

出國報告（出國類別：其他）

赴法國參加第五次 CODAP 會議、2013
年 FAC 會議及拜訪 OECD/NEA 與台灣
駐法國台北代表處出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：陳建忠 副研究員

呂明憲 助理工程師

派赴國家：法國

出國期間：102年5月19日~102年6月2日

報告日期：102年7月2日

摘 要

第五次組件運轉經驗劣化與老化計畫(Component Operational Experience, Degradation & Aging Programme, CODAP)指導小組會議 (Steering Group Meeting) 在法國經濟合作暨發展組織總部(OECD)召開。我國由行政院原子能委員會核能研究所副研究員陳建忠博士及呂明憲先生及派駐 OECD/NEA 秘書侯榮輝博士參與會議。此次會議之主要議題除確認計畫各項行政、財務的規劃與運用、第四次會議的會議記錄及追蹤事項外、主要工作包含審查 CODAP 計畫第一份專案報告 Flow accelerated corrosion, FAC)第五版初稿、參與國對計畫資料庫建置的參與，以及知識庫建置的目標與方向；同時計畫也比照往例，由芬蘭、日本與韓國等會員國分享各自電廠的組件劣化經驗。

而於參加本次 CODAP 會議前，也參加 5/21~24 在亞維儂召開的 2013 FAC 研討會；此項會議資料是來自年初 CODAP 計畫秘書 Dr. Alejandro 的通知及建議；法國電力公司 (EDF)主辦的此項研討會主題，恰與 CODAP 計畫第一份專案報告完全一致，故 Dr. Alejandro 建議 CODAP 各會員國可積極參與並了解 FAC 研究的最新發展。

其次，陳員與呂員也經由我國派駐 OECD/NEA 的侯榮輝秘書的安排，於 2013 FAC 會議後，分別拜訪駐法代表處科技組以及 OECD/NEA 的輻防與廢料管理部門，以瞭解台法兩國間之科技交流現狀，以及歐盟各國現階段的除役作業，對本所進行國際科技合作，以及評估核一廠除役規劃都具有相當的參考價值。

目 次

(頁碼)

一、目 的	1
二、過 程	4
三、心 得	46
四、建 議 事 項	47

一、 目的

本次行政院原子能委員會核能研究所副研究員陳建忠博士及呂明憲先生奉派於 2013 年 5 月 19 日至 6 月 2 日赴法國公差，5 月 21 日至 5 月 24 日參加法國電力公司於亞維農召開的 2013 Flow Accelerated Corrosion(流體加速腐蝕)研討會；5 月 30 日至 5 月 31 日於巴黎參加歐洲經濟合作暨發展組織/核能署(OECD/NEA)召開的第五次組件運轉經驗及劣化&老化計畫(Component Operational Experience, Degradation & Aging Programme, CODAP)的工作會議。

陳員等配合原能會召開的第五次會議先期工作檢討會，了解本次會議任務提示，以及檢討及處理第四次會議結論中，會員國需配合建立與處理的事項；再藉由出席第五次 CODAP 計畫會議，反應我國的建議與掌握 CODAP 計畫的進度與內容。

OECD/NEA-CODAP 國際合作計畫的目的，為透過參與的會員國，蒐集彙整核能組件運轉經驗，以建立劣化及老化的資料庫；並期待透過此資料庫所提供的組件劣化經驗，加強組件老化效應的評估及管理，以及建立預防機制，避免因發生相似劣化事件，影響電廠的運轉安全及營運績效。因此，也透過會員國交換有興趣的劣化事件，以避免重複發生相似的劣化事件與及早進行劣化管理的規劃。此外，也檢討如何建立適當的資料庫格式，並據以蒐集核能電廠組件劣化及老化的資料庫，並進一步利用計畫資料庫，建立適當的組件老化評估知識的管理規劃，以因應核能技術傳承的問題。

歐洲經濟合作暨發展組織(The Organization For Economic Cooperation And Development, OECD)組件運轉經驗劣化&老化計畫是合併及擴大下列兩項 OECD/NEA 的前期管路研究計畫：管路失效資料交換計畫(OECD Pipe Failure Data Exchange Project, OPDE)及應力腐蝕龜裂與電纜老化計畫的管路應力腐蝕部分(SCC part of the SCAP)

管路失效資料交換計畫成立於 2002 年五月，目標是建立及整理一個全球性商轉電廠的管路失效運轉經驗資料庫；此資料庫在 OECD 核能署(Nuclear Energy Agency, NEA)的維護下已成功的運作八年，期間並蒐集超過 4000 件以上的管路失效經驗。簽署加入第三期 OPDE 計劃 (2008 年一月至 2011 年五月)的國家共有加拿大、捷克、芬

蘭、法國、德國、南韓、日本、西班牙、瑞典、瑞士及美國等 11 個，OPDE 計畫已於 2011 年五月結束。

NEA 於 2006 年六月成立 SCAP 計畫，此計畫的目標是建立管路應力腐蝕龜裂及電纜絕緣層劣化的資料庫，此兩項組件的老化，將影響核能安全並與電廠的老化管理有關，此計畫已順利的在 2010 年六月完成；參加該計畫的 NEA 會員國從一開始的 14 個到結束時已增加到 17 個，各會員國透過此計畫分享管路應力腐蝕龜裂及電纜絕緣層劣化的知識與經驗。國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)及歐盟執行委員會(European Commission)也同樣以觀察員的角色加入此計畫。

在 SCAP 計畫完成之後，部分參與國希望將計畫中有關管路 SCC 的部份，以某種型式延續下去，並擴大探討組件的劣化經驗。且大部分成員也了解 OPDE 計畫及 SCAP 計畫的管路 SCC 部分有許多相似之處；因此，同意成立一個新的 CODAP 計畫，以進一步整理與研究核能組件的劣化經驗。

CODAP 計畫建立於 OPDE 及 SCAP SCC 成功的基礎上，其目標包含：

- (一) 蒐集被動金屬組件的相關劣化及失效資訊。包含反應爐、爐內組件、反應爐冷卻水環路、安全相關的例行運轉系統、備用特殊安全設施、以及各項支援系統(即 ASME 規章所列的核能安全一、二、三級或其他法規相當等級的設備或組件)、以及失效會明顯影響電廠安全運轉的非安全相關組件。
- (二) 針對劣化組件建立其一般性與劣化資訊，並建立劣化機制的研判，以便後續開發一個具劣化資訊分析與研判能力的知識庫；資料庫內容包含劣化組件的幾何形狀、材料、設計負荷、設計規範等各項設計資訊；劣化資訊則包含劣化的型態、機制、檢測方法、監測與診斷技術、修復及替換建議...等。
- (三) 配合核設施安全委員會(Committee on the Safety of Nuclear Installations, CSNI)的組件與結構的整體性與老化工作團隊(Integrity and Ageing of Components and Structures Working Group, WGIAGE)，提出與組件劣化機制專題報告。

CODAP 目前參與的國家有：加拿大，捷克共和國、斯洛伐克、芬蘭、法國、德國、韓國、日本，西班牙、瑞典、瑞士、美利堅合眾國及中華台北，計畫期程：2011

年 6 月至 2014 年 12 月，預算金額分三年支付，分別參加計畫的 10000 歐元，第二次繳款 10000 歐元，第三次繳款金額為 15000 歐元。

而於參加本次 CODAP 會議前，也參加由法國電力公司(EDF)於 5/21~24 在法國亞維儂召開 2013 FAC 研討會；此項會議與 CODAP 計畫第一份專案報告主題完全一致，因此，年初 CODAP 計畫秘書 Dr. Alejandro 即通知 CODAP 各會員國，可積極參與並了解最新發展現況。

此外，陳員等也經由我國派駐 OECD/NEA 的侯榮輝秘書的安排，於 2013 FAC 會議後，分別拜訪駐法代表處科技組吳組長以及 OECD/NEA 的輻防與廢料管理部門計畫負責人 Ivan REHAK 博士，以瞭解台法兩國間之科技交流現狀，以及 OECD/NEA 除役相關國際合作計畫、歐盟各國現階段的除役相關作業，所獲得的經驗與知識對本所參與國際科技合作，以及評估核一廠除役作業都將具有相當的參考價值。

