

資訊科技於輻射監測與低放射性廢棄物管理之應用

Applications of Information Technology in Nuclear Radioactive Monitoring and Low-Level Radioactive Waste Management

周貽新

I-Hsin Chou

本文目的為說明資訊科技於國內輻射監測與低放射性廢棄物管理的實際應用。文中首先說明我國政府能源政策中納入核能發電的理由以及目前國內核能發電發展現況。其次介紹近期資訊科技的發展，其中包括網路技術、分散式資料庫、資料探勘、延伸標記語言與網路本體語言以及雲端運算等。為了說明資訊科技已實際應用於國內輻射監測與低放射性廢棄物管理的例證，內文分別介紹原子能委員會輻射偵測中心即時輻射監測系統以及核能電廠低放射性廢棄物資訊整合系統。除此之外，還介紹了與外界資訊互通所需之網頁服務基礎設計：訊息交換模型與台灣輻射廢棄物管理本體。最後，提出本文總結以及服務導向資訊管理系統整體架構作為未來研究方向。

The main goal of this article is to present practical applications of nuclear radioactive monitoring and low-level radioactive waste management using the information technology (IT). The reasons of nuclear energy needed in Taiwan's government energy policy and current status of nuclear power plants are explained in the introduction section. Next, the detailed descriptions of IT which include network technology, distributed database, data mining, extension markup language (XML), ontology web Language (OWL) as well as cloud computing are introduced. To demonstrate the practical applied applications, a real-time radiation monitoring system and an integrated radioactive waste management system are described. In addition, the fundamental design of web service for the general internet users: information exchange model (*i.e.*, XML schema) and Taiwan Radioactive Waste Management Ontology (TRWMO) are presented. Finally, the summary and a service-oriented integrated architecture for the future development are provided.

一、前言

台灣是一個缺乏天然資源和能源的國家，倚賴

進口能源的比率超過 97%。為保障國內能源供應無虞，我國政府一直採取多元化能源組合的能源政策⁽¹⁾。近年來國際上愈來愈關心二氧化碳排放以

及溫室效應問題，依據我國國家節能減碳總計畫⁽²⁾的減碳目標，我國應於「2020年回到2005年排放量，於2025年回到2000年排放量」。因此無論由多元化能源組合與減碳的觀點，核能發電都扮演著不可或缺的角色。行政院97年6月5日所發布的「永續能源政策綱領」⁽³⁾中亦明白宣示：為兼顧「能源安全」、「經濟發展」與「環境保護」，除在需求端要提倡節約能源和提升能源效率之外，核能將作為無碳能源的選項。

我國目前有三座核電廠，包括核一廠、核二廠與核三廠以及一座正在興建中的龍門電廠，提供總發電容量約為514萬瓩，約佔總裝機容量13%的電力⁽⁴⁾。行政院原子能委員會(以下簡稱原能會)為政府原子能主管機關，負責我國原子能科技政策擬訂、核能設施安全管制、輻射安全防護、放射性廢棄物安全管理、全國環境輻射監測以及原子能科技民生應用研發與推廣⁽²⁾。核能研究所(以下簡稱核研所)隸屬於原能會，為國內從事原子能研究與應用專責單位，歷年來均以國家原子能發展與原能會施政目標作為研究發展方向；輻射監測與放射性廢棄物管理就為其中兩項重要且不斷研發精進的工作項目。

地震引發日本福島311核災時，日本核電廠的輻射塵是否會波及台灣本島一直是全國民眾關心的焦點，也因此原能會輻射偵測中心「全國環境輻射即時監測系統」一夕暴紅，國內各大新聞與媒體網站爭相連結。其實我國全島(含核設施周圍)布建環境輻射監測系統已有多多年，只不過因此次311福島核災首次引起全民的重視，本文將詳細敘述其發展歷程。

另一經常被關注的核能議題是蘭嶼低放射性核廢棄物貯存場的存廢以及低放射性廢棄物最終處置場興建的問題。民國67年政府為解決全國醫、農、工、學、研與核能電廠所產生之低放射性廢棄物暫存問題而興建蘭嶼貯存場，並於71年5月正式開始接收低放射性廢棄物。受限貯存容量，於民國85年4月停止接收營運，至今蘭嶼貯存場共約貯存9萬7672桶。政府曾承諾遷離蘭嶼貯存場，但因最終處置場設置場址選定不斷地延誤，至今遲遲未能兌現。然而台電公司卻未間斷相關準備工

作，本文中第四節—資訊整合與資料探勘技術應用範例，就是核研所為配合低放射性廢棄物最終處置場安全分析工作所建置的資訊系統。

本文為說明資訊科技於輻射監測與低放射性廢棄物管理的應用成果，相關章節組織如下：第二節介紹相關採用的資訊科技(information technology)內容；第三節將以原能會輻射偵測中心為例，說明網路與分散資料庫技術應用於核能輻射監測的實例；第四節則以國內核能電廠為例，說明資訊整合與資料探勘技術如何應用於放射性廢棄物管理的實務；最後，第五節為本文總結與未來可能的研究方向。

二、資訊科技相關應用

1. 遠距傳輸應用：網際網路(Internet)

