

出國報告（出國類別：其他）

## 赴斯洛伐克暨德國出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：王藝龍 技術員

陳鴻斌 研究員

黃君平 副研究員

派赴國家：斯洛伐克、德國

出國期間：105年11月14日~105年11月26日

報告日期：105年12月23日



## 摘要

本次公差為參訪斯洛伐克 Amec Foster Wheeler Nuclear Slovakia (AFWNS)公司，了解當地核電廠除役經驗，另參加由 Aachen 核能訓練機構(AiNT)主辦的國際核能除役研討會議(International Conference on Nuclear Decommissioning, ICOND)，目的為了解德國核設施除役之最新狀況，並蒐集除役、拆除、除污及廢棄物管理之最新技術資料。ICOND 會議自 2012 年開始舉辦，地點位於德國的 Aachen，今年為第五屆，舉辦日期為 2016 年 11 月 21-24 日，與會人員大多為核能相關產業，另外也有核能相關主管機關及學術研究機構等等。

ICOND 內容分為七大主題，分別是除役技術與經驗簡報 8 篇，德國除役與財政經濟現況簡報 6 篇，計畫管理與除役專案簡報 3 篇，遙控拆解技術簡報 3 篇，混凝土拆除簡報 3 篇，有害物質管理與職業安全簡報 3 篇，廢棄物管理簡報 5 篇，總共收集 31 份簡報。

在 2011 年福島事故之後，德國政府決定將在 2022 年前將剩餘的 8 座核電廠關閉，同時世界各國多數的核電廠也因營運年限等因素將面臨除役，因此大量的除役需求會在接下來幾年內展開，ICOND 研討會就此誕生，它提供了一個給予各界進行除役相關技術與經驗的交流平台。本篇報告由各國以及各廠商所提出的簡報當中，彙整值得國內繼續探討的部分做簡單敘述，首先是德國的現況介紹，再來是除役工作內容相關的部分，包括計畫管理、除役經驗與技術及廢棄物管理。國內未來也將面臨核電廠除役，因此德國的除役現況值得去持續掌握，此外 ICOND 會議當中有許多除役相關的廠商參展，有提供專業機具設備及核能訓練的資源，後續可考慮及規劃與其合作的機會。

關鍵詞：德國除役、除役技術、廢棄物管理

# 目次

一、目的.....	1
二、過程.....	2
(一) 公差行程及會議內容.....	2
(二) Amec Foster Wheeler 背景介紹.....	7
(三) ICOND 背景與參與成員.....	8
(四) AiNT 介紹.....	9
三、心得.....	11
(一) 德國核設施現況與財政問題.....	11
(二) 計畫管理.....	13
(三) 除役技術經驗.....	17
(四)廢棄物管理.....	22
四、建議事項.....	27

## 表目錄

表一、本次國外公差主要行程.....	2
表二、參訪 AFWNS 詳細議程.....	3
表三、IOCND2016 詳細議程.....	4
表四、除役成本計算之參考書目.....	15



## 圖目錄

圖一、Amec Foster Wheeler 對於核能工業之觀點圖.....	8
圖二、AFWNS 進行除役的經驗照片.....	8
圖三、Amec Foster Wheeler 在全球布局之情況.....	8
圖四、與會成員結構比例圖.....	9
圖五、德國核電廠除役現況.....	12
圖六、除役專案的生命週期與成本分布.....	14
圖七、成本估算四大要素.....	15
圖八、風險管理流程圖.....	16
圖九、IAEA DRiMa 專案的目標及範疇.....	17
圖十、臨時性吊運裝置.....	17
圖十一、利用屋頂開口做大型組件搬運.....	17
圖十二、使用兩組臨時性吊運裝置將蒸汽產生器傾倒至水平狀態.....	18
圖十三、使用水平傾倒裝置支撐並傾倒蒸汽產生器.....	18
圖十四、大型組件旋轉裝置.....	18
圖十五、三種不同切割場景.....	20
圖十六、簡化蒸汽產生器模型.....	20
圖十七、作業人員條件設定.....	20
圖十八、切割連接蒸汽產生器的主要管線.....	20
圖十九、切割蒸汽收集器.....	20
圖二十、場景一：垂直切割.....	21
圖二十一、場景二：水平切割.....	21
圖二十二、場景三：水平遙控切割.....	21
圖二十三、計算結果.....	22
圖二十四、PUG 資料庫系統核種資訊.....	23

圖二十五、建築結構資訊.....	23
圖二十六、取樣點量測資訊.....	23
圖二十七、外釋計算結果.....	23
圖二十八、文件報告產出.....	23
圖二十九、核電廠除役後廢棄物流向.....	24
圖三十、廢棄物管理系統運作架構圖.....	25
圖三十一、庫存管理系統之 3D 視覺化渲染展示.....	26
圖三十二、庫存管理系統之個別群組獨立展示.....	26



## 一、目的

本次公差為參訪位於斯洛伐克 Trnava 的 Amec Foster Wheeler Nuclear Slovakia (AFWNS)公司，另奉派參加「核能除役國際研討會」International Conference on Nuclear Decommissioning(ICOND)，位於德國 Aachen 的 Eurogress 會場舉行，主辦單位為 Aachen Institute for Nuclear Training (AiNT)。

本次國外公差之目的如下：

- (一) 了解 AFWNS 在核設施除役、拆除、除污及廢棄物處理技術與執行經驗。
- (二) 了解德國核能政策現狀及除役近況。
- (三) 蒐集參展廠商之技術資訊及應用情形。
- (四) 認識國際核設施除役領域專家與單位，建立技術交流管道。

## 二、過 程

### (一) 公差行程及會議內容

本次公差自 105 年 11 月 14 日起至 105 年 11 月 26 日止，主要行程如表一所示，參訪 AFWNS 之議程規劃如表二，ICOND 會議之詳細議程規劃及簡報人和其所屬機構如表三。

第五屆 ICOND 會議於 2016 年 11 月 21-24 日於德國 Aachen 舉行，由德國 AiNT 機構主辦，會議共分成七大主題，分別是除役技術與經驗簡報 8 篇，德國除役與財政經濟現況簡報 6 篇，除役規劃與專案計畫管理專案簡報 3 篇，遙控拆解技術簡報 3 篇，建築結構拆除簡報 3 篇，有害物質管理與職業安全簡報 3 篇，廢棄物管理簡報 5 篇，總共七個主題共 31 份簡報。

表一、本次國外公差主要行程

日期	工作內容重點
11/14(一) ~ 1/15(二)	去程，由桃園機場出發至奧地利維也納機場，再轉搭公車到斯洛伐克 Trnava。
11/16(三) ~ 11/18(五)	在斯洛伐克 Trnava 參訪 AFWNS 總部，詳細議程如表二。議程結束後前往維也納。
11/19(六)	在維也納與駐 IAEA 代表會晤。
11/20(日)	前往德國法蘭克福機場，再轉搭高鐵至 Aachen。
11/21(一) ~ 11/24(四)	ICOND 會議，11/24 下午搭乘高鐵至法蘭克福。
11/25(五) ~ 11/26(六)	回程，由德國法蘭克福機場回抵桃園機場。

