André-Claude Lacoste）〉，總統府網頁，http://www.president.gov.tw/Default.aspx?tabid=131&itemid=29146，2013/03/20.

台灣電力公司，2011，〈用過核子燃料最終處置 計畫書 2010 年修訂版〉，行政院原子能委員會網頁，http://www.aec.gov.tw/webpage/control/waste/files/index_06_a10.pdf，2012/12/14。

行政院，2013，〈行政院院會通過「核能安全委員會組織法」草案〉，行政院網頁，http://www.ey.gov.tw/News_Content.aspx?n=F8BAEBE9491FC830&s=B2DA9115092A4F19，2013/03/20。

行政院原子能委員會，2012a，〈我國用過核子燃料核燃料管理策略爲何?〉，行政院原子能委員會網頁，http://www.aec.gov.tw／輻射安全／輻射安全 FAQ／放射性物料管理／高放射性廢棄物最終處置－4_37_345_706.html#3-4，2012/12/14。

臺灣大學學術期刊資料庫

行政院原子能委員會，2012b，〈核子用過核子燃料的管理策略〉，行政院原子能委員會網頁，http://www.aec.gov.tw／核物料管制／用過核子燃料乾式貯存的安全管理－6_165.html，2012/12/14。

行政院原子能委員會，2012c，〈核子保防簡史〉，行政院原子能委員會網頁，http://www.aec.gov.tw／輻射安全／輻射安全 FAQ／放射性物料管理／高放射性廢棄物最終處置－4_37_345_706.html#3-4，2012/12/14。

行政院原子能委員會，2012d，〈核能電廠 101 年 11 月用過核子燃料貯存容量表〉，行政院原子能委員會網頁，http://www.aec.gov.tw／乾式貯存管制專區／管制動態／貯存容量－497_499_503.html，2012/12/14。

行政院原子能委員會，2012e，〈乾式貯存的特色〉，行政院原子能委員會網頁，http://www.aec.gov.tw／乾式貯存管制專區／乾貯資訊／管制背景說明－497_500_565.html，2012/12/14。

行政院原子能委員會，2012f，〈行政院原子能委員會 100 年年報〉，行政院原子能委員會網頁， http://www.aec.gov.tw/webpage/service/other/files/annual_100.pdf，2012/12/14。

行政院原子能委員會，2013，〈年報〉，行政院原子能委員會網頁，http://www.aec.gov.tw／關於本會／年報－1_13.html，2013/03/20。

袁 易，2005，〈「不擴散核武器條約」之再審視：一個權力政治與身份政治的解析〉，《問題與研究》，44(4): 101-150。

袁 易，2009，〈規範建構主義與兩岸關係：理論與實踐〉，包宗和、吳玉山（編），《重新檢視爭辯中的兩岸關係理論》，台北：五南出版社，頁 355-371。

曹栢乾，2012，〈台放棄濃縮和再處理恐影響韓美核協定〉，韓鮮日報中文網網頁，http://chn.chosun.com/big5/site/data/html_dir/2012/07/24/20120724000029.html，2012/12/14。

曾雅眞，2007，〈從議程設定論國際經貿規範之法制化－以「市場擾亂」概念的發展與演化爲例〉，《問題與研究》，46(3): 85-124。

曾雅眞，2012，〈和平利用核能之國際造法趨勢：IAEA 核燃料循環多邊化倡議的實踐與影響〉，《問題與研究》，51(2): 69-100。

蔡春鴻，2012，〈行政院原子能委員會業務報告〉，立法院網頁，http://npl.ly.gov.tw/do/www/FileViewer?id=1086，2012/12/14。

錢 復，2005，《錢復回憶錄（卷一）》，台北：天下文化。

顧忠茂，2008，〈國際上核燃料環多邊方案及初步評估〉，中國原子能科學研究院網頁，http://www.ciae.ac.cn/12cbw/kjxx/2008/2008-4.pdf，2013/03/20。

臺灣大學學術期刊資料庫

顧忠茂，2009，《核廢物處理技術》，北京：原子能出版社。

二、英文部分

Abbott, Kenneth W. 1999. “International Relations Theory, International Law, and the Regime Atrocities in Internal Conflicts.” *The American Journal of International Law* 93(3): 361-379.