二、 過程

此次出國含往返旅程共計 15 天。行程如下：

日期(星期)	行 程 概 要
5/19(日)~20(一)	去程
5/21(二)~24(五)	參加 2013 年 FAC 會議
5/25(六)~26(日)	準備資料
5/27(一)	行程 從亞維儂到巴黎
5/28(二)	拜訪駐法代表處科技組
5/29(三)	拜訪 OECD/NEA
5/30(四)~31(五)	參加第五次 CODAP 會議
6/1(六)~2(日)	回程

本次公差主要工作包含參加 2013 流體加速腐蝕(Flow Accelerated Corrosion)研討會及參加第五次 CODAP 計畫會議，行程中也安排拜訪駐法代表處科技組及 OECD/NEA 輻防與廢料部門；因次，本次公差報告將依據行程分四項說明。

(一) 2013 流體加速腐蝕(Flow Accelerated Corrosion)研討會

法國電力公司(EDF)所主辦，2013 流體加速腐蝕(Flow Accelerated Corrosion, FAC)研討會是第三屆會議，本次協辦單位包含國際原子能總署(IAEA) 及世界核能組織(WANO)的法國分部。

本屆 FAC 會議是在古老且極具歷史意義的教皇宮舉辦，自 5/21~5/24 共計四天(一成如附件一)，參加單位來自亞洲(中國大陸、日本、韓國、台灣)、美洲(阿根廷、美國、加拿大)及歐洲(以法國、西班牙、德國、瑞典、瑞士...)等二十多個國家，超過 140 位

來自學術界、科研單位、工程界、電廠，以及電力公司人員參加，另外，研討會也安排六個相關的展示攤位，主題包含 FAC 檢測、管路材質的檢驗機、劣化管路的修補防治等，其中個人也適時了解四吋以下小尺寸超音波檢測機、材料成分檢測機、廢料拆除與除污設施等。

會議在大會秘書 Stephane Trevin 說明議程與周邊環境與支援；以及大會科學委員會代表法國 CEA Damien Feron 致歡迎詞後，說明本次會議是繼 2010 的第二屆 FAC 年會後，歷經兩年的準備所舉辦的研討會，希望大家可以盡情交換資訊，並有一個美好的旅程。以下分六個部份介紹 2013 FAC 年會內容

1. 專題演講：

第一天上午會議，先邀請 IAEA、WANO 及 INPO 等三位專家進行專題演講；演講內容重點分別為 WANO 組織與 FAC、老化管理與 FAC 及美國電廠的 FAC 經驗。

首先由 WANO Paris Centre Mr. Jean-Marc Willemenot 介紹簡介 WANO 成立原因、組織與使命；1986 年發生車諾比電廠事故，全球核電工業發現任一核電廠的事件，都會衝擊全球的核能工業，因此發起國際合作，經由共同進行經驗交換、支援技術評估，以加強全球核電廠的運轉可靠度與安全性，避免再次發生意外事件。WANO 於 1989 年成立至今，全球核電廠都已是該組織會員。透過過往運轉經驗的學習，以強化應變設施及對相關事件的應變能力，以降低事故發生的機率與嚴重性。此外，WANO 也鼓勵會員提供有價值事件與分析結果，供全體會員參考。並採取相關措施以避免發生相似的事件。可惜 2011 年 3 月還是意外的發生了福島電廠的事故。

WANO 全球組織包含美國總部亞特蘭大外，也在巴黎、莫斯科、東京設置中心以及倫敦與香港設置辦事處；目前最熱門的韓國還沒有分部，中國大陸...等其他核電國家，則由於使用其他國家設計的核電廠，所以也沒有設分部的計畫。WANO 主要的目標就是加強合作與資訊交換此外，他主要敘述法國分部目前進行的資訊交換工作，都是圍繞在福島事件後，如何加強防災的工作。

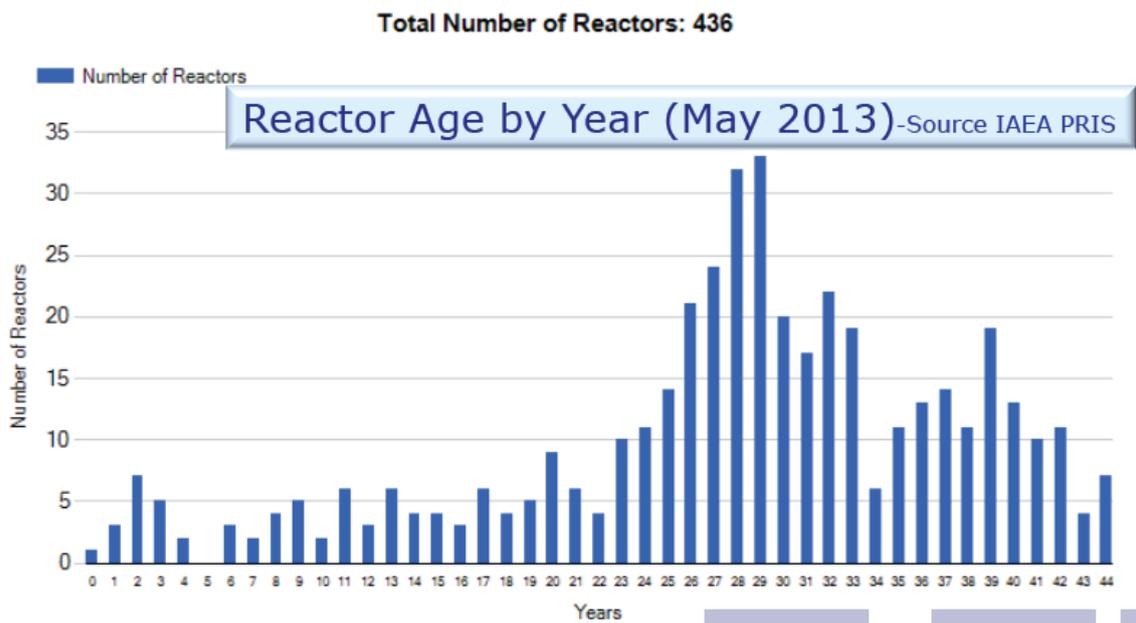
WANO 主要提供兩類報告，第一類為重要的運轉經驗報告(Significant Operating Experience Reports)，此類報告主要說明重大事件的詳細分析(detailed analysis)、摘要

(Summary)、訓練教材(Training material)、訓練簡報(Training slides)，以及如何評估(‘How-To’ review)等的，並包含提供會員有關的改善行動。例如，針對福島事件，WANO 即於 2011 年八月出版 Significant Operating Experience Report “Fukushima Daiichi Nuclear Station Spent Fuel Pool/Pond Loss of Cooling and Makeup”專案報告供會員參考。其內容包含事件重要內容或趨勢(包含需要的改善行動)；第二類為重大事件報告(Significant Event Reports)，此類報告是分析重大事件並從中獲取經驗與知識。每份重大事件報告會包含事件描述(Event description)、肇因(Causes)、分析(Analysis)、學到的教訓(Lessons Learned)，以及事件防治(Prevent Events)等。例如控制棒插入失效(Failure of control rods to insert on demand)、燃料吊運事件(Fuel handling events)...