表二、參訪 AFWNS 詳細議程

**Agenda of INER Visit at Amec Foster Wheeler Nuclear Slovakia**

<b>Date</b>	
16 <sup>th</sup> – 18 <sup>th</sup> November 2016	
<b>Location</b>	
Amec Foster Wheeler Nuclear Slovakia, Trnava	
<b>Attendees</b>	
<p>INER: Chen Horng-Bin, Chun-Ping Huang, Wei-Hsiang Lin</p> <p>AFWNS: Marek Meciar, Milena Prazska, Marcela Blazsekova</p>	
<b>Topics for discussion</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) AFWNS/INER introduction. Waste management experiences introduction</li> <li>2) Waste treatment situation in Taiwan, Regulator's requirements update, Process of licencing in Taiwan</li> <li>3) SIAL<sup>®</sup> Laboratory Scale testing of INER resin wastes – preliminary results, Presentation of Phase I status. LAB visiting including short demonstration of sample solidification into the SIAL<sup>®</sup> for WS1 and WS2</li> <li>4) Phase II &amp; future work discussion</li> <li>5) IP protection, commercial model of cooperation</li> <li>6) Others</li> </ol>	
<b><u>16<sup>th</sup> November 2016 : Trnava office</u></b>	
9:00 a.m. to 12:00 p.m.	Technical meeting per Topics 1,2 above
1:00 p.m. to 03:00 p.m.	Technical meeting per Topics 1,2 above
03:00 p.m. to 03:30 p.m.	Meeting's conclusions

<b><u>17th November 2016 : Trnava office/ AFWNS Laboratories</u></b>	
<b><u>JaslovskéBohunice</u></b>	
9:00 a.m. to 12:00 p.m.	Technical meeting per Topics 3 above
1:00 p.m. to 03:00 p.m.	Technical meeting per Topics 3 above, visiting AFWNS Laboratories at JaslovskeBohunice
<b><u>18<sup>th</sup> November 2016 : Trnava office</u></b>	
9:00 a.m. to 12:00 p.m.	Technical meeting per Topics 4, 5, 6 above
1:00 p.m. to 02:00 p.m.	Final Meeting 's conclusions

表三、IOCND2016 詳細議程

Title	除役技術與經驗 ( DECOMMISSIONING TECHNOLOGIES & EXPERIENCES )	
Date	簡報項目	簡報人/機構
11/21 (MON)	Innovative Lifting Systems for the Nuclear Sector	Eikelenboom/Mammoet
	Decontamination by Laser Ablation	Anothofer/EWN
	Smart Sensing in Radiation Enviroments	Verbeeck/MAGICS
	Non-Destructive Characterization on Decommissioning Sites	Kettler/AiNT
	Reducing False Alarms in Portal Monitors by FastTrack-Technology	Guenther/Mirion
	Automatization and Support of Clearance Measurements and the Interaction with the Authorities with Software Tools	Woerlen/Brenk

	Perspective Ways of Irradiated Graphite Treatment	Bespala/ROSATOM
	The Radiation Impact of Steam Generator Dismantling on the Workers Public and Environment	Hornacek/STU-FEI
11/22 (TUE)	德國除役與財政經濟現況 ( STATUS & ECONOMICS )	
	簡報項目	簡報人/機構
	Results of the Commission Storage of High Active Waste	Heinen-Esser/BGE
	Responsibility, Safety, certainty-A new consensus on nuclear waste disposal	Gassner/GGSC
	Status of Nuclear Decommissioning in Germany	Thomauske/RWTH
	Decommissioning and Future Developments	Homan/PreussenElektra
	Nuclear Power Plant Decommissioning in Sweden	Oskarsson/Vattenfall
	International Perspective in Decommissioning of NPPs in OECD Nuclear Energy Agency Countries	Siemann/OECD
11/23 (WED)	除役規劃與專案計畫管理 ( PLANNING AND MANAGEMENT OF DECOMMISSIONING PROJECTS )	
	簡報項目	簡報人/機構
	Risk Management of the Decommissioning – Status Quo and International Developments	Kaulard/TUV
	Reactor Decommissioning- What are the Organisational Characteristics?	Walkden/Amec
	The origin of dismantling technologies: The BR3 D&D project	Massaut/SCK-CEN
	遙控拆解技術 ( REMOTE HANDLING IN DISMANTLING )	
	簡報項目	簡報人/機構
Remotely Operated Dismantling under Hostile Radioactive Conditions	Haist/Oxford	

	Remotely Handled Waste Reconditioning at ENGIE ElectrabelTihange NPP	Berben/TECNUBEL
	Automatic Dismantling of Reactor Pressure Vessel Internals by Underwater Robotics	Heinzler/AREVA
	建築結構拆除 ( DEMOLITION OF CONCRETE STRUCTURES )	
	簡報項目	簡報人/機構
	Selective Removal of High Reinforced Concrete	Hess/IFW
	Experiences from the Dismantling of the AVR Biological Shield	Grouls/JEN
	Experience Gained from MZFR Concrete Demolition	Süßdorf/WAK
	有害物質管理與職業安全 ( POLLUTANT MANAGEMENT & OCCUPATIONAL SAFETY )	
	簡報項目	簡報人/機構
	Pollutant Management in Nuclear Decommissioning	Dormagen/TUV
11/24 (THU)	廢棄物管理 ( WASTE MANAGEMENT )	
	簡報項目	簡報人/機構
	Italian experience in decommissioning of research reactors and facilities	Simone/Nucleco
	Residue Tracking for Decommissioning	Schliephake/GNS
Methods and Techniques to Analyse Burn-up and Defects of Nuclear Fuel Elements of the Reactor Core	Sokcic-Kostic/NUKEM	

	Facing the Waste Management Challenge	Wakker/NRG
	Waste management in France	Poisson/ANDRA

## (二) Amec Foster Wheeler 背景介紹

Amec Foster Wheeler 為英國歷史悠久的工程顧問公司，其營運項目包含石化、礦產、能源與環境等，並提供相關諮詢服務；而核能工業被歸類於公司乾淨能源市場部分，已有 60 年以上之經驗，所涉及的業務包含核電廠興建、電廠延役、電廠除役、放射性廢棄物處理/管理、人員安全管理以及相關核後端等方面，如圖一所示，可形成一個核能生命週期。2008 年時，Amec Foster Wheeler 為穩定自身歐洲核能工業之地位，看好未來核電廠除役市場之需求，以 1100 萬英鎊收購斯洛伐克 ALLDeco 公司，並改名為 Amec Foster Wheeler Nuclear Slovakia，主要是因該公司提供斯洛伐克 Bohunice A1 核電廠除役方面之協助，使其在中、東歐國家內具有領先的核電廠除役技術經驗以及核子反應爐之污泥清送服務，如圖二所示，尤其是以 SIAL<sup>®</sup> 技術固化放射性廢棄物、設施除污與遠端遙控之專門經驗。目前 Amec Foster Wheeler 已佈局美國、加拿大與歐洲部分國家等，就如圖三所示，但仍保有對於英國新建核電廠議題的興趣。