早期網路技術主要提供檔案或資料傳輸功能，故核能管制單位大都應用於遠端輻射監測定時檔案傳送。而所使用的傳輸媒介由第一代的電話線(採用數據機撥接方式運作)到第二代網路卡與區域網路(local area network)時代。然而第一代與第二代網路頻寬不足，資料傳輸速率提升有限，以致無法應用於即時(real-time)輻射監測，直到第三代大量的光纖網路骨幹(backbone)布置完成後，加上網際網路的崛起，才真正進入即時輻射監測時代。此時無論是小範圍的輻射工作場所輻射監測網路、核能電廠內輻射區域監測網或是全國性的環境輻射監測網(透過網際網路)，皆可在網路TCP/IP的標準傳輸協定下，傳送即時監測輻射資料。

原能會輻射偵測中心的環境伽瑪輻射監測網中就是以非對稱數位用戶專線(asymmetric digital subscriber line, ADSL)方式，整合全省環境伽瑪輻射監測站即時輻射監測資料，本文將於第三節詳加敘述。

2. 資料庫設計應用：分散式資料庫

傳統的主從式資料庫管理架構為將資料庫儲存於網路上的特定節點，所有來自使用端的要求或資料儲存都由伺服器電腦負責(如圖1(a)所示)。其主要缺點為通訊網路斷線或暫時中斷時就無法提供

服務，因此對於需要遠距離資料傳輸的系統會造成很大的困擾。反觀分散式資料庫架構(distributed database，如圖 1(b) 所示) 將資料庫分散儲存於通訊網路上不同電腦節點，使得各節點的資料庫具獨立自主的能力，除可支援區域內的應用系統外，一些邏輯上相互關聯的資料庫亦可相互支援。

換言之，分散式資料庫管理系統在負責管理這些分散於各節點的資料庫，使得各節點的使用者對資料的存取不受資料所在位置的影響，故非常適合遠距通訊網路的系統。

3. 資料分析應用：資料探勘

隨著電腦硬體的進步，資料庫容量愈來愈大，而且因網路的廣泛使用，網路連接範圍也愈來愈廣，連接的資料庫也愈來愈多，因此就形成了資料倉儲 (data warehouse)。然而如何在資料倉儲中快速有效地尋找有用的資料，傳統的關聯式資料庫架構已不敷使用，多維資料庫 (multi-dimension database) 也因此因應而生。資料探勘就是一種可應用於龐大的資料庫或多維資料庫的新技術。

資料探勘 (data mining) 可有效於資料倉儲中找出 (或挖掘) 隱藏的資訊，所以也可稱資料探勘為知識發掘 (knowledge discovery) 的一部分。資料探勘使用了許多統計分析的方法，由資料中尋找有用的特徵 (patterns) 以及關連性 (relationships)。一般而言，資料探勘可包含下列五項功能：分類 (classification)、推估 (estimation)、預測 (prediction)、關聯分組 (affinity grouping)、同質分組 (clustering)，讀者可自行參考相關文獻。

資料探勘因知識發掘的功能，非常適合用於低放射性廢棄物資料的分類、錯誤資料判斷以及核種推估等工作。

4. 資料互通應用：延伸標記語言與網頁服務

本節所介紹的延伸標記語言 (extension markup language, XML) 與網路本體語言 (ontology web language, OWL) 可用於解決資訊電腦系統間因資料格式不同而無法相互交換資料的問題⁽¹⁶⁾，尤其可用於環境輻射監測資料與低放射性廢棄物資料交換，使得民眾所關心的資料能更透明化。