在 FAC 議題的處理上，WANO 也發行 SER 2006-1 專題報告，透過分析(Analysis)、同行審查(PEER Review)、效能指標(Performance Indicators)專業與技術開發(Professional and Technical Development)、技術支援任務(Technical Support Missions)等五個步驟，分析 FAC 發生的原因、四年至少一次透過同行審查進行深度經驗交流、建立效能指標，以確認電廠 FAC 的維護效能與改善的地方、並透過 Seminars、Workshops、Expert Group Meetings、Working Groups 等研討會及專家群體進行專業技術開發，以及協助 WANO 會員確認問題與改善電廠的安全性與可靠度。最後並以”A single accident in one facility influences our industry world wide.”為總結，勉勵所有核能同業要避免發生任何影響全球核安的事故。

第二個專題演講，則是來自 IAEA 的 John H. Moore 介紹 IAEA 的 FAC 老化管理；IAEA 自 1980~1990 就開始注意到電廠老化的問題，這段期間壓水式反應爐蒸汽產生器管束陸續發生沖/腐蝕的問題、美國 Surry 電廠也因管路薄化而發生破管，因此，自 1985 年開始建立核電廠老化管理工作小組。1991 年開始以反應爐管嘴、電動閥、混凝土圍阻體、儀控電纜為主題作為先導的老化研究計畫主題。並於 1992 年發表 TRS-338 老化管理方法及 1999 年發表 SVS-4 老化管理評估團隊審查服務等專題研究報告。在 2002 年也將機率破壞力學方法引入老化管理評估，並召開第一次 PLiM (Nuclear Power Plant Life Management)研討會，後續於 2007 在中國上海，2012 在美國鹽湖城進行第二次與第三次會議。

在 2007 年 6 月及 2008 年 12 月也先後發表 IAEA-EBP-SALTO ”Safety aspects of long term operation of water moderated reactors” 及 SALTO 指引”Guideline for peer review of long term operation and ageing management of nuclear power plants”等兩份有關電廠長期運轉的重量級評估與管理的報告。在以下 IAEA 統計表中，大部分電廠運轉都已運轉超過 25 年以上，甚至接近 30~40 年。因此，IAEA 也發表 GS-G-2.12 建議老化管理的模式。



(摘自 IAEA 簡報資料)

在 2010 年六月 IAEA 運轉的安全經驗與效能(Operational Safety Experience and Performance)研討會上確認，需更加強分享電廠組件的老化管理經驗，並確認以美國核管會的 GALL (Generic aging lesson learned) 報告為基礎，建立全球性的 GALL 報告 (IGALL)，建立系統性的組件列表、曾有的劣化紀錄、劣化形式、老化管理計畫；經三年的努力，將於 2013 年九月召開最後一次的執委會，並於其後不久就會發佈成果報告。

在 FAC 議題上，近期最重大的事件莫過於 2004 發生於日本 Mihama 電廠的破管事件，其後檢討發現，不論大尺寸或小尺寸的管路，受到流體加速腐蝕區域的檢查，

並未受到足夠的重視。因此，IAEA 對 FAC 與老化等議題，也開始進行不同的研究課題。並分別在以下地方召開各項研討會。

- 2008 Ageing - Buenos Aires, Argentina
- 2009 FAC - Moscow, Russian Federation.
- 2008, 2010, and 2013 - EDF FAC conferences, France.
- 2002/2007/2012 PLiM Conferences
- Numerous component specific ageing workshops (e.g. concrete ageing, cable ageing, RPV embrittlement etc.) in numerous countries.

2010 IAEA 發表 NP-T-3.1“Risk-Informed In-Service Inspection of Piping Systems of Nuclear Power Plants: Process, Status, Issues and Development”的核能系列文件，將危害度分析納入管路的檢測作業。

此外，也進行 FAC 議題的合作研究計畫，2009 年在 IAEA 的莫斯科研討會確認 FAC 合作研究，並於 2012 年 7 月在維也納召開第一次合作研究會議，共有 17 國參與。探討以下兩項主題：

- References / boundary conditions for the use of available FAC prediction tools.
- IAEA Nuclear Energy Series document guideline for FAC Programme implementation within Member States

依據現有檢測資料，對現有的 FAC 商用評估軟體 CHECWORKS, CICERO, COMSY, RAMEK 等進行管路薄化的驗證與比較；並依據電廠狀態進行盲(Blind)預測。相關分析結果與檢測數據的比較，預定於 2015 年發表。

第三個專題報告是由核能電廠運轉協會(INPO)Gary Schweitzer 所分享的美國電廠經驗。他以成功 FAC 方案、提供的警告資訊與缺點為題，說明 FAC 老化管理方案可透過所有可用的工具與方法，在管件發生洩漏或破裂前確定組件與位置。並總結說明一個成功的方案，其預測模式所用資料需時時保持最新狀態、廣泛的納入運轉經驗，特別是未納入規劃的可疑組件(Susceptible nonmodeled (SNM) component)、強化電廠管

理階層與員工對既有的 FAC 方案的狀態與需求的溝通，以及 FAC 人員需注意到方案的警告資訊與缺點。

以上專題演講的內容具有相當的全面性，相當程度上可開拓參與者的視野；隨後共發表 46 論文。論文內容主要探討管路薄化的成因、機制、評估方法、檢測技術、防治方案等，均有相當的水準，對於本專長的科研人員，是一個很好學習與交流機會。為方便介紹，以下將採主題式方式介紹各項 FAC 議題：

2. FAC 評估模型：

如 IAEA 所提現有的 FAC 評估軟體包含 CHECWORKS™, CICERO™, COMSY™, RAMEK™，但 EPRI 的 CHECWORKS™仍是最普遍使用的 FAC 評估軟體，

首先說明 EPRI 研究員 Jeffrey Horowitz 所介紹 CHECWORKS™ 4.0 版的開發。在過去的 20 年裡，CHECWORKS™一直以來都為 FAC 工程師所使用，以協助管理電廠的 FAC 方案。在此期間，此軟體仍不斷的改進，以滿足用戶的需求，這些改進包括使計算功能更為強大及在使用上更為”User friendly”。過去兩年 EPRI 持續努力改善此軟體，整合前版的 CHECWORKS™功能，以提供 FAC 工程師更方便的管路薄化管理工具，並發表新版本 4.0 版。其功能包含以下幾項：

- Organize, store, retrieve & manage plant data.
- Evaluate plant water treatment options: Water Chemistry Analysis.
- Evaluate local flow conditions: Network Flow Analysis.
- Identify locations susceptible to FAC and determine FAC wear rates: Wear Rate Analysis.
- Also used to predict changes in FAC wear rates due to power uprate or major plant upgrade.
- Facilitate outage planning & management: FACTRAK.
- Evaluate UT data obtained during inspections: UT Analysis.
- Facilitate component acceptance evaluations with new feature or by means of external applications.

- Visualize piping geometries with an isometric viewer

此外，也在 4.0 版納入以下沖蝕(Erosion)劣化機制的因素，加強 CHECWORKS™ 評估 FAC 檢測數據的新功能：

- Cavitation erosion：通常發生在通過管閥或流量限制器下游。
- Flashing erosion：流經管路流量限制器下游，或局部壓力下降區的沖刷。
- Liquid droplet impingement (LDI)：高速蒸氣注入雙相蒸氣，導致液滴沖蝕管路表面。
- Solid particle erosion：尚未納入

Jeffrey Horowitz 並宣告預定於 2015 年發行 CHECWORKS™ 4.1 版。

其次說明 Areva 工程師 Dr. Helmut Nopper 也介紹 COMSY™軟體的功能，並透過 CANDO 電廠的停機冷卻系統與 PWR 的飼水管線旁通系統說明 COMSY 軟體已具有沖蝕等 15 項老化機制的評估能力。

經評估結果發現電廠管路中，常用於流量控制與量測的限流板(Orifice plates)，其下游通常會因 FAC 效應增進管路薄化，且由於 FAC 與沖蝕 Cavitation 聯合效應，更會加速管路薄化，而此項效應的管路薄化影響範圍，至少須包含限流器下游的 10 倍管徑長度。

其次，在 22 日的會議上，Dr. Grigory Tomarov 也以”Use of prediction tools to solve FAC problems at Russian NPPs”介紹蘇聯的 FAC 評估軟體 RAMEK™，該軟體宣稱可以管理含水或蒸汽管路與設備的局部與整體的 FAC 問題。軟體考慮的參數包含管件材料性質、流體動力、水化學。可協助工程師研判最可能的 FAC 區域，運轉管理的最佳化、對不可接受薄化的評估、並可用於設計、建造與運轉期間，該軟體目前已有相當多蘇聯電廠的使用經驗。