圖一、Amec Foster Wheeler 對於核能工業之觀點圖



圖二、AFWNS 進行除役的經驗照片



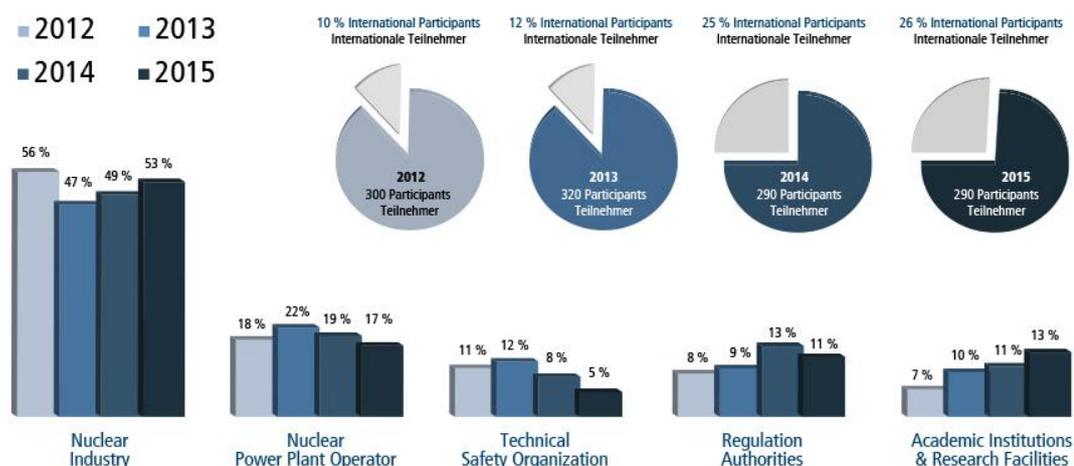
圖三、Amec Foster Wheeler 在全球布局之情況

### (三) ICOND 背景與參與成員

在接下來的數十年當中，有多座核電廠因為營運年限將屆及政治決策的因素

停止運轉，不僅是歐洲甚至全世界都是如此，因此對於核電廠除役會有相當大的市場求。基於這樣的情勢，如何制定出良好的除役策略是一個重要的課題，因而舉辦 ICOND 研討會，邀請各個除役相關的單位，提供各界一個集思廣益的討論空間。

本研討會自 2012 年第一屆開始，今年為第五屆，參與成員為核電廠的經營者以及除役專案的計畫、執行及監管單位，還有與除役專案相關的核准監督之同級機關及技術專家，此外還有研究機構，專門負責反應器的拆解及其放射性廢棄物的處置。與會人員利用本會場合，討論核電廠在執行除役時會面臨的挑戰，並且擬定執行除役之最佳計畫。圖四為與會成員的比例結構按年份的變化圖，可看出與會人員是以核能相關產業為最大多數，另外國際參與人員的比例有逐年增加趨勢。



圖四、與會成員結構比例圖

#### (四) AiNT 介紹

主辦單位 AiNT(Aachen Institute for Nuclear Training)成立於 2011 年 5 月，是由亞琛工業大學(RWTH Aachen University)獨立出來的組織，內部有十位跨領域的成員，包含核能、物理、化學、數學及技術設計等方面的專家。AiNT 提供的服務包括制式化的基礎及進階訓練課程、顧問諮詢服務及協助企業研究與開發的活動。

AiNT 提供的模組化課程包括核能與科技(Nuclear Energy & Technology)、核能技術基礎(Nuclear Technology Basics)、公聽會與公眾參與之準備(Preparation for Public Hearing, Public Participation)、法律上的核准與監管程序(Approval and Supervisory Procedures According to the Law)、核設施的除役及拆解(Decommissioning and Dismantling of Nuclear Facilities)及廢棄物的處理、外釋和最終處置(Conditioning, Release and Final Storage of Radioactive Waste)等六大主題課程。

### 三、心得

本節由 ICOND 會議中各國以及各廠商所提出的簡報當中，彙整值得國內繼續探討的部分做簡單敘述，首先是德國的現況介紹，再來是除役工作內容相關的部分，包括計畫管理、除役經驗與技術及廢棄物管理。

計畫管理部分摘自表三中的 *International Perspective in Decommissioning of NPPs in OECD Nuclear Energy Agency Countries* 與 *Risk Management of the Decommissioning – Status Quo and International Developments* 主題。

除役經驗與技術摘自表三中的 *Innovative Lifting Systems for the Nuclear Sector* 與 *The Radiation Impact of Steam Generator Dismantling on the Workers Public and Environment* 主題。

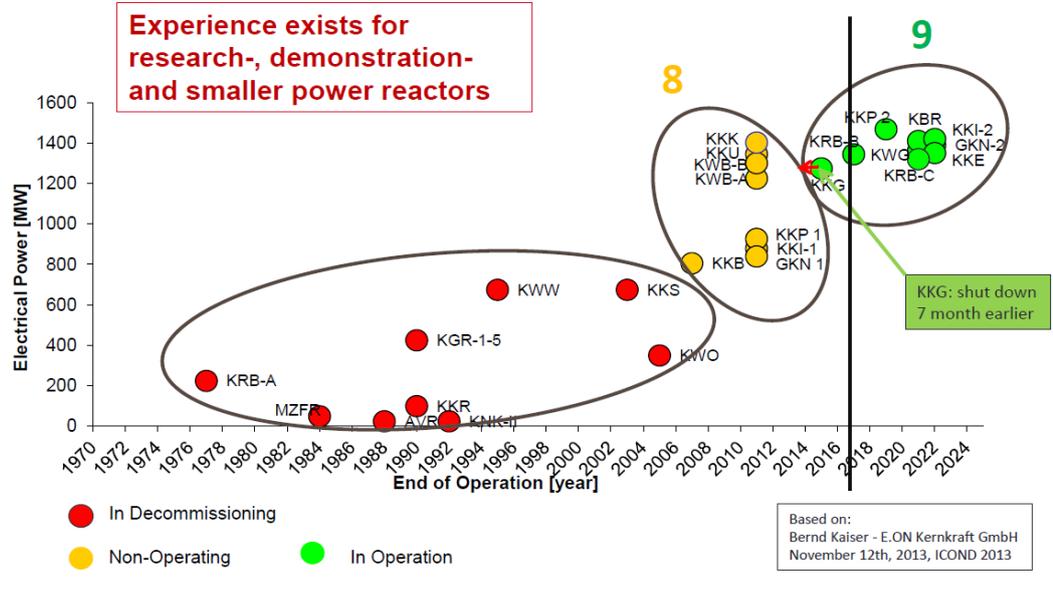
廢棄物管理摘自表三中的 *Automatization and Support of Clearance Measurements and the Interaction with the Authorities with Software Tools* 與 *Residue Tracking for Decommissioning* 主題。