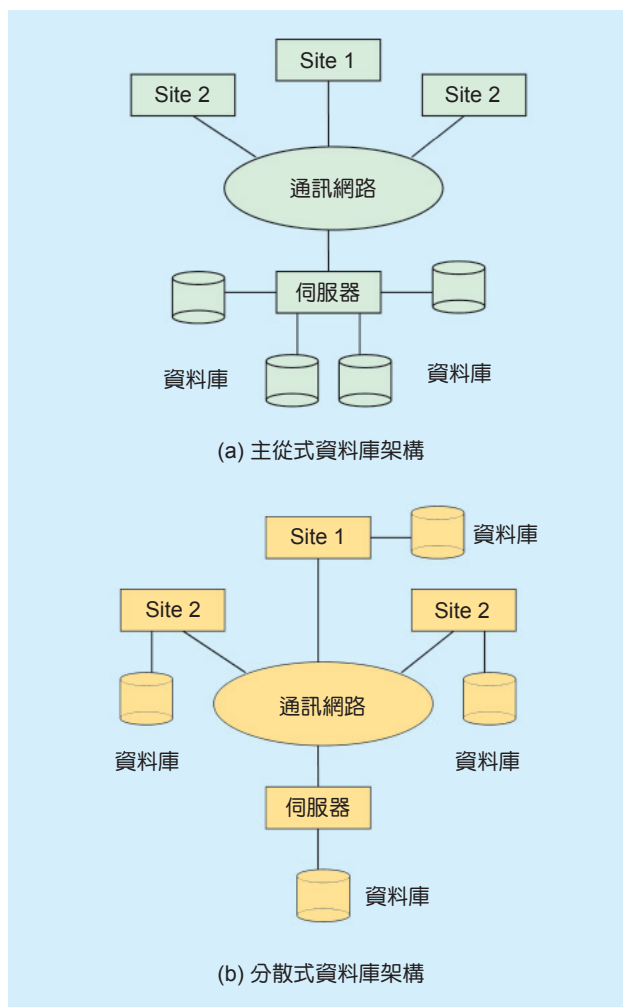


圖 1. 主從式與分散式資料庫架構，(a)主從式資料庫架構，(b) 分散式資料庫架構。

XML 原始設計的構想是要將資料內容予以平面化，以利於網路中不同電腦間的數據交換。XML 結構 (以下簡稱 schema) 提供了語法文件化的能力，同時也沒有語意的限制。所以目前已廣泛用於分散式系統中，不同環境的實體組成 (如設備、傳感器、型材等) 就經常使用 XML 來描述⁽¹⁷⁾。對於使用者而言，XML 標籤 (tag) 有其意義，但對電腦而言，卻只代表分割資料的符號，並無其他的意義。

本體論 (以下簡稱 ontology) 是用來表達在特定領域中明確有意義的概念，也可以來說明實體間的關聯，故 ontology 可於資料信息交換過程中，提供共享和共同的理解意義。在網頁服務

(web service) 與語意網 (semantic web) 中，就採用 ontology 來描述重要概念以及實體間的關係。

World Wide Web Consortium (以下簡稱 W3C) 所推薦的網路本體語言 (ontology web language, OWL) 儼然已成為目前信息編碼或知識本體形式的標準趨勢，並也已漸廣泛應用於資訊系統互通的機制⁽¹⁸⁾。OWL 是一種語意標記語言，可於網頁中發布與分享 ontology，因此 W3C 組織將 OWL 發展為標準知識語意語言。當然，OWL 的發展必須考慮與現有網頁標準的相容性 (如 XML)，這是對資料的互通性 (interoperability) 基本的要求。除此之外，OWL 也提供自主開發本體以及匯出入本體，故可應用於靜態 ontology 製作，有一些應用於搜索引擎、電子商務與知識管理等的實例，有興趣讀者可參閱⁽¹⁹⁾。

5. 整合系統架構應用：雲端運算

近年來另一個熱門話題就是雲端運算。事實上，雲端運算 (cloud computing) 為網際網路新型態服務的延伸，其主要概念是不論終端為那一種設備，都可以透過網際網路提供即時資源 (resource)。由於所有資源在廣大的網際網路上，於是網際網路被形象化成雲形，雲端同時代表為底層基礎設施的一種抽象概念。而在雲端運算系統架構圖中，雲端運算的資源是動態、可彈性擴充而且虛擬化的，透過網際網路提供。用戶不需要了解雲端基礎設施的細節，也無需直接進行控制，只關注需要什麼樣的資源以及如何透過網路來得到相應的服務。

有鑑於此，雲端運算架構具備分散特性，且非常適合使用異質 (heterogeneous) 系統的整合需求。

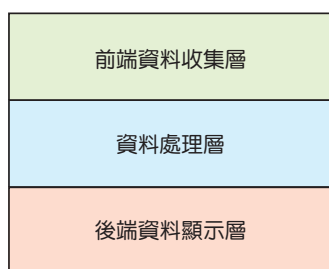


圖 2. 三階系統架構。

三、網路與分散資料庫技術應用—原能會輻射偵測中心全國環境輻射即時監測系統

1. 系統簡介

原能會輻射偵測中心一直肩負著全國各項環境輻射偵測與調查工作。民國 91 年以前所使用的環境伽瑪輻射監測系統為 DOS 版本，系統需透過數據機以定時方式傳送全省監測站環境輻射資料至位於高雄的輻射偵測中心，然而無論在資料傳輸速度上與人機操作便利方面皆有改進的空間。

有鑑於此，核研所核能儀器組以 18 個月的時間 (自 91 年 5 月至 92 年 12 月止)，協助原能會輻射偵測中心完成全國環境伽瑪輻射線即時監測系統 (以下簡稱 GRMS 系統)。GRMS 系統主要採用 ADSL 網路通訊與分散式資料庫技術，更新原 DOS 版的環境伽瑪輻射監測系統，使得原每小時的資料更新可精進為即時 (real-time) 資料傳送。資料庫設計也因採分散式架構，資料可靠度大為提升。詳細 GRMS 系統設計如下說明⁽¹⁵⁾。

2. 系統架構

GRMS 系統架構為三階 (three-tier) 設計，最上層為資料收集層，負責監測資料的擷取，中間為資料處理層，最下層則負責資料查詢與儲存。與傳統主從式 (client-server) 架構最不同處為 GRMS 系統架構多了一層專門處理資料傳輸與資料庫分散備份的資料處理層。此部分並無人機介面，主要技術來源是採用微軟公司的異步通信 (Microsoft message queue) 技術；其優點是無論是發送方或是接收方，都不用等待對方返回成功訊息，即可執行後續的代碼，可大大地提高執行效率。然而，萬一網路中斷時亦具信息發送與重送機制，同時亦具有自我復原的能力，有效提高資料傳輸的可靠度，即使是透過網際網路的傳送，資料可靠度亦可極高。