另外，在 24 日的報告中法國電力公司代表，來自於中國的 Gonghao Qiu(裘)先生，也介紹 EDF 所開發的 BRT-CICERO™軟體。其內容包含探討法國電力公司所屬電廠

早期管路薄化的經驗回饋、管路薄化的研究計畫、FAC 監測軟體 BRT-CICERO™，近 30 年 EDF 對 FAC 的管理與近 20 年 BRT-CICERO™的演進。

法國電廠自 1972 年、1980 年與 1980~1984 年間發生數次管路薄化事件後，自 1990 年起主要管線就很少因管路薄化發生洩漏的問題。透過對管路薄化事件的研究，發現劣化機制包含 FAC 與 Cavitations 沖蝕。

在分析模型上，先由 Berge & St. Paul model 在 1981 年提出 FAC 原始評估模式，其後 Sanchez-Caldera 納入氫氧化鐵(Fe(OH)₂)的擴散理論以改進 FAC 的評估，

$$FAC_{rate} = \frac{\theta \cdot (C_{eq} - C_{\infty})}{(1/K + 0.5 \cdot 1/k)}$$

EDF 於 1970 年代，就持續投資建立產生 FAC 的實驗測試環路，1980 以前在 La Courneuve 建立五個 CAIL BABCOCK loop，1980 年以後則在 les Renardières 建立 CIROCO 環路，該環路自 1980 年起持續使用至今。

Sanchez-Caldera 的分析模式被 BRT-CICERO 採用，成為其核心評估模式。此外，亦透過 CAIL BABCOCK 及 CIROCO 環路，驗證水化學因素與管材鉻含量的影響評估，進一步完善其評估能力；該軟體在 1990 年前發行第一版，1996 年就有數個法國電廠安裝 1.41 版。在 2000 年 3 月法國核能管制單位 ASN 通過 BRT-CICERO™的認證，更於當年十月要求全法電廠需於 2001 年起使用 BRT-CICERO™進行 FAC 評估。

自 2000 年起，BRT-CICERO™的演進史：

發生於多數 PWR、BWR 電廠碳鋼管路系統中的流沖加速腐蝕（FAC）會導致系統管路之管壁薄化，此劣化可能導致相當嚴重的意外事件。受益於法國 58 個 PWR 電廠在例行維護中所提出的經驗回饋及各單位持續研究所累積的成果，EDF 已經制訂了一項世界性的 FAC 管理策略（國家維護法規 – “RNM”），此成果大部分的貢獻來自於由法國安全管理局（ASN）認證的“BRT-CICERO™”軟體。

該軟體考慮數個有影響的參數，如管配件的幾何形狀、溫度、水化學、蒸汽質量、流速和鋼的合金含量，計算在管路中 FAC 的磨耗速率，現在在法國，中國和南非正廣泛的使用於核能電廠營運作業。

該論文概述 BRT-CICERO™ 如何匯集 EDF 於 FAC 方面的知識、研發成果和經驗、及從國內外與 FAC 有關的運轉經驗及事件而逐漸改進。

- 2003 年開發 2.xx 版，改善以下功能並供應法國及國外客戶。
 - 圖形界面的重大改進
 - 透過量測回饋管壁厚度，以最佳化幾何參數。

- 2009 年開發 3.xx 版，改善以下功能並供應法國及國外客戶。
 - Optimization of the information structure (centralised database system)
 - Update of calculation for thermodynamics (IAPWS 97) and chemistry (MULTEQ V4.0)
 - Optimization of geometrical factors (thickness measurement feedbacks)

- BRT-CICERO™ 的週期性效能評估
 - Evaluation of the v2.2b in 2005 with 6291 inspection results : 99.8% conservative predictions
 - Evaluation of the v3.2a in 2010 with 14930 inspection results : 99.3% conservative predictions
 - Evaluation of the v3.2a in 2013 with new inspection results : 99.6% conservative predictions

BRT-CICERO™已於 2012 年發行 4.2 版，並供 58 個法國電廠使用，並預計在 2016 年發行 BRT-CICERO™ 4.3 版。

在既有的 FAC 評估軟體外，韓國與日本都表示已開發各自的 FAC 軟體，韓國 Dr. Sangkyu Park 說明自 1996 年至 1999 是引進 EPRI 的 CHECWORKS™，約使用了 15 年。當時 CHECWORKS™軟體有以下缺失；

- Impossible to identify UT data errors
- Inconvenient to connect UT data and perform UTA
- Hard to identify inspecting locations
- Just possible to select inspecting components and next inspecting cycle using another program, such as excel

因此，自 2008 年起就自行開發 Systematic Management Aid with Reliability & Technology for Secondary side piping(SMARTs)的 FAC 評估軟體，該軟體具有以下特徵

- Web-based program
- DM (Data Management) Module & 3D Management Module
- DM & 3D Modules have close links with each other

且該軟體具有超音波檢測數據連結與可靠度分析、檢測數據的評估、檢測規劃管理等功能，並將管路設計資料與圖面併入此評估軟體

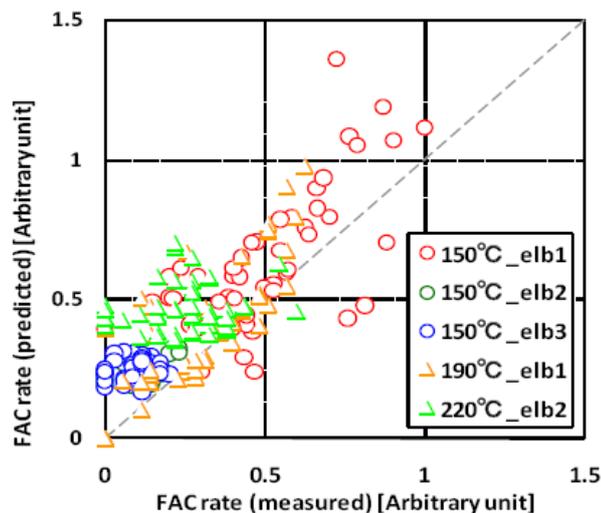
- UT data auto-link and evaluation, UT data reliability analysis,
- Auto-managing long-term inspection plan, 3D management, etc.

日本的中央電力研究所(Central Research Institute of Electric Power Industry, CRIEPI), Dr. Yoneda Kimitoshi 也在本次會議提到開發管路薄化評估軟體 FAC and LDI Prediction Software for Pipe Wall Thinning (FALSET)，其功能包含評估流沖加速腐蝕 (Flow accelerated corrosion, FAC) 和液滴衝擊侵蝕 (Liquid Droplet Impingement erosion, LDI) 兩類管路薄化的主因；此外，軟體評估參數也包含紊流的流速、管路的幾何形狀與傾斜狀態等。

FAC 和 LDI 是電廠管路系統發生管壁薄化現象的主要原因。該論文作者已改善了以 FAC/ LDI 評估管路局部薄化趨勢的預測方法。此預測方法在應用於特定電廠時需

經過轉換才能夠實際應用。在日本，經常用管壁薄化預測軟體預測和評估管路的剩餘壽命，該論文討論目前的管路薄化預測軟體對電廠管路薄化管理的適用性。

Dr. Yoneda Kimitoshi 簡化的以一維管路模型，在 FAC/ LDI 軟體中預測管壁薄化之趨勢，並應用於電廠實際的薄化數據。由 PWR 電廠的 FAC 數據和 BWR 電廠的 LDI 數據來看，目前對每個管路元件的最大薄化率預測大致有相當的準確性。特別對於高薄化速率部分的數據(此部分對電廠管理最為重要)，此模型能夠落於評估係數 2 的範圍內。透過安裝此模型及“FALSET”管路薄化預測軟體的使用，對管路薄化的管理將更為實用，並隨著此軟體中各功能的驗證和改進，未來具有成為普遍性電廠管路薄化管理工具的前景。



Comparison of measured and predicted FAC rate for plant data

(摘自 CRIPEI 簡報資料)