#### (一) 德國核設施現況與財政問題

德國於 2009 年大選後，總理 Merkel 所屬基督教民主聯盟決定恢復核能，並允許現有核能電廠延長營運年限，其中 1980 年之前營運的 7 座機組可延役 8 年，1980 年之後營運的 10 座機組可延壽 14 年，在 2011 年 3 月份時，德國有 25% 電力由核能供應，共 17 座核能電廠。

在 2011 年 3 月 11 日福島第一核電站的核子事故之後，德國政府決定將商用發電的核能電力逐步淘汰，並立即永久關閉 17 座核能電廠中的 8 座，並且在接下來幾年內開始除役，剩下 9 座在根據修訂過後的原子能法之後，會逐步地在 2022 年前關閉，圖五為德國核電廠除役現況。

## Decommissioning of German Reactors



圖五、德國核電廠除役現況(資料來源：RWTH Aachen University)

在核能電力業者方面，由於政府對核能政策的反覆，提前關閉8座核能機組，單 2011 年 9 個月就導致 3 家德國主要電力業者超過 32.5 億歐元(1,433 億台幣)的總損失，其中 EnBW 公司虧損 8.67 億歐元(353 億台幣)；RWE 公司營收減少 15.7 億歐元(639 億台幣)；E.ON 公司虧損 8.14 億歐元(331 億台幣)。因此這些電力公司聯手在 2011 年於漢堡稅務法庭(Finanzgericht Hamburg)控告德國政府，認為政府的「核燃料稅」(Steuer auf Kernbrennstoffe)是對核能界的橫征暴斂，不僅違憲還逼使電力公司放棄安全穩定的核電，求償金額超過 150 億歐元(5,700 億台幣)，瑞典 Vattenfall 電力公司也於 2011 年向華盛頓的國際投資爭端解決中心(ICSID)提出要求德國政府賠償數十億歐元的訴訟，要從法律途徑討回公道。

歐盟法院於 2015 年 6 月裁定課徵核能燃料稅的行為並沒有違憲，而漢堡稅務法庭卻於 2016 年 1 月裁定此行為為違憲。另外在 2016 年 4 月，由 19 人組成

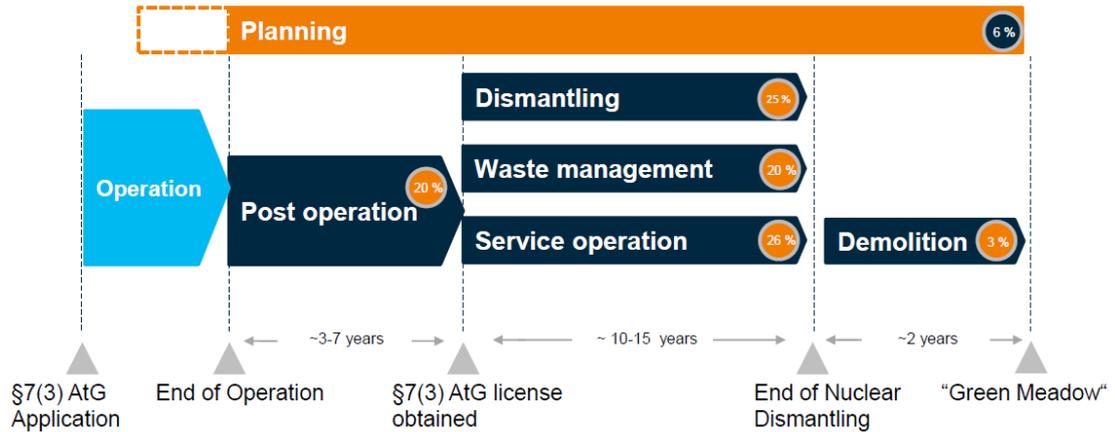
的主司核能除役之財政審查的委員會(KFK)認為這些電力業者必須負擔 233 億歐元的除役基金，由此可見針對財政議題各界的看法仍大相逕庭，目前 3 家電力業者正等待聯邦法院的訴訟結果，預計於 2016 年底前會有結果。一旦德國的核能政策確定邁入除役，整個德國核後端相關產業鏈的動態非常值得關注。

## (二) 計畫管理

### 1. 核設施除役專案的生命週期

整個除役過程可劃分為三個階段，第一階段為除役(Decommissioning)，此階段主要是移除反應爐中的核子燃料，以及進行輻射特性偵檢，並將核設施中的有害物質、淨空系統以及管線工作流體排除等等的動作，為除污之前預作準備。第二階段為除污(Decontamination)，此階段主要是對於放射性廢棄物進行除污作業，通常透過機械及化學方式除污，另外同時將有害物質例如石棉、多氯聯苯及各類重金屬等等作移除。第三階段為拆除(Demolition)，為最終建物設施的拆除階段，對於設施中還能使用的設備系統，可將其回收利用或是進行拍賣，對於不堪使用的設備及其他混凝土結構則是予以拆除，將廠址夷為平地，最終還原為綠地。

而在除役專案的生命週期(圖六)當中，從一開始的營運階段(Operation)，到營運結束的時候開始進行除役，除役階段一開始為核設施的後營運時期(Post operation)，在規劃(Planning)方面此時即開始進行，包括成本、風險管理及廢棄物盤點等等，另外還有除役執照的申請也開始運作，在設施部分主要是核燃料的移除工作。待除役執照核發下來即可進入除役執行階段，包括設備及組件的拆解(Dismantling)、廢棄物管理(Waste management)包含廢棄物的除污、切割、裝桶及外釋等等，還有系統服務運作(Service operation)則是一些除役過程需要運作的設備系統。最後階段為建物設施拆除(Demolition)。在圖六中圓圈內的數字代表在除役過程中各項目所需的開銷占比，可看出大多數的成本會落在除役執行階段，也是耗時最久的階段。



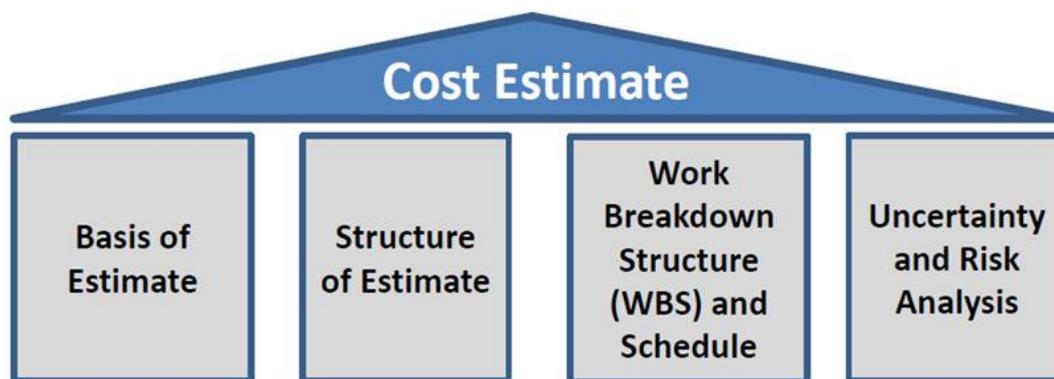
圖六、除役專案的生命週期與成本分布(資料來源：Preussen Elektra)