3. 系統設計

依據 GRMS 三階系統架構與功能需求，系統實體電腦可分為前端監測電腦與後端輻射偵測中心伺服器兩部分，詳細內容如下說明。

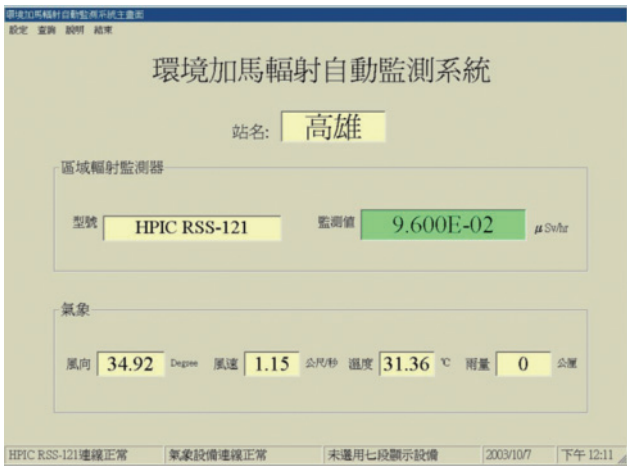


圖 3. 前端監測電腦畫面⁽¹⁵⁾。

(1) 前端監測電腦

前端監測電腦負責收集各種監測器資料，包括雨量、溫度、風速、風向及伽瑪輻射監測器等。除了資料收集外，還需具有顯示看板的輸出能力。本硬體由一台工業級電腦外加一片多通訊埠 (multi-port I/O card) 執行，各監測電腦分布於全省監測站機房內。前端電腦畫面如圖 3 所示。

(2) 後端輻射偵測中心伺服器

後端輻射偵測中心伺服器負責資料顯示與報表應用工作，同時亦需負責執行例行運轉之功能運算。本硬體由後端輻射偵測中心伺服器與網頁伺服器執行，電腦畫面如圖 4 所示。日本福島核災時，畫面也透過網頁讓國內各大新聞網站與媒體連結。

四、資訊整合與資料探勘技術應用—核能電廠低放射性廢棄物資訊整合系統

1. 系統簡介

1997 年 09 月 29 日國際原子能總署 (International Atomic Energy Agency, IAEA) 公開提出「用過核子燃料管理安全及放射性廢棄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”）」⁽⁵⁾，並歡迎各會員國簽署，此聯合公約於 2001 年 6 月 18 日正式開始生效。該公約主要目標為：(1) 達成並維持全球用過核子燃料和

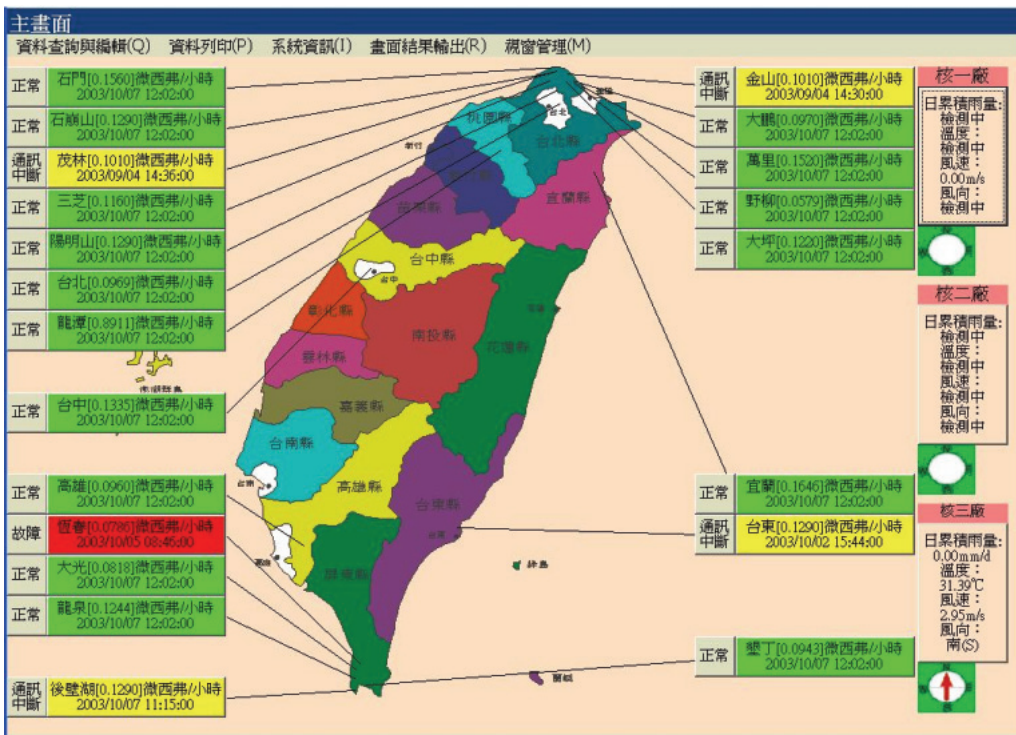


圖 4. 後端輻射偵測中心伺服器畫面⁽¹⁵⁾。

放射性廢棄物管理的高度安全；(2) 有效提供各種防禦措施，以避免潛在危害，確保無論是現在或未來個人、社會與環境應受到完善的保護；(3) 防止與減少事故的發生。雖然我國非此聯合公約的締約國，但我國政府於放射性物料管理法中第 17 條已承諾遵守相關國際公約⁽⁶⁾。