Alvarez, José. 2005. *International Organizations as Law-Makers.* Oxford: Oxford University Press.

Biersteker, Thomas, Peter J. Spiro, Chandra Lekha Sriram, and Veronica I. Raffo J. eds. 2007. *International Law and International Relations: Bridging Theory And Practice*. London: Routledge.

Blue Ribbon Commission on America’s Nuclear Future. 2012. “Report to the Secretary of Energy.” in http://cybercemetery.unt.edu/archive/brc/ 20120620220845/ http://brc.gov/sites/default/files/documents/disposal_report_updated_final.pdf. Latest update 14 December 2012.

Brunnée, Jutta and Stephen J. Toope. 2000. “International Law and Constructivism: Elements of an International Theory of International Law.” *Columbia Journal of Transnational Law* 39: 19-74.

Brunnée, Jutta and Stephen J. Toope. 2001. “Interactional International Law. ” *International Law FORUM du Droit International* 3(3): 186-192.

Burkart, Alex R. 2013. “International Framework for Nuclear Energy Cooperation: Outcome of the 2012 IFNEC Finance Workshop.” in http://www.iaea.org/ NuclearPower/Downloadable/Meetings/2013/2013-02-11-02-14-TM-INIG/16. burkart.pdf. Latest update 06 March 2013.

Burley, Anne-Marie Slaughter. 1993. “International Law and International Relations Theory: A Dual Agenda.” *The American Journal of International Law* 87(2): 205-239.

Byers, Michael. 1999. *Custom, Power and the Power of Rules: International Relations and Customary International Law*. Cambridge: Cambridge University Press.

Department of Energy. 2006. “The Global Nuclear Energy Partnership: Greater Energy Security in a Cleaner, Safer World.” in http://www.energy.gov/media/ GNEP/06-GA50035b.pdf. Latest update 14 December 2012.

El Baradei, Mohamed. 2003. “Towards a Safer World.” *Economist* 369(8346): 47-48.

European Union. 2006. “SAPIERR Final Report, EUR 22400.” in http://ftp.cordis. europa.eu/pub/fp6-euratom/docs/sapierr-projrep_en.pdf. Latest update 20 March 2013.

Feiveson, Harold., Zia Mian, M.V. Ramana, and Frank von Hippel. 2011. “Managing Spent Fuel from Nuclear Power Reactors: Experience and Lessons from

臺灣大學學術期刊資料庫

Around the World International Panel on Fissile Materials." in http://www.princeton.edu/sgs/publications/ipfm/Managing-Spent-Fuel-Sept-2011.pdf. Latest update 14 December 2012.

Goldstein, Judith, Miles Kahler, Robert O. Keohane, and Anne-Marie Slaughter. 2000. "Introduction: Legalization and World Politics." *International Organization* 5(3): 385-399.

Grossman, Elaine M. 2012. "Taiwan Ready to Forgo Nuclear Fuel-Making in U.S. Trade Pact Renewal." in http://www.nti.org/gsn/article/ taiwan-ready-forgo-nuclear-fuel-making-us-pact-renewal/. Latest update 14 December 2012.

Handl, Günther. 2003. "The IAEA Nuclear Safety Conventions: An Example of Successful Treaty Management?" *Nuclear Law Bulletin* 72: 7-27.

IAEA. 1997. "Joint Convention on the Safety of Spent fuel management and on the Safety of Radioactive Waste Management, INFCIRC/546." in http://www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/1997/infcirc546.pdf. Latest update 14 December 2012.

IAEA. 2005. "Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle: Expert Group Report submitted to the Director General of the International Atomic Energy Agency, INFCIRC/640." in http://www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/2005/infcirc640.pdf. Latest update 14 December 2012.

IAEA. 2006. "Communication received from the Resident Representative of the Russian Federation to the Agency transmitting the text of the Statement of the President, INFCIRC/667." in http://www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/2006/infcirc667.pdf. Latest update 14 December 2012.