他們表示日本在 2004 年發生 Mihama 事故，且此軟體開發進度也落後國外的發展將近 20 年，但他們將發展更具精度與合理保守度的評估軟體。目前此軟體開發已經通過兩個飼水管路與一個凝結水管路系統的驗證，確認具有相當的正確性與保守度。

此外，FAC 評估模式相關的論文包含阿根廷 Ivanna Rodriguez 所發表的“Implementation of the COMSY Code in a PHWR NPP- Analysis of the low pressure turbine extraction lines” CNEA, ARGENTINA。

在 2011 年 1 月，阿根廷 Nucleo Eléctrica Argentina S.A. (N.A.S.A.)收購了由 AREVA 所開發的軟體 COMSY。自此參加 COMSY 培訓課程的人皆為 N.A.S.A.-C.N.E.A.的成

員。培訓的主題包括一般的程式碼編寫，FAC 模型建置及其他現象解釋。在 2011 年 8 月加入的 N.A.S.A.和 C.N.E.A.工作小組（運轉期間檢測及反應爐水化學）已承諾將 COMSY 應用於 Embalse 及 Atucha I-II 電廠，並正式於 2011 年 12 月開始執行。

這項工作的目的是要設立一完整的工作指引，並依照指引開始於 Atucha 電廠（位於布宜諾斯艾利斯省，阿根廷）應用 COMSY 軟體，如此而得到第一階段的執行成果，由於該電廠已接近於設計壽命，使該電廠得以繼續運轉也是此計畫的執行目的。在延長運轉期間，電廠預期使用此軟體以確定那些位置特容易受到流沖加速腐蝕的影響，及管理運轉期間檢測，並處理新的程序文件及記錄。此軟體也可應用於 BOP 等系統中其他劣化現象的預測。

法國 EDF DTG Séverine Friol 先生以” Long term strategy for pipeline replacement due to FAC degradation at EDF using BRT-CICERO™ software”為主題，探討使用 BRT-CICERO 軟體建立管路薄化長程策略。

核能電廠的延壽計劃要求設備於延長運轉期間的完整性，這部分包含安全、可用及維持在延役期間的成本控制。經過十幾年的定期安全審查，法國電力公司（EDF）支持擴大其核電廠超過 40 年的延壽計畫。在蒸汽-水循環管路中，流沖加速腐蝕劣化是核能電廠安全運行的關鍵問題之一，以及薄化可能會導致組件故障進而使電廠設備的損失及工作人員發生工安意外的風險。

FAC 是一個會造成管路薄化的腐蝕機制，容易出現在流體為高能量液體或濕蒸汽的碳鋼和低合金鋼管路。BRT-CICERO™軟體是由法國電力公司開發的軟體，是一種 FAC 的預測工具，考慮所有的影響參數，以確定最容易發生 FAC 的管件，並計算其管壁達到設計小厚度的剩餘時間。在與核電廠延役相關的文件中，BRT-CICERO™有能力在很長時期內的預測每個組件的剩餘厚度，並進行分類，並對容易發生 FAC 的管路，進行長期的監測。在延役期間，為使電廠運轉安全且不會受到 FAC 的威脅，電廠將進行定期檢查及基於安全及成本考量逐漸地更換所有容易 FAC 的管件為抗 FAC 材料。

另外，美國 Scandpower 公司 Lydell Bengt 先生，以”Incorporation of FAC considerations in probabilistic safety assessment”為主題，將機率安全評估方式，引入 FAC 評估的研究。

某些機率安全評估（PSA）工作和 PSA 模型的風險告知應用有考慮流沖加速腐蝕。這些例子包括對主飼水喪失的情況下的高能管路破裂（HELB）評估，爐心淹沒的 PSA 評估，包含風險告知之運轉期間檢測(RIISI)程序，完整性和可靠性管理(RIM)的研究。在運轉經驗方面，就不同的面相來說，FAC 管理方案已經落實在所有商用核電廠。

這些方案包括 FAC 磨損率監測及減緩 FAC 之策略，比如嚴格控制二次側水化學和使用抗 FAC 材料，廣泛的 FAC 運轉經驗（OPEX）數據是可用的。OPEX 數據是以小於容許壁厚、穿壁洩漏、及主結構失效的形式表現。本文探討的分析方法、技術和工具，可推導出個別電廠/專屬 FAC 的可靠性參數以輸入 PSA 模型。這些方法和技術表現了電廠及電廠之間在 FAC 運轉經驗上及 FAC 減緩策略上的差異。

電廠劣化發生最多組件除蒸汽產生器管束外，較常見的劣化就屬管路薄化；全球核能電廠較多的國家，都積極自行建立 FAC 評估軟體，反觀我國在此方面的動作就顯得相對保守。

3. 管路薄化的檢測作業：

管路薄化的檢測，目前多以非破壞檢測技術執行；可用技術包含超音波檢測(UT)、放射性檢測(RT)與電磁(Magnetic) 檢測或溫度圖像(Thermogram)等方式。本次論文共有 10 篇論著與管路薄化檢測有關。

單位,國家	作者	篇名
Tractebel Engineering, BELGIUM	Arnaud Gendebien	Assessment of an expertise carried out on two welds replaced following TOFD examinations
EDF DTG,	Damien	TOFD for weld root corrosion and thickness

單位,國家	作者	篇名
FRANCE	Delacoux	measurement
GE Inspection Technologies, FRANCE	Claudia Laverde	Corrosion Monitoring system using permanently installed ultrasonic sensors
Inspector System, GERMANY	Marcus Hitzel	Internal pipe robots from Inspector System
EDF,FRANCE	Yoann Chouin & Nicolas Mellin	FAC monitoring in a PWR
Tohoku University, JAPAN	Takagi Toshiyuki	Field Application of Electromagnetic Acoustic Resonance to Inspection of Pipe Wall Thinning in a Nuclear Power Plant
Czech Technical University, CZECH REPUBLIC	Martin Drab	Flow Accelerated Corrosion Detected by Acoustic Emission Method in Operational Conditions of Nuclear Power Plant
DEKRA, SWEDEN	Peter Merck	NDT Methods Detecting/Monitoring FAC in Nordic Nuclear Power Plants
State Nuclear Power Plant Service Company, CHINA	Zheng Hui	Practices on the Management of Nuclear Power Plants Secondary Piping Wall-Thinning in China
CETIM Senlis, FRANCE	Henri Walaszek	New benefits of advanced non-destructive techniques for energy industries

其中印象較為深刻的論著有兩篇。瑞典的 Peter Merck 先生以” NDT Methods Detecting/Monitoring FAC in Nordic Nuclear Power Plants”為主題，所整理的非破壞管路薄化檢測技術的優缺點整理比較：

- 手動超音波檢測(Manual thickness measurement, MUT)

- When very high accuracy is needed
 - Bends and complicated geometry - flexibility
 - 100 % or ability to choose extent (independent of geometry)
- 矩陣式超音波檢測技術(Phased array UT)
 - When profile of damaged area is needed
 - Efficient and fast method
 - High accuracy - mechanized
- Lixi Profiler 放射線檢測技術(RT)
 - Quick and large volume inspection of insulated or non-insulated pipes
 - Screening and rough method
 - Sample test - need to be combined with other methods
- Guided-Waves 超音波檢測技術
 - 100 % inspection
 - No detection of small areas in circumferential direction
 - Need of straight piping (to be efficient)
- Profile radiography 放射線檢測技術
 - Insulated pipes
 - Exact method
 - Images of the pipes
 - Digital detectors and advanced software
- Electromagnetic methods 電磁檢測技術
 - Insulated pipes
 - Large diameter pipes

中國核能電廠服務公司(State Nuclear Power Plant Service Company)的 Mr. Zheng Hui，以” Practices on the Management of Nuclear Power Plants Secondary Piping Wall-Thinning in China”為題，說明中國大陸電廠現行 FAC 檢測作業。據私下與鄭先生進一步討論，他表示目前大陸 FAC 的檢測規劃，並不是依據 FAC 的商用評估軟體進行檢測點的安排，而是透過經驗回饋的方式，進行管路 FAC 檢測作業的規劃；但為求全面性與保守性起見，每次大修需檢測的管路數量都相當的龐大數量，因此 FAC 檢測作業為現行中國電廠大修的一個關鍵路徑。