有鑑於國際公約與核能法規的要求，台電公司各相關單位亦積極配合主管單位管制措施。然而，為有效管控所屬廢棄物桶資料，各單位雖均建置專屬低放射性廢棄物桶紀錄管理系統(如 IBM 系統、LMSN 2000 與 PMAD 系統等)。各單位因管制流程差異，而造成各低放射性廢棄物桶紀錄管理系統間，缺乏統一的資料與通訊格式，而造成資料整合與相互確認的困難。

有鑑於此，核研所核能儀器組依據 IAEA 建議規範與各會員國經驗⁽⁷⁻¹¹⁾，同時整合現有各電廠舊有相關系統，建置完成核能電廠低放射性廢棄物資訊整合系統(LRFM 系統)。LRFM 系統亦可配

合未來低放射性廢棄物最終處置場桶的設置，以確保廢棄物移交時符合最終處置場接受標準(waste acceptance criteria) 要求。

2. 系統架構

依據 LRFM 系統需求規範與整合架構，系統架構設計可區分為前端(指各核電廠)與後端(指核後端處)兩大部分(如圖 5 所示)。各核電廠的資料與核後端處之間，可透過系統提供 XML 與網頁服務(web service) 相互交換資料。

3. 系統設計

LRFM 系統設計開發軟體採用微軟 Visual Studio NET 2008 VB 語言；資料庫為 MS SQL Server 2008。系統功能包括歷史資料查詢⁽¹⁴⁾、廢棄物桶管理、比例因數管理、統計圖報表、參數設定管理與系統管理等六大功能。各電廠低放射性廢棄物管理網站首頁如圖 6 所示。

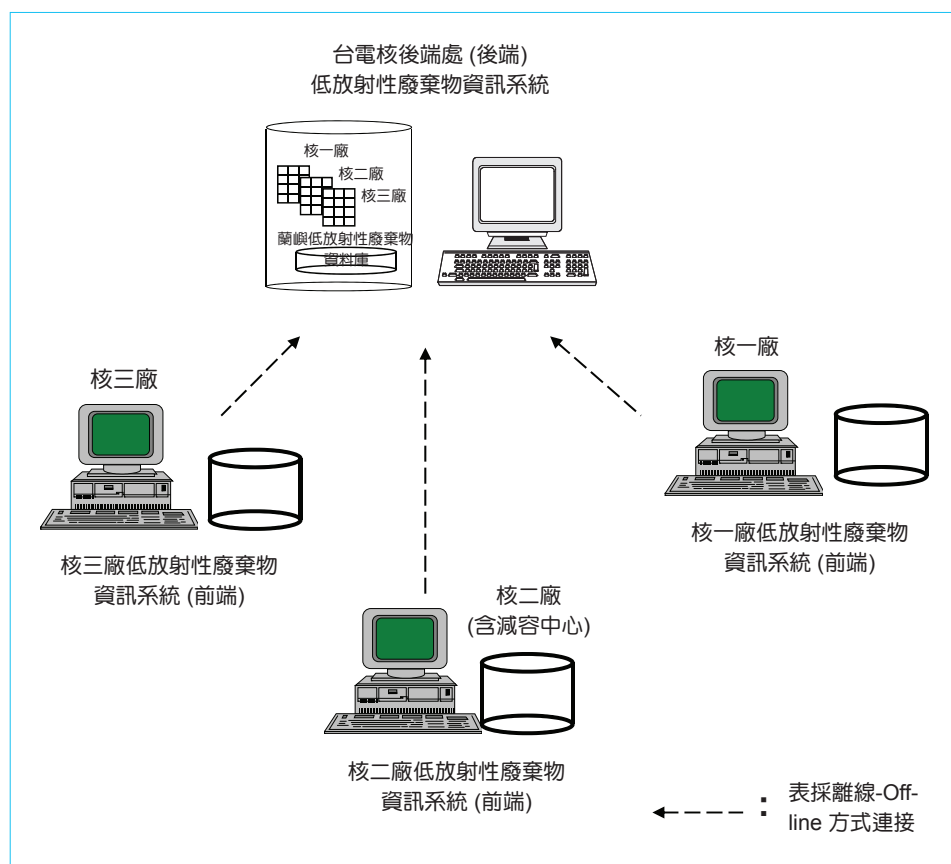


圖 5. 核能電廠低放廢棄物資訊整合系統架構。

4. 資料彙整暨分析

為確保低放射性廢棄物資料的正確性，各電廠低放射性廢棄物資料庫內容亦重新被檢視。同時應用自行開發的軟體程式與資料探勘 (data mining) 工具進行資料的比對與難測核種分析。經採用資料探勘的決策樹 (decision tree) 演算法分析資料庫已有初步成果，如廢棄物桶的強度與核種關係的影響程度順序為 I-129 > C-14 > Tc-99，此結果可作為研究核燃料破損之參考依據。