## 2. 成本管理

對於除役階段而言影響成本估算要素有四點，第一個是估算準則(Basis of Estimate)，包含狀況的假設與排除(assumptions and exclusions)、法規面及技術面的邊界條件設定與限制(boundary conditions and limitations –legal and technical)、除役策略的描述(decommissioning strategy description)、終點狀態(end point state)等等因素，這些評斷的準則都會影響到成本的計算結果。

第二個要素是成本估計的架構(Structure of Estimate)，包括各個工作項目的範疇，例如拆解的設備數量、除污的面積以及取樣數量等等除役工作事項。第三個要素是工作細項及時程安排(Work Breakdown Structure and Schedule)。

第四個要素為不確定因子與風險分析(Uncertainty and Risk Analysis)，包含內在與外在兩種因素，內在因素包括可預測的事件，例如機具設備損壞、設備的延遲送達等等。外在因素包含有可能發生的事件，例如匯率的波動、不可預期的通貨膨脹、法規變更等等。以上是在估算除役成本時需要依循這四大要素。



圖七、成本估算四大要素(資料來源：OECD/NEA)

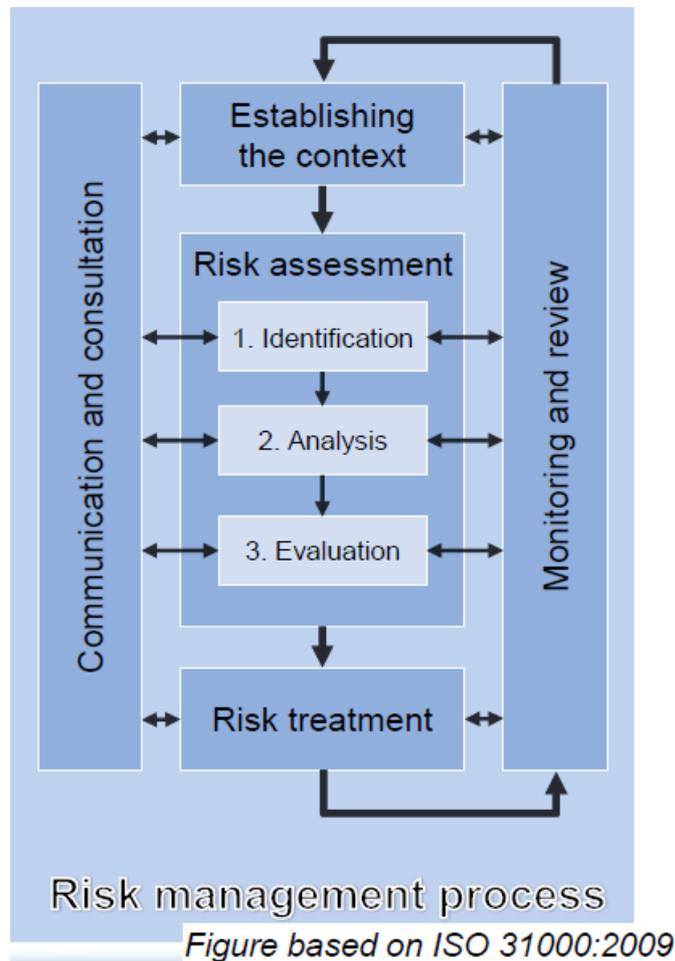
另外關於參考資料部分，核設施的國際除役成本架構(International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations，簡稱 ISDC，2012 年出版)是由 NEA、IAEA 及 EC 推薦的成本估算指導書，內容包含除役專案及設施的介紹、依據主要工作項目所列出假設的格式及邊界條件，還有使用工作細項(work breakdown structure)來矩陣化的成本項目。其他由 NEA 出版的成本估算參考書目如表四。

表四、除役成本計算之參考書目

書目名稱	出版年份	書目連結
The Practice of Cost Estimation for Decommissioning of Nuclear Facilities	2015	<a href="https://www.oecd-nea.org/rwm/pubs/2015/7237-practice-cost-estimation.pdf">https://www.oecd-nea.org/rwm/pubs/2015/7237-practice-cost-estimation.pdf</a>
Cost of Decommissioning Nuclear Power Plants Facilities	2016	<a href="https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2016/7201-costs-decommission-npp.pdf">https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2016/7201-costs-decommission-npp.pdf</a>
Publication Blue Booklet : Financing the Decommissioning of Nuclear Facilities	2016	<a href="https://www.oecd-nea.org/rwm/pubs/2016/7326-fin-decom-nf.pdf">https://www.oecd-nea.org/rwm/pubs/2016/7326-fin-decom-nf.pdf</a>
Addressing Uncertainties in Cost Estimates for Decommissioning Nuclear Facilities	2017	N/A

### 3. 風險管理

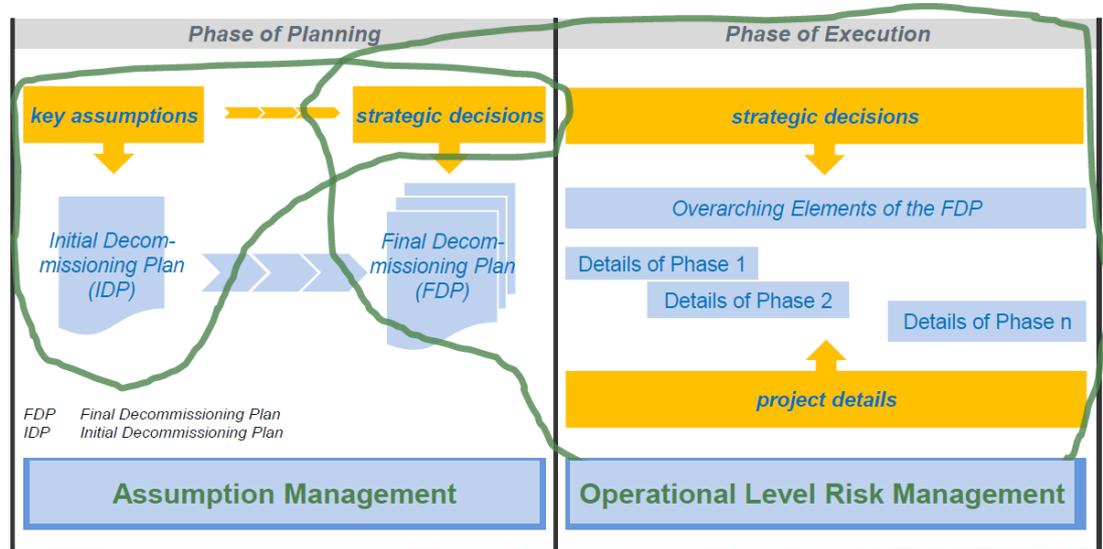
風險管理包括對風險的定義、測量、評估和發展因應風險之策略的管理過程，目的是將成本及損失極小化。風險管理的過程包含風險的辨識(Identification)、分析(Analysis)與評估(Evaluation)，最後制定風險因應策略後開始執行，整個過程都需要合作團隊不斷的溝通並監督及記錄，持續一直進行以達到風險控管的目的。