此外，其他幾篇檢測技術的論著，也都有相當的應用價值，可提供開發非破壞檢測技術者作為參考。

4. FAC 影響參數研究與評估

管路薄化受 FAC 與 LDI 沖蝕的老化機制作用，其影響參數包含局部與整體的幾何形狀、流體的流束與質傳(mass transfer)、材料的性質(含鉻量)、氫氧化鐵的擴散、水化學等。本次計有以下 15 篇以上的論文，在討論各種參數的影響：

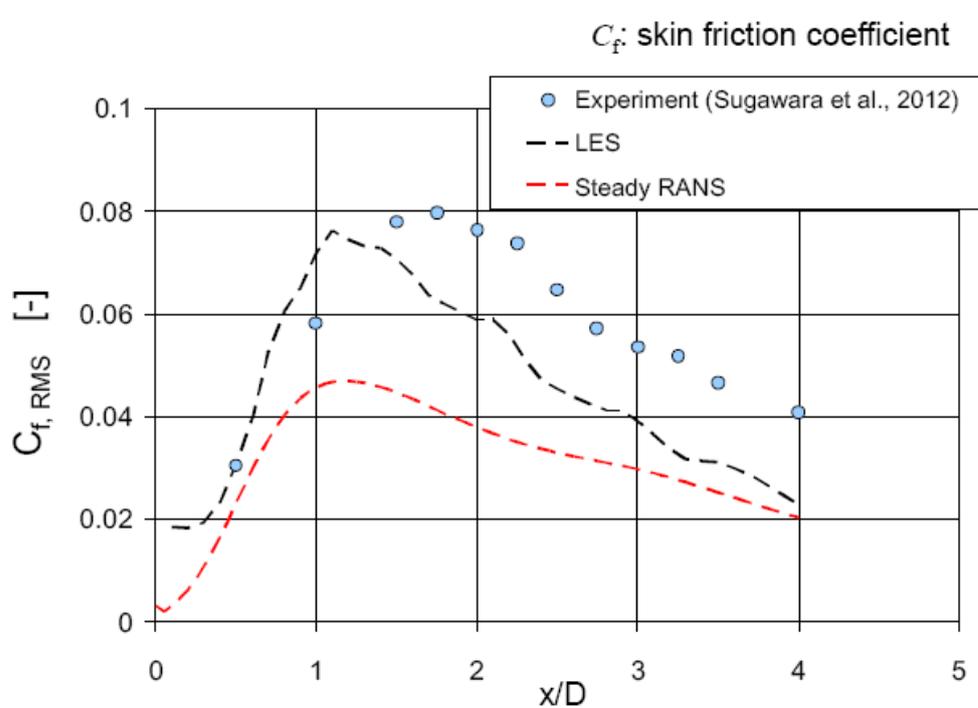
單位,國家	作者	篇名
University of New Brunswick, CANADA	Noel Kippers	Modelling FAC under conditions of accentuated turbulence in feedwater
Institute of Nuclear Safety System, Inc., JAPAN	Koichi Kamahori	Flow Accelerated Corrosion Downstream from an Orifice (1. Measurement of Corrosion Rate)
Institute of Nuclear Safety System, Inc., JAPAN	Yoichi Utanohara	Flow Accelerated Corrosion Downstream from an Orifice (2. Evaluation by Numerical Simulation)
AECL, CANADA	Sun Lan	Numerical Analysis of FAC Entrance Effect in Feeders

單位,國家	作者	篇名
BARCF, INDIA	Madasamy Periyasamy	Influence of geometrical factors on Flow Accelerated Corrosion -A study under neutral pH conditions
Nagoya University, JAPAN	Tanaka Teppei	Flow Accelerated Corrosion and mass transfer rate in turbulence
Institute of Applied Energy, JAPAN	Uchida Shunsuke	Determination of High Risk Zones for local Wall Thinning due to Flow Accelerated corrosion
McMaster University, CANADA	Ching Chan	Mass Transfer in Back to Back Bends Arranged in an Out of Plane Configuration
Bhabha Atomic Research Centre, INDIA	Dubey Vivekanand	Establishing solubility limit of magnetite – synthesis of magnetite powder and effect of cold work on magnetite formation
Korea Atomic Energy Research Institute, KOREA	Kim Hong Pyo	Effect of dissolved oxygen on FAC of low carbon steel
Swan, SWITZERLAND	Marco Lendi	pH calculation by differential conductivity measurement in mixtures
Ponticelli Freres, FRANCE	Thomas Spiess	Ponticelli feedback in the welding maintenance of nuclear power plant piping submitted to flow accelerated corrosion
Tetra Engineering, FRANCE	James Malloy	Evaluating Contributions of Flow-Accelerated Corrosion and Liquid Droplet Impingement to Pipe Thinning in HRSG Evaporator Tubes
CRIEPI, JAPAN	Morita Ryo	Development of Evaluation System for Liquid Droplet Impingement Erosion
AREVA,	Andre Zander	Calculation of the Iron Ingress into Steam Generators

單位,國家	作者	篇名
GERMANY		with the Software Program COMSY

其中，印象深刻的論文包含，(1)加拿大 AECL 研究所 Dr. Sun Lan 以” Numerical Analysis of FAC Entrance Effect in Feeders”為主題，探討流速與材料性質對 FAC 的影響。當流體通過管路局部位置，因流速變化及材質的影響，可能出現 Entrance Effect。孫博士以數值分析方式，模擬 feeder pipe, weld zone and hub 的 0.02, 0.07 and 0.13 wt% 不同含鉻量管材，受 Entrance Effect 的影響。經評估顯示，對應 FAC 速率為 108, 86 and 53 $\mu\text{m}/\text{EFPY}$ 。尤其是當上游管材為高含鉻量而下游管材為低含鉻量時，Entrance Effect 較為明顯。

另外，日本關西電力下屬核能安全系統研究所(INSS)，Mr. Koichi Kamahori & Mr. Yoichi Utanohara 以”Flow Accelerated Corrosion Downstream from an Orifice”為主題，分別以實驗及數值模擬方式，進行限流器下游流速的實驗量測系統，並進行流速與腐蝕率量測與數值模擬。為評估局部流速對 FAC 的影響，限流器流場是以數值模擬並與實驗量測數據比較；而管路薄化速率則是與管壁剪應力進行比較。



(摘自 INSS 簡報資料)

綜合本篇研究結果得知：1. 在限流器下游 4D 的範圍內，表面摩擦力還會受到影響。2. 限流器下游管路薄化的速率，會隨管徑平均流速增大而增加。3. 限流器下游管路最大的薄化速率，隨限流器開口率(aperture ratio) β 增加而降低。

另外，日本另一篇 Applied Energy 研究所 Uchida Shunsuke 先生發表”Determination of High Risk Zones for local Wall Thinning due to Flow Accelerated corrosion”的論文。則檢討冷凝水及飼水管路的流沖加速腐蝕（FAC），對維持核電廠、火力電廠老化的可靠度仍然是一個關鍵問題。早期對主要管路系統的 FAC 檢測和預測，及適合的對抗 FAC 策略，如水化學的改善，對預防核能電廠因老化而造成管路破裂是必要的是必要的，有兩種 FAC 影響區的檢測方法可以進一步的幫助管路薄化的評估，一種是基於檢查的檢測，另一種是基於預測的檢測。

數以千計的可能會發生 FAC 的區域，會導致電廠長期且昂貴的檢查程序。為了縮小檢查區域，合適的 FAC 預測或估計程序是必要的。同時，預測 FAC 發生區域的計算程序可以配合大量的檢查數據而作調節。一些評估和檢驗程序對預防 FAC 發生及擴散預估的效率及可靠度有所幫助。一個採用三維 CFD 程式的 6 個步驟評估程序已經開發完成，用以評估局部性因 FAC 的管路薄化。