5. 訊息交換模型

XML 對於異質環境中訊息的交換特別有用。本計畫提出兩個訊息交換模型 (information exchange model)，分別是流程信息模型 (process information model, PIM) 及關係信息模型 (relation

information model, RIM)。PIM 可用於代表靜態信息，RIM 則代表動態關係信息。PIM 和 RIM 都是以 XML schema 來定義結構，圖 7 與圖 8 分別為 PIM 與 RIM 的 XML schema 以及部分範例，PIM 定義 generation-info、processing-info 與 storage-info 三個標籤 (tag)，RIM 則包含 reference-info、share-info 與 inheritance-info 標籤 (tag)。詳細 XML schema 標籤 (tag) 說明，有興趣讀者可參閱文獻 12。

6. 台灣輻射廢棄物管理本體

為提供與外界資訊系統互通的網頁服務 (web service) 功能，台灣輻射廢棄物管理本體 (Taiwan Radioactive Waste Management Ontology, TRWMO) 就被設計來描述我國重要輻射廢棄物管理組織架構以及廢棄物管理相關實體間的關係。TRWMO 參



圖 6. 各電廠低放射性廢棄物管理網站首頁畫面。

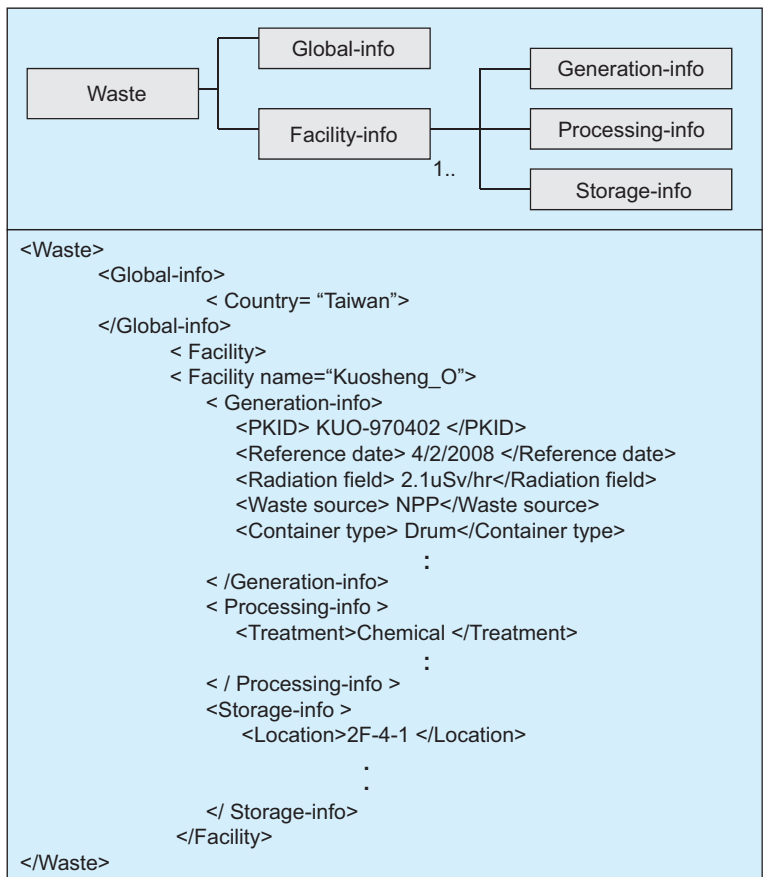


圖 7. PIM 的 XML schema 與部分範例。

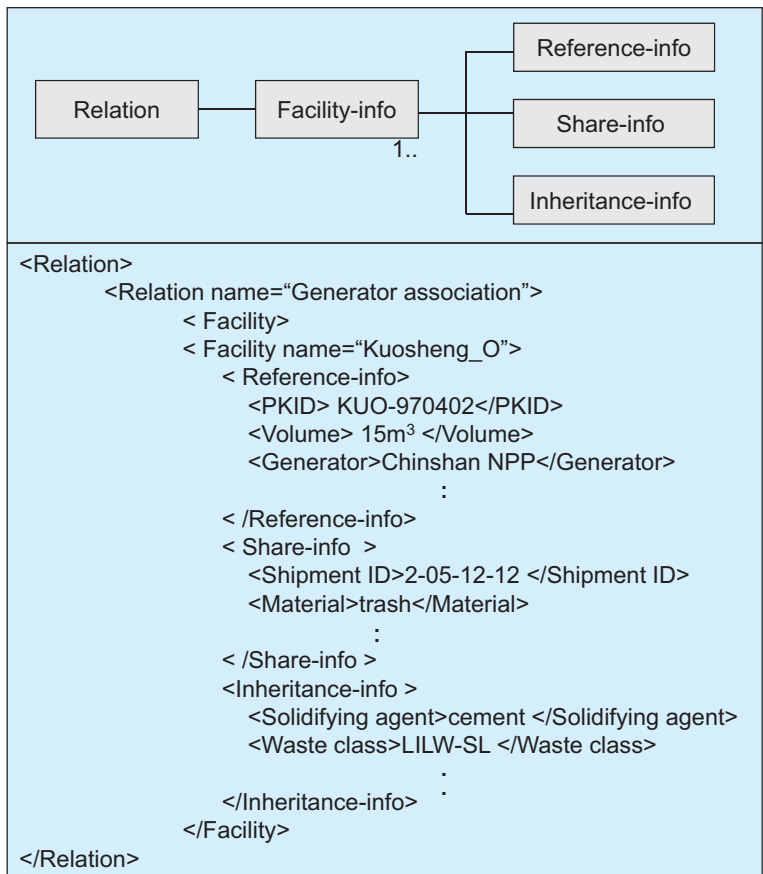


圖 8. RIM 的 XML schema 與部分範例。

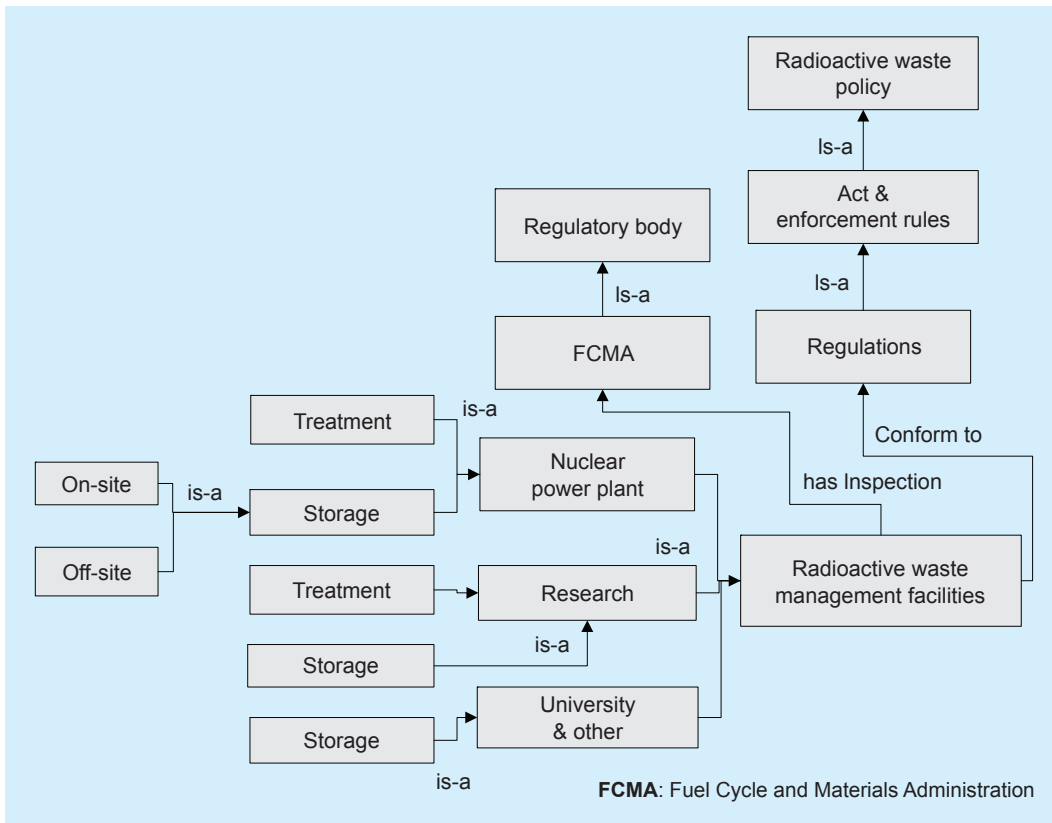