圖八、風險管理流程圖

IAEA's DRiMa 專案是一個為除役工作進行風險管理的工具，其提供了風險家族(risk families)及假設議題/風險管控表(assumption/risk registers)，可以系統化地去評估除役專案及計畫，並識別出假設議題、決策及風險。風險家族可分為三個階層，最高階層有十項，分別是設施初始狀態、設施最終狀態、廢棄物及物質

管理、財務管理、與承包商/供應商的窗口、策略與技術、法規框架、職業安全及有意參與的組織。(圖八、圖九之資料來源為 TUV Rheinland)



圖九、IAEA DRiMa 專案的目標及範疇

### (三) 除役技術經驗

#### 1. 大型組件吊運技術

在廠房拆除過程當中常常會有搬運大型組件的狀況，而搬運大型組件的方法通常有兩種，一種是在設施內搬運，另一種是透過屋頂的開口做搬運。若選擇在設施內做搬運，MAMMOET 公司研發出一種臨時性吊運裝置(temporary lifting devices)，如圖十，可依據不同廠房空間、出入口大小，以及目標物的重量，提供不同的吊運裝置，並可安裝轉向架(Bogie)及滑軌。



圖十、臨時性吊運裝置



圖十一、利用屋頂開口做大型組件搬運

第二種利用屋頂開口做搬運的情形，可允許更大的起重機將大型組件搬離廠房，這個創新的技術在於利用單一焊接點連接至組件上方的蒸氣噴嘴來吊運整個組件，由於不需要在組件上安裝平衡器及繩索連接，因此廠房屋頂的開口可以不用太大，能夠讓組件通過的大小即可，如圖十一。

一旦將大型組件搬離原本所在的位置後，通常需要將其傾倒至水平的狀態以利後續作業，有三種方法可以達成此目的，第一種是使用兩組臨時性吊運裝置使大型組件傾倒至水平狀態，如圖十二。



圖十二、使用兩組臨時性吊運裝置將蒸氣產生器傾倒至水平狀態

圖十三、使用水平傾倒裝置支撐並傾倒蒸氣產生器



圖十四、大型組件旋轉裝置

第二種是使用特製的水平傾倒裝置(down-ending device)，將大型組件的尾端固定在裝置上，並且在水平傾倒的過程支撐組件，如圖十三。第三種是使用旋轉裝置(rotating device)，它是利用水壓驅動將吊環固定在組件的重心位置，在處理組件時可允許多自由度的移動是最大的特點，如圖十四。

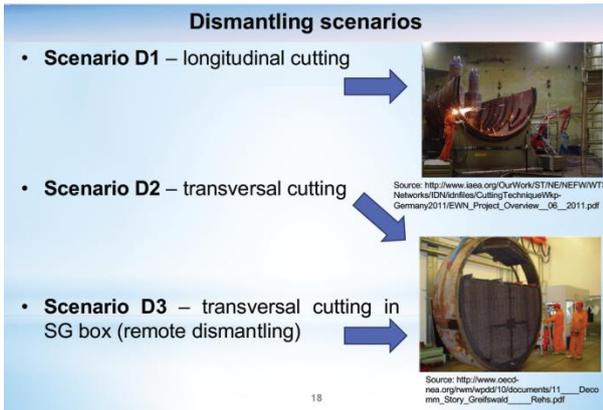
此吊運技術不僅可用於核電廠的興建工程，對於電廠的拆除作業也是不可或缺的，因此可作為國內未來核電廠除役時之參考。(圖十至十四之資料來源為MAMMOET)

## 2. 人員輻射劑量評估

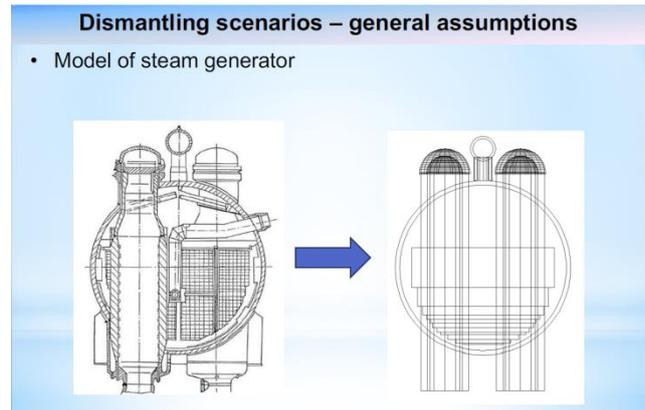
大型組件的拆解在核電廠的除役工作當中是必經過程，在拆解計畫中的先決條件是要掌握場地的輻射狀態，這部分必須把許多層面的資訊都納入考量，諸如活動形式、核種組成、切割可能性及放射性廢棄物管理等等，透過這些資訊計算出輻射狀態結果來找出合適的拆解場景，然而這些輸入的資訊往往有很大的變數與不確定性，因此斯洛伐克科技大學開發出一種計算方法，可減少這些不確定性，並且找出人員暴露劑量最少的拆解場景。

以下以斯洛伐克 V1 核電廠中拆解蒸汽產生器的場景為例：

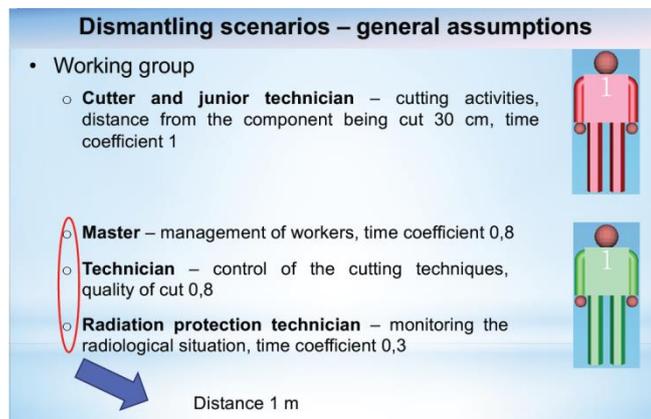
圖十五為三種不同的拆解場景，場景一為垂直切割；場景二為水平切割；場景三為水平遙控切割。圖十六為模型條件的設定，將蒸汽產生器的模型簡化，以方便計算。圖十七為作業人員的設定條件，紅色為初階的切割操作人員，距離切割處 30 公分，綠色為間接作業人員，包括領班、切割技術人員及輻防人員，距離切割處 1 公尺，不同作業人員依其作業模式有不同的時間係數(time coefficient)。