在日本的論文研究中，一向以理論與實驗並重。前次亞洲核能組件完整性 (ASINCO) 研討會上，日方執行長 Dr. Miura 就私下詢問，台灣論文為何不見實驗比較。當時是以實驗需要大量的成本與時間，通常是透過國際合作來執行；但日方代表則表示，日本核能亦屬環境艱難，但對於科研的投入還是非常重視，尤其需要實驗比較的部份，通常不會僅看到數值模擬，更會重視實驗經費支援，以進行必要的比對。在本次會議中，日本就提出了兩組實驗與模擬同時進行的研究。

5. 其他 FAC 相關研究：

其他的 FAC 相關論著共有 12 篇，主要探討 FAC 的經驗回饋與防治應用。

單位,國家	作者	篇名
CSI Technologies,	Robert Aleksick	Data Mining: Use of Advanced Information

單位,國家	作者	篇名
USA		Technologies for Optimal FAC Program Data Management
Structural Integrity, USA	Barry Dooley	Fossil and Combined Cycle/HSRG FAC Experience and Controls
CSI Technologies, USA	Daniel Poe	Extending FAC Component Life Through Advanced Analysis Methodologies: A Case Study
Altran, USA	Aaron Kelley	Implementation of a Highly Effective Program in Detecting and Mitigating Flow Accelerated Corrosion
VNIIAES, RUSSIA	V.I. Baranenko	FAC of pipelines' straight sections at NPP with WWER and RBMK
EDF DPN, FRANCE	Lionel Dejoux	FAC free by design
Slovak Electricity, SLOVAKIA	Kalmancai Frantisek	AMP of Secondary Pipelines – Erosion Corrosion in Slovakia NPPs
Institute of Metal Research, CHINA	Zheng Yugui	Failure analysis of the valves in a nuclear power plant by experimental and numerical methods
SNERDI, CHINA	Liu Xiaoqiang	Application of CHECWORX in Material Design and Water Chemistry Control of NPP Secondary Pipings
AREVA, FRANCE	Dominic Schiefner	The NPP Forsmark Program for the Prevention of Piping Degradation due to Flow-Accelerated Corrosion Phenomena
LLC SPE “DIAPROK”, RUSSIA	Alexey Arzhaev	Up-to-date technologies of component technical condition inspection and diagnostics during NPP unit construction and commissioning
VNIIAES, RUSSIA	V.I. Baranenko	Features of the Flow accelerated corrosion at nuclear power plants with WWER and RBMK

如美國 CSI Technology, Mr. Robert Aleksick 以” Data Mining: Use of Advanced Information Technologies for Optimal FAC Program Data Management”為主題, 討論已先

進的資訊技術，開發與管理 FAC 資料庫；以及 Daniel Poe 以”Extending FAC Component Life Through Advanced Analysis Methodologies: A Case Study”為主題，探討透過精確的評估，以進行薄化管路使用壽命的管理，增加含 FAC 效應組件的使用期限。

美國結構完整性(SIA) 公司，以” Fossil and Combined Cycle/HSRG FAC Experience and Control”為題，回饋火力電廠及複循環的電廠在 FAC 的劣化經驗與管理。

另外，法國 EDF 的 Mr. Lionel Dejoux，以”FAC free by design”及中國大陸 SNERDI, Liu Xiaoqiang (劉博士)以”Application of CHECWORKS in Material Design and Water Chemistry Control of NPP Secondary Pipings”都是利用 FAC 評估技術應用到 Flamanville 3 EPR&APWR 等新式電廠的設計與改善作業，避免未來再發生電廠管路的 FAC 問題。

就徹底解決 FAC 而言，在建造新核電廠時即考慮所有避免 FAC 的設計是最佳的時機。EDF 正將此概念應用於正在法國諾曼第建造的新電廠 Flamanville 3 EPR。在設計階段，EDF 便決定使 EPR 電廠顯著的減緩管路薄化所產生的威脅，其改進的設計主要來自兩方面，即組件材料及水化學。

對管路和壓力槽材料而言，目前已知容易發生薄化的原因與材料中的最低鉻含量有關。這些容易發生薄化的管路和設備之位置，已經由 FAC 計算軟體；EDF 的 BRT-CICEROTM 計算出來，且考慮 EDF 旗下的所有電廠與薄化相關的運轉經驗及國際上所有劣化經驗的回饋。為盡量減少 FCAC 發生的可能性，二次側水的水化學也作了最佳化。Flamanville 3 EPR 最接近”無 FAC”設計理念的核電廠，這將有助於電廠的安全、維護成本、效率和避免蒸汽產生器堵塞。



上圖為 2013 FAC 會議與中國及加拿大演講者合照

6. 研討會參展廠商介紹：

(1) . SWAN SYSTEME AG



SWAN SYSTEME AG 提供世界各地電廠的工程顧問和蒸汽/水循環系統之的採樣與分析。電源週期的化學性質的目的，是為了防止腐蝕，以避免不必要的動力循環中的存款。這將減少停機時間，並保護昂貴的部件，如鍋爐，汽輪機和冷凝器。

SWAN 公司提供之水質檢測儀器具有下列功能及特性：

在動力系統上的線上監測(On-Line Instruments in Power Cycles)：

電廠內有相當多的動力循環系統，基本的如飼水處理系統、蒸汽產生及冷凝系統，為了得到更高的運轉效率及更低的成本，在這些系統都有相當複雜的設計。無論水、蒸氣或冷凝水的品質如何，線上監測是不可或缺的，品質都需要持續改進，線上監測的分析參數則依據動力系統的設計、建造材料及化學處理而有所不同。

量測導電率(Conductivity)：

導電率是目前動力系統監測中最重要參數，量測的參數分為”特定”(或稱直接、總)導電率，及在作強酸性離子交換之後的”酸”(或稱陽離子)導電率。

量測 pH 值(pH-Value)：

保持良好水質的工作包括保持水中一定的 pH 值，然而，在低離子濃度的水中(如冷凝水及補水)量測 pH 值並不容易，需要仔細評估。

量測氧化還原電位(ORP (Redox Potential)：

雖然在動力系統中氧化-還原電位的測量相對較新，但此數據可以做為腐蝕風險評估及聯氨控制的參考。

從導電度差異計算 pH 值(Calculation of pH from Differential Conductivity)：

以導電度差異計算量測樣品 pH 值的方法已經有十幾年了，此方法相當的簡單、可靠、且容易維護。此技術並沒有得到普遍的應用是因為缺乏足夠的量測儀器。

量測溶氧量(Dissolved Oxygen)：

不同系統內的水，有不同的水中溶氧量的要求，除了少數例外，大部分的系統都需要極低的水中含氧量，但也只有極少數的儀器，真的可以量測到約 1 ppb 的微量氧。

量測鈉含量(Sodium)：

透過鈉含量檢測可以非常快、有選擇性及非常敏感的檢測出雜質，鈉是水的除礦程序中的第一道陽離子。

量測二氧化矽含量(Silica)：

二氧化矽是蒸汽樣本檢測中最重要的參數，也是檢測水經過混床過濾器後的不純度的重要參數，理論上二氧化矽是水的除礦程序中的第一道陰離子。

量測磷酸鹽含量(Phosphate)：

若應用磷酸鹽溶液於鍋爐水時強烈建議安裝線上監測系統。

量測游離餘氯含量(Free Residual Chlorine)：

在防止冷卻水結垢的方法中，加入氯氣是最廉價的方法，但氯氣與水混和時，將產生次氯酸分子(HOCl)，在 pH 值高於 7 時，次氯酸便開始解離為 H⁺和 OCl⁻，這時候的效果便開始變差，已有其他消毒方法被證明更適合於鹼性循環冷卻水。

具有游離氯和氯胺光度計(Photometer for Free Chlorine and Monochloramine)：

冷卻水的水化學有時相當複雜，且其混和物並不常是在已知的情況下，在多數的情況下不能確定使用的消毒劑是氯氣或次氯酸鈉(NaOCl)，比較安全的方法是用比色分析儀確認。這在添加腐蝕抑制劑及/或冷卻水的 pH 值在 8.5 以上的情況下一樣適用。