圖 9. 台灣輻射廢棄物管理本體。

考 IAEA 報告要求格式將我國廢棄物管理現況分為三個類層：第一類層代表管理組織架構，第二類層代表管理流程類別，第三類層則代表廢棄物儲存位置 (如圖 9 所示)。

五、結論與未來研究方向

本文目標為說明資訊科技應用於輻射監測與低放射性廢棄物管理的實際成果。內文中除闡述核能發電對於我國的必要性以及核能發電現況外，還介紹已採用的相關資訊科技的內容與發展。第三節與第四節又分別以原能會輻射偵測中心核能輻射即時監測系統以及核能電廠低放射性廢棄物資訊整合系統，作為範例的說明。

基於現有已建構 XML 模型與網頁服務 (web service)，未來輻射監測與放射性廢棄物管理相關研究，將持續朝服務導向 (service-oriented) 系統整合架構方向發展。

服務導向 (service-oriented) 設計為雲端運算的主要技術之一，同時亦被廣泛地應用於整合異型資

訊管理系統。服務導向設計因具高流通操作性以及極佳的可用性與靈活性，可大幅減輕老舊資訊系統介面整合的問題，已儼然成為資訊整合系統設計的新趨勢⁽³⁾。基於國內各單位現有廢棄物管理流程，核研所也已規劃未來全面整合國內各核能廢棄物相關單位廢棄物桶紀錄管理系統的整體架構⁽¹³⁾ (如圖 10 所示)。

誌謝

本文第三節與第四節中所提之應用系統，要感謝核研所核能儀器組長官指導以及同仁的協助建置；系統建置經費也感謝原能會輻射偵測中心與台電公司核後端處的大力支持。

參考文獻

1. 行政院原子能委員會 100 年度施政目標與重點。
2. 99 至 102 年度行政院原子能委員會中程施政計畫。
3. 行政院「永續能源政策綱領」。
4. Taiwan Power Company, *Taiwan Power Company Sustainability Report* (2010).