圖十五、三種不同切割場景

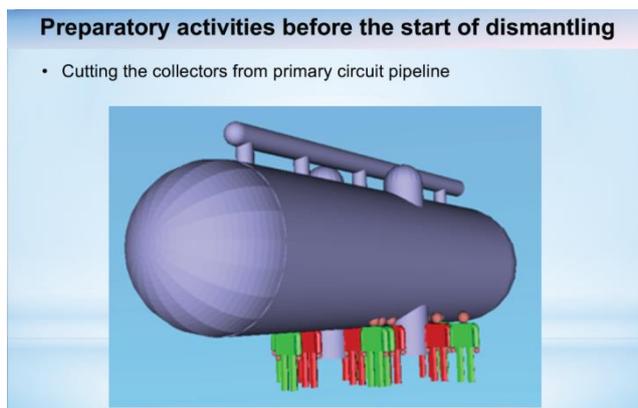


圖十六、簡化蒸汽產生器模型

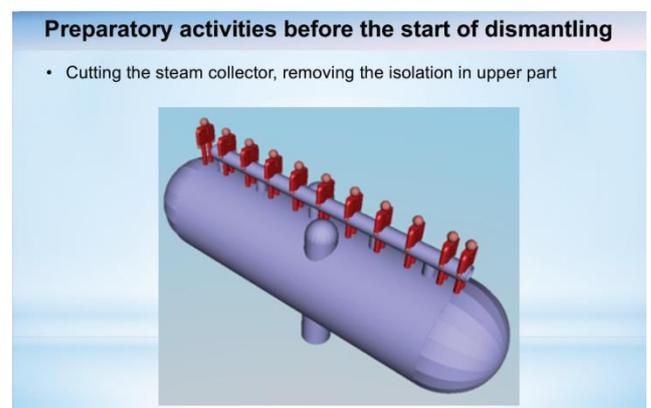


圖十七、作業人員條件設定

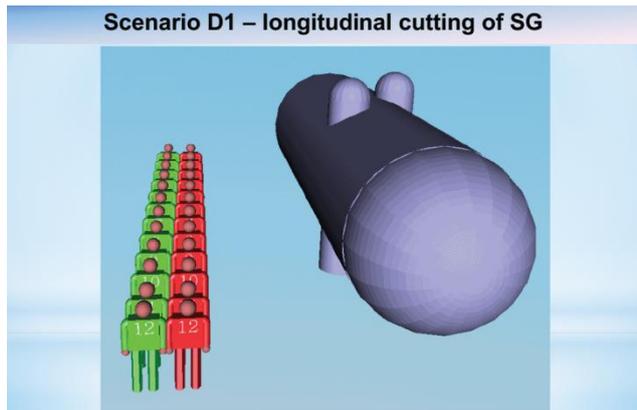
圖十八至圖二十二為切割蒸汽產生器的模擬場景及人員配置的設定，設定完成即可進行計算。



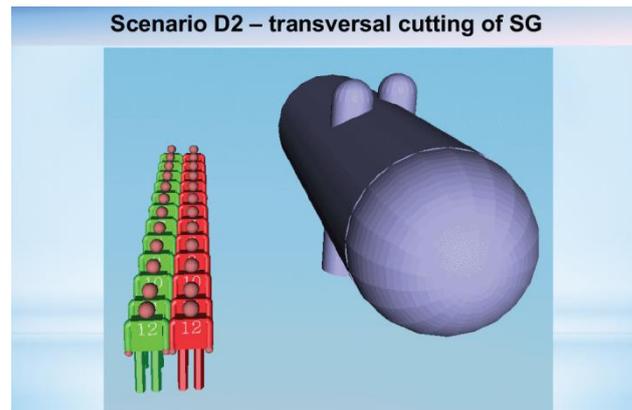
圖十八、切割連接蒸汽產生器的主要管線



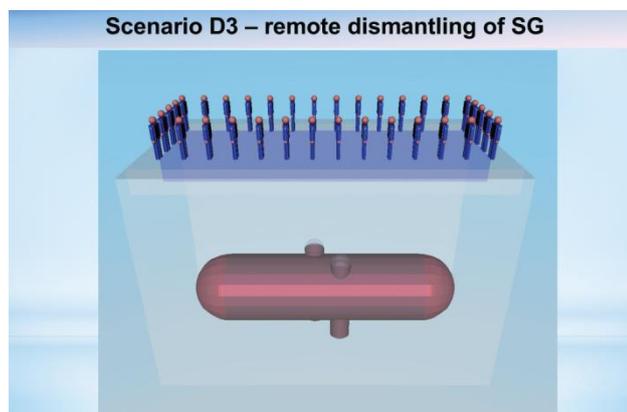
圖十九、切割蒸汽收集器



圖二十、場景一：垂直切割



圖二十一、場景二：水平切割



圖二十二、場景三：水平遙控切割

圖二十三為計算結果，首先可推算出在不同年份進行拆解所得到對應的人員曝露劑量值，另外還有針對不同的拆解場景及不同的作業人員所得出的劑量計算值也可一併呈現。在設定邊界條件時選擇較保守的方向去做條件假設，實際值就不會超過理論計算值，本篇是以斯洛伐克的 V1 核電廠為例，實際上此計算方法可套用至其他國家的核電廠做更廣泛的應用，亦可提供國內電廠參考。(圖十五至二十三之資料來源為 Slovak University of Technology)

## Results – external exposure

- Preparatory activities

Worker	Collective effective dose [manmSv]		
	2015	2020	2025
Cutter and junior technician	0.51	0.24	0.13
Master and technician	0.42	0.22	0.12
Radiation protection technician	0.08	0.04	0.02
<b>Total</b>	<b>0.87</b>	<b>0.50</b>	<b>0.27</b>

- Dismantling scenarios – year 2020 (including preparatory activities)

Scenario/Worker	Collective effective dose [manmSv]					
	D1.1	D1.2	D2.1	D2.2	D3.1	D3.2
Cutter and junior technician	179.24	180.24	109.24	109.24	1 worker group or identical with the previous scenarios	1 worker group or identical with the previous scenarios
Master and technician	79.02	79.82	49.12	50.22		
Radiation protection technician	14.84	14.94	9.23	9.42		
<b>Total</b>	<b>273.10</b>	<b>275.00</b>	<b>167.59</b>	<b>168.88</b>	<b>166.50</b>	<b>3.60</b>

31

圖二十三、計算結果

#### (四)廢棄物管理

##### 1. 外釋標準軟體計算工具

在除役工作當中外釋標準的量測數據筆數通常高達七位數字，若是用手動方式管理是相當容易出錯的，因此勢必傾向於使用現代資料庫的技術來自動產生這些流程，近幾年來用以支援外釋標準計算的軟體已經被開發出來，由 BrenkSystemplanung 公司所開發的 PUG 資料庫系統可支援建築物、廠址及物質的外釋標準計算，許多流程中所包含的資料處理計算及報告產出都可以自動帶出，目前此套裝軟體已成功運用在德國核電廠 KWW 上，還有其他幾座核設施也正運用中。