IAEA. 2012. "International Status and Prospects for Nuclear Power 2012-Report by the Director General. GOV/INF/2012/12-GC(56)/INF/6." in http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC56/GC56InfDocuments/English/gc56inf-6_en.pdf. Latest update 14 December 2012.

IFNEC. 2010. "IFNEC Statement of Mission." in http://www.ifnec.org/docs/IFNEC_StatementofMission.pdf. Latest update 14 December 2012.

IFNEC. 2011. "Joint Statement of the 2nd Executive Committee Meeting." in http://www.ifnec.org/docs/IFNEC_Warsaw_Joint_Statement_Final.pdf. Latest update 14 December 2012.

IFNEC. 2012. "IFNEC Participants and Observers." in http://www.ifnec.org/docs/IFNEC_Participants_and_Observers_10-24-2012.pdf. Latest update 14 December 2012.

IUEC. 2010. "Agreement between the Government of the Russian Federation and the International Atomic Energy Agency Regarding the Establishment on the Territory of the Russian Federation of a Physical Reserve of Low Enriched Uranium and the Supply of Low Enriched Uranium therefrom to the International Atomic Energy Agency for its Member States." in http://www.

臺灣大學學術期刊資料庫

iuec.ru/files/IAEA_agreement_eng.tif. Latest update 14 December 2012.

Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management Fourth Review Meeting of the Contracting Parties. 2012. “Final Summary Report, JC/RM4/04/Rev.2.” in http://www-ns.iaea.org/downloads/rw/conventions/fourth-review-meeting/summary-report-english.pdf. Latest update 14 December 2012.

Kahler, Miles. 2000. “Conclusion: The Causes and Consequences of Legalization.” *International Organization* 5(3): 661-683.

Kratochwil, Friedrich V. 1989. *Rules, Norms, and Decisions: On the Conditions of Practical and Legal Reasoning in International Relations and Domestic Affairs*. Cambridge: Cambridge University Press.

Krisch, Nico. 2005. “International Law in Times of Hegemony: Unequal Power and the Shaping of the International legal Order.” *The European Journal of International Law* 16 (3): 369-408.

McGinnis, Edward. 2012. “International Framework for Nuclear Energy Cooperation.” in http://www.nei.org/filefolder/McGinnisDOE.pdf. Latest update 14 December 2012.

Mearsheimer, John J. 1994/1995. “The False Promise of International Institutions.” *International Security* 19(3): 5-49.

Morgenthau, Hans J. 1940. “Law Positivism, Functionalism, and International Law.” *The American Journal of International Law* 34(2): 260-284.

National Policy Unit. 2012. “Future Policies for Energy and the Environment.” in http://www.npu.go.jp/en/policy/policy06/pdf/20121004/121004_en1.pdf. Latest update 14 December 2012.

Nikitin, Mary Beth, Anthony Andrews, and Mark Holt. 2011. “Managing the Nuclear Fuel Cycle: Policy Implications of Expanding Global Access to Nuclear Power. CRS Report for Congress, RL34234.” in http://www.fas.org/sgp/crs/ nuke/RL34234.pdf. Latest update 14 December 2012.

NPT. 2008. “U.S. Commitment to the NPT: International Cooperation on Nuclear Power. Second Section of the Preparatory Committee for the 2010 Review Conference of the Parties to the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, NPT/CONF.2010/PC.II/WP.35.” in http://www.un.org/NPT2010/SecondSession/documents.html. Latest update 14 December 2012.

NPT. 2010. “Final Document. Volume 1. 2010 Review Conference of the Parties to the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, NPT/CONF.2010/50 (Vol. I).” in http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=NPT/CONF.2010/50 (VOL.I). Latest update 14 December 2012.

OECD. 1994. ”The Economics of the Nuclear Fuel Cycle.” in http://www.oecd-nea.org/ndd/reports/efc/EFC-complete.pdf. Latest update 20 March 2012.