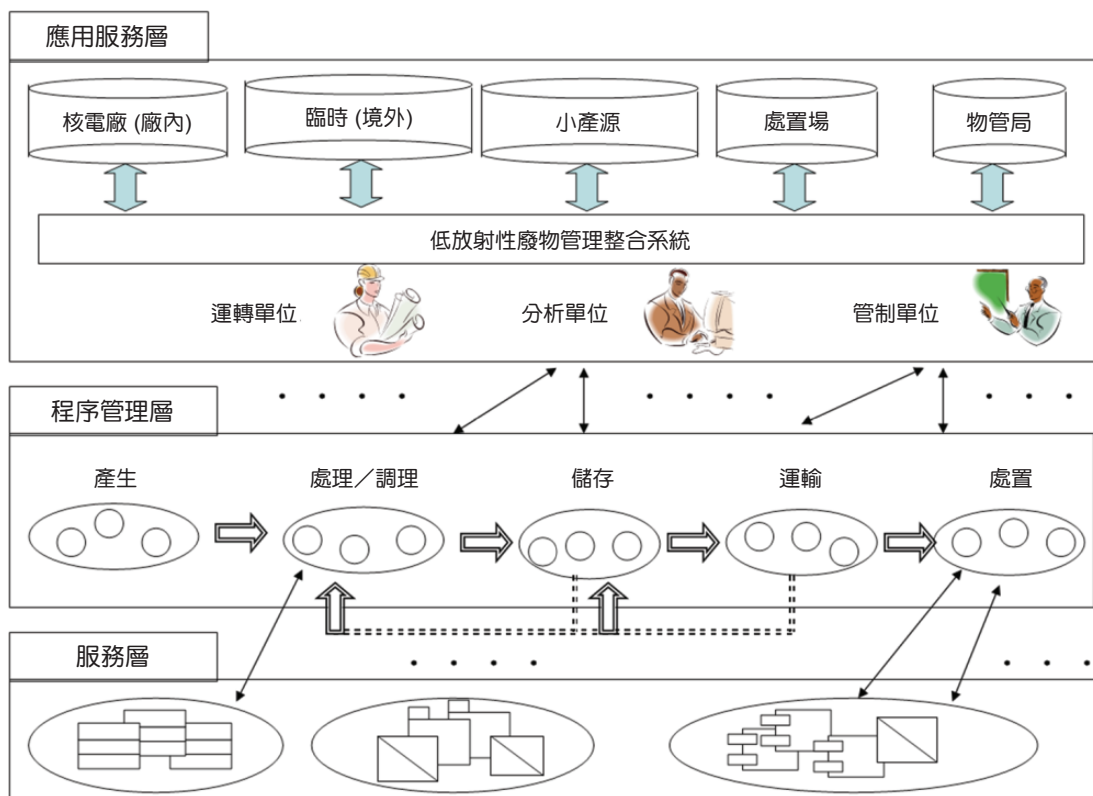


圖 10. 服務導向資訊管理系統整體架構。

5. International Atomic Energy Agency, *Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management*, INFCIRC/546 (1997).
6. Atomic Energy Council, *Taiwan National Report under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management*, Executive Yuan (2007).
7. International Atomic Energy Agency, *Methods for Maintaining a Record of Waste Packages during Waste Processing and Storage Technical Reports*, 434 (2005).
8. International Atomic Energy Agency, *The Principle of Radioactive Waste Management*, Safety series no.111-F (1995).
9. Waste Technology Section International Atomic Energy Agency, *Records for radioactive waste management up to repository closure: Managing the primary level information (PLI) set*, IAEA-TECDOC-1398 (2004).
10. Waste Technology Section International Atomic Energy Agency, *Waste inventory record keeping systems (WIRKS) for the management and disposal of radioactive waste*, IAEA-TECDOC-1222 (2001).
11. Waste Technology Section International Atomic Energy Agency, *Maintenance of records for radioactive waste disposal*, IAEA-TECDOC-1097 (1999).
12. I. H. Chou, and C.F. Fan, *Progress in Nuclear Energy*, 52, 470 (2011).
13. I. H. Chou, *Progress in Nuclear Energy*, 53, 420 (2011).
14. 周貽新, 行政院原能會放射性物料管理局低放射性廢棄物核種活度分析管理系統建置, 核能學會研討會 (2003).
15. 周貽新, 行政院原能會輻射偵測中心環境伽瑪輻射即時監測系統建置, 核能學會研討會 (2003).
16. W3C School, *Tutorial of RDF OWL* (2004).
17. T. Bray, J. Paoli, E. Maler, and F. Yergeau, *Extensible Markup Language (XML) 1.0. W3C Recommendation, 4th* (2006).
18. W3C, XML Schema, *W3C Recommendation* (2001).
19. Waste Technology Section International Atomic Energy Agency, *Maintenance of records for radioactive waste disposal*, IAEA-TECDOC-1097 (1999).



周貽新先生為元智大學資訊工程博士，現任核能研究所核能儀器組簡任副研究員。

I- Hsin Chou received his Ph.D. in computer science & engineering from Yuan Ze University. He is currently an associate researcher at Nuclear Instrumentation Division, Institute of Nuclear Energy Research.