PUG 資料庫系統包含核種資料(圖二十四)、建築結構資訊(圖二十五)、外釋標準定義、取樣點量測結果(圖二十六)及 2D 平面圖等等資訊，核種資料內容包含核種名稱，可分為一般核種及特殊核種，以及所有核種的半衰期資訊；建築結構資訊包含名稱描述、XY 座標及平面的面積等等；取樣點量測資訊是匯入記事

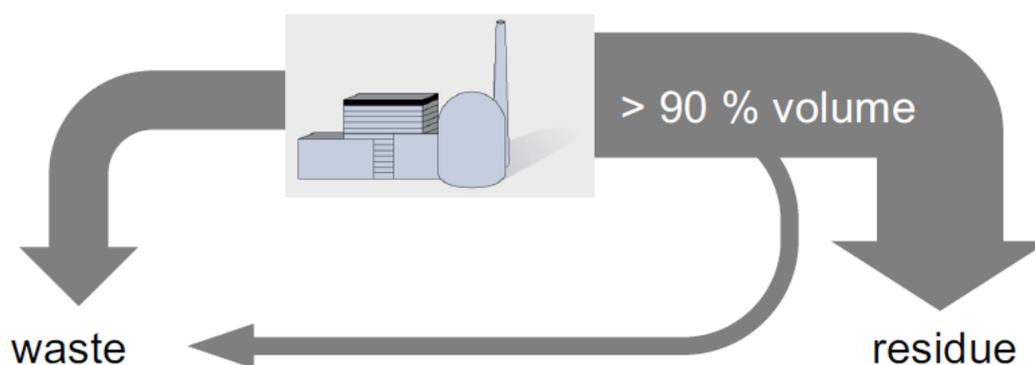


目前市面上已有販售外釋計算的分析軟體，使用軟體的優勢在於能夠處理大量與外釋相關的量測資料，不僅能夠降低處理大量數據的成本，同時也具有可信度及品質，此外使用電腦軟體計算出的結果對於監管機關的接受度也比較高。(圖二十四至二十八之資料來源為 Brenk Systemplanung)

## 2. 廢棄物追蹤管理

GNS 公司致力於開發廢棄物管理與文件系統超過 25 年，從核電廠的營運階段至拆除階段提供了全盤的廢棄物管理，包括中放與高放，涵蓋期程從電廠內貯存至中期貯存場，甚至最終貯存場之前的準備、廢棄物裝桶之後的管理追蹤，都透過電腦軟體進行監控，其系統廣泛應用於所有德國核電廠。

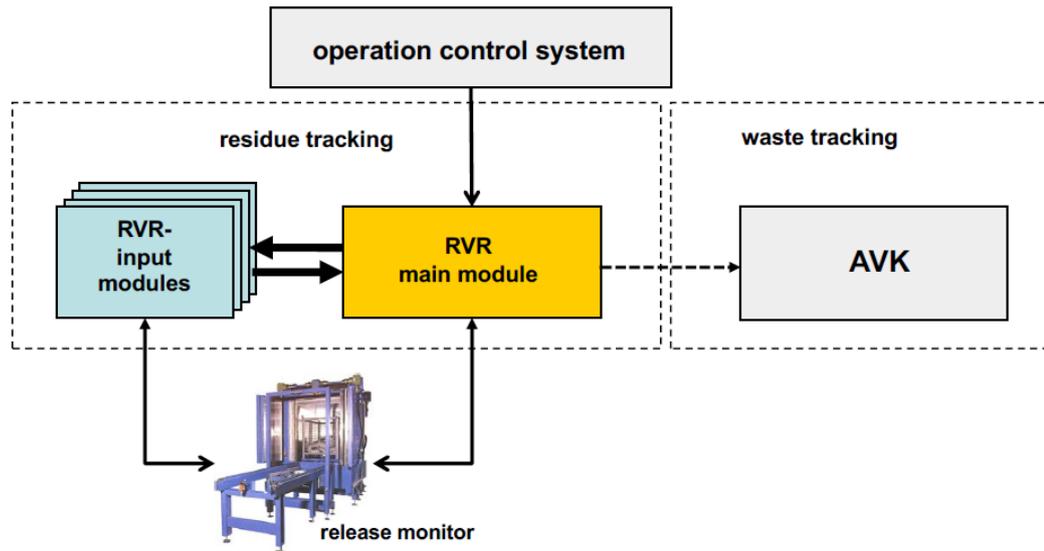
圖二十九為核電廠除役後廢棄物的流向，整座核電廠約不到 10% 體積會被作為放射性廢棄物處理，剩下超過 90% 體積會成為殘留體(residue)，有少部分殘留體經處理後可當成廢棄物作後送。GNS 原有之 AVK 廢棄物系統可追蹤從營運至除役階段的放射性廢棄物，也就是圖二十六由電廠往左延伸的箭頭部分，而新開發的 RVR 系統則填補了原本缺漏的部分，也就是圖二十九由電廠往右延伸箭頭的部分，增加了殘留體追蹤管理。



圖二十九、核電廠除役後廢棄物流向

RVR 系統分為兩種模組，其一為主要模組(main module)，係較高階流程組織管理，包含初步輻射特性評估、外釋流程掌控及資料管理的決策和控制量測等

等。其二為輸入模組(input module)，特點為在任何位置及無網路存取下亦可輸入資料，與各個量測站點資料連結，可線上或離線方式傳送資料至主要模組，並且可傳輸大量資料，不需要專業的科技人員也可操作。RVR 可被整合至現有的基礎設施，例如操作控制系統及 AVK 系統，並允許傳送資料至不同的量測系統。目前 RVR 正在德國電廠 KGG 試運作當中。



圖三十、廢棄物管理系統運作架構圖

GNS 另外開發了庫存管理系統(Inventory Management System)，使用視覺化 3D 渲染展示庫存狀態，並支援儲存庫內虛擬導覽功能，從存貨的儲放、置換及外釋都有完整紀錄管理，可搜尋指定的存貨群組並個別顯示資訊，如圖三十一、圖三十二。此外對於具有多種儲存庫的大型廠址也可管理，並支援多重資料庫來源(例如 RVR、AVK)，最後產出文件管理報告，在系統化的管理之下能夠輕易地收集彙整庫存資訊。(圖二十九至三十二之資料來源為 Gesellschaft für Nuklear-Service)



#### 四、建議事項

- (一)德國政策預計將在 2022 年將所有核電廠關閉，其除役工作正準備大規模展開，台灣未來也即將面臨核電廠除役，近幾年可以德國為借鏡，持續掌握德國的最新動態。
- (二)ICOND 有許多除役相關的廠商參展，從組件拆解到廢棄物處理都有專業機具和設備技術的相關資訊，可藉此機會獲得多家廠商的技術資訊及聯絡管道，並考慮後續合作的可能性。
- (三)國內因應核電廠除役需求，必須有完整的人員訓練規劃，而 AiNT 及 TUV 具舉辦此類訓練課程之經驗，建議列入委辦訓練機構之評估。