OECD. 2012. *Trends towards Sustainability in the Nuclear Fuel Cycle*. Paris:

臺灣大學學術期刊資料庫

OECD Publishing.

OECD/NEA, 2012. “PSA Knowledge Transfer. NEA/CSNI/R (2012) 15.” in http://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2012/csni-r2012-15.pdf. Latest update 06 March 2012.

ROSATOM. 2012. “Memorandum of Understanding Between the State Atomic Energy Corporation ‘ROSATOM’ and Ministry of Energy of the Republic of Ghana on Cooperation in the Field of the Use of Nuclear Energy for Peaceful Purposes.” in http://www.rosatom.ru/wps/wcm/connect/rosatom/rosatomsite.eng/resources/f699bd804bb5af84b660be0fd1e28404/gana_eng.pdf. Latest update 14 December 2012.

Simmons, Beth A. and Richard H. Steinberg. 2006. *International Law and International Relations.* Cambridge: Cambridge University Press.

Slaughter, Anne-Marie, Andrew S. Tulumello, and Stepan Wood. 1998. “International Law and International Relations Theory: A New Generation of Interdisciplinary Scholarship.” *The American Journal of International Law* 92(3): 367-397.

The Energy and Environment Council. 2012. “Innovative Strategy for Energy and the Environment.” in http://www.npu.go.jp/en/policy/policy06/pdf/20121004/121004_en2.pdf. Latest update 14 December 2012.

The Office of the President of Mongolia. 2011. “Nuclear Waste Controversy Heats Up No Agreement Exist to Bury Nuclear Waste in Mongolia.” in http://www.president.mn/eng/newsCenter/viewNews.php?newsId=598. Latest update 14 December 2012.

United States. 2009. “Agreement for Cooperation between the Government of the United States and the Government of the United Arab Emirate Concerning Peaceful Uses of Nuclear Energy.” in http://www.carnegieendowment.org/static/npp/treaties/uae_123.pdf. Latest update 14 December 2012.

World Nuclear News. 2010. “Reactor and Fuel Take-back for Vietnam.” in http://www.world-nuclear-news.org/NN_Reactor_and_fuel_take_back_for_Vietnam_0909101.html. Latest update 14 December 2012.

World Nuclear News. 2012. “Ghana Coordinates Nuclear Planning Activities.” in http://www.world-nuclear-news.org/NP-Ghana_coordinates_nuclear_planning_activities-1705124.html. Latest update 14 December 2012.

Yudin, Yury. 2009. *Multilateralization of the Nuclear Fuel Cycle: Assessing the Existing Proposals.* Geneva: United Nations Institute for Disarmament Research.

臺灣大學學術期刊資料庫

The Development of Multilateral Approaches to Spent Fuel and Opportunities for Taiwan's Spent Fuel Management Strategy*

*Yea-jen Tseng***

Abstract

Aiming to strengthen global nuclear non-proliferation, in 2005 the International Atomic Energy Agency (IAEA) Expert Group issued a report on multilateral approaches to the nuclear fuel cycle, beginning international efforts to manage the back end of the nuclear fuel cycle. The United States has proposed the comprehensive fuel services (CFS) initiative under the International Framework for Nuclear Energy Cooperation (IFNEC), while Russia has also put forward the concept of global nuclear power infrastructure (GNPI). In order to ensure compliance with the global nuclear regime when dealing with spent fuel, Taiwan must adapt to these new initiatives. However, although the internalization of the nuclear fuel cycle has become an important topic in international nuclear law, Taiwan is still unfamiliar with this agenda. This article tries to evaluate the impact of multilateral approaches to the nuclear fuel cycle on Taiwan's spent fuel management strategy.

Keywords: Nuclear Fuel Cycle, Spent Fuel, Multilateralization, International Atomic Energy Agency (IAEA), International Security

---

* DOI:10.6166/TJPS.56(1-38)

** Associate Professor, Department of International Business, Southern Taiwan University of Science and Technology.
E-mail: paristwo@mail.stust.edu.tw

臺灣大學學術期刊資料庫

臺灣大學學術期刊資料庫