具有電氣連接(Electrical Connections)：

取樣和檢測系統必須整合為一個子系統放入電廠的複雜控制和儀表設計內，且需要精確的文件內容以避免在安裝及調整期間出現問題。儀器架供應商通常提供完整的線路盤及終端設施於一整個儀器櫃內。

自動品質保證(Automated Quality Assurance)：

類比信號提供的過程數據沒有任何驗證，所以洩漏冷卻水導電率量測結果似乎沒有任何的問題，如果沒有任何的樣本沒有人會發現事實上並未查察儀器數據，某些運轉人員會每日數次的檢查儀器上的樣本，現場總線系統可以傳送來自儀器設備上記憶體的水質量測結果，SWAN 的儀器皆經過重新設計以達成自動水質管制的目的，所有的儀器皆能夠提供廣泛的數據。收集到 PLC 的過程及水質訊息皆能夠顯示在螢幕上。

(2). Olympus handheld XRF :



DELTA Professional 手持元素偵測儀提供卓越的性能、速度、LODs 和元素範圍。儀器裝置於一個工業級的堅固機身中，可耐受苛刻的環境，達到儀器耐久性和分析性能的最佳平衡，且價格更低。此偵測儀結合了最先進的創新及強韌的設計，快速的非破壞性元素分析，從 Mg 元素到 U 元素，從 ppm 等級濃度到 100%純度都可偵測，在現場使用可得到立即的效果，幫助決定下一個行動。

(3). Thermo Scientific Niton® XRF 合金分析儀



與市面上的產品相較，Thermo Scientific 幾何優化大面積漂移探測器(GOLDD™)、Niton XL3t 系列、Niton XL2 系列 XRF 合金分析儀具有相當的開創性，可以提供更快、更準確的金屬測試結果。當涉及到金屬分析/合金分析時，可以使用此便攜式 XRF 合金分析儀以及其他可選功能和配件作如下的應用：

快速，可靠的合金技術分析：

- 不需要氦氣或真空清潔即可作輕元素檢測(鎂，鋁，矽，磷，硫)
- 提高整體靈敏度
- 縮短測量時間

廢金屬回收及分類

- 更少的檢測限制及更快的分析，以較少的時間完成分類
- 增強對雜質及微量元素的檢測
- 對性能較好的輕元素如鋁，鈦，銅合金的偵測及排序
- 提供獨立及區域性回收商的價值 - 與世界 95%的金屬回收商使用相同的技術。

以 XRF 達到品質控制及保證

- 快速且積極的等級鑑定完成對合金的品質控制
- 減少廢料和重複工作 - 在幾秒鐘內回復原本的可追溯性
- 有即時、隨時、可追溯的結果 - 而不是依靠可受質疑的文件

流沖加速腐蝕(FAC)

- 對碳鋼中的鉻，銅，鎳，鉬含量有更低的檢出限制
- 完全不會損傷樣品
- 更輕鬆的完成報告及導出數據

貴金屬及珠寶分析

- 同時分析所有貴金屬
- 可以在五秒之內顯示黃金的純度(Karat)
- 完全不會損傷，不須酸性物質
- 較比火法精度更高、更快、更全面

(4). Zetec Phased Array Tube 壓力邊界管路焊道檢測



Zetec 的 PAT (Phased Array Tube) 掃描儀一具機動掃描儀，可在狹小的空間中快速以全自動相位陣列檢測方式，檢測小口徑水平或垂直管路，此掃描儀可以加裝兩個探頭（如焊縫檢測），或一個大的探測器（如腐蝕測繪），且兼容所有的 ZETEC 相位陣列系統。

典型的鍋爐管路系統中有大量的焊接接合處，因此必須有快速且可靠的焊接缺陷的檢測工具，放射照相術 (RT) 經常被應用於此類的檢測，但做這種檢測有一些缺點，如需要在打開射線時淨空區域內的工作人員，及等待底片顯影的時間。

ZETEC 的自動檢測技術是採用相位陣列超音波的檢測技術，這項技術可以代替 RT 檢測。此系統可用於檢查和量測壓力邊界管路焊道因製造或運轉而產生的缺陷，可以量測的管徑(NPS)範圍從 1.5 英吋到 3 英吋，壁厚從 0.24 英寸到 0.4 英寸。這種高速的檢測系統可以在不到 1 分鐘內完成管路、焊道及其熱影響區之全厚度的檢測。

在初步 ZETEC 公司工程師洽談過程中，了解其設備可以執行 1” ~4” 管路的超音波檢測，並經過 PD 認證；這部份正好可以協助解決，目前執照更新評估需執行核能一級小尺寸管路 UT 檢測老化管理方案的需求；這部份將轉給執照更新計畫之老化管理評估方案負責人參考。

(5). LAINSA Tirant 3



在墨西哥 Laguna Verde 電廠（BWR）的一項高壓汽輪機 MSR（Cross Under）蒸汽管路的硬化工作中，墨西哥聯邦電力委員會要求使用機器人執行此項的任務，以避免工作人員因於蒸氣管路中工作而接受過高的劑量，對這工作有所回應的只有 TIRANT 3[®]。

由於機器人系統從管外控制，大大的改善了人工進行硬化處理的工作：

- 此系統可使工作人員減少接受劑量。
- 在一個較為開闊的空間工作，較為舒適並減少了工安問題。
- 提供一個更均勻地塗層，更有效的抵抗 Erosion -corrosion。
- 更有效的硬化工作成果，具有更好的性能。
- 不需要休息，能在更短的時間完成工作。

使用 TIRANT 3[®]執行金屬硬化工作的優點有

A - 改善工作條件：

- 工作人員只需要在做機器人定位及佈線的時候需要在管路內。
- 設備只會在維修的時候無法使用。

B - 增加塗層的均勻性：

- 適用於固定距離的塗佈工作。
- 塗料噴塗的穩定度更為良好。
- 增加塗層的抗蝕能力。

C - 其他可能的應用面

- 減少等待塗料成型的時間。
- 減少因技術能力而停工的成本。
- 增加塗層的抗蝕能力。
- 於放射性區域使用。
- 直徑較小的鋼管。

TIRANT 3®機器人是世界級的創新系統，可從外部進行遠端控制，減少改變線路、移動位置等人為因素的影響，透過減少休息時間和不需要工作人員換位的特性，工作在程序效率方面將明顯提高。TIRANT 3®機器人僅在維護時需要停工，及其施工時明顯增加的塗層均勻性，使此機器人系統成為此類工作最佳的解決方案。

此項設備可透過機器人進入大型管路內部，進行管路內表面的塗層加工作業，以改善管路內表面的狀態與材質，對不易更換與大型管路防治 FAC 問題上，提供直接的協助。

另外，該公司看版也宣稱該設備可執行除役相關作業；因此，職等亦有詢問該公司相關的除役經驗。

(二) 拜訪駐法代表處科技組

5月28日 在駐 OECD/NEA 代表侯秘書榮輝的安排與陪同下，拜訪法代表處科技組，受到科技組吳組長文桂與與張秘書桐恩的代表接待。吳組長原為國內清華大學的教授，並於卸任院長職務後，接受外交部的徵召，赴法出任科技組組長，以推動台法雙邊的科技交流。

吳組長首先介紹駐法代表處所促成的台法雙邊科技合作計畫，本項計畫台法雙邊科技負責部門，都投入相當多的資源；建議 本所以及國內科研界可以多加利用，以增進台法雙邊的科技合作與交流。此外，吳組長也介紹代表處及科技組積極參與法國政府與民間社團活動的各項作為，以及平時聯繫與接待來自國內各科研領域專家的一些作業。

職等則主要說明目前原能會參與 OECD/NEA-CODAP 計畫的經過與目前執行的狀況，並說明 CODAP 計畫的目標，旨在建立核電廠組件的老化與劣化資料庫。此外，也順道說明本次參加職等本次參加法國電力公司主辦的 2013 FAC 年會經過。吳組長對此兩個議題也相當有興趣，並對電廠延役問題提出一些顧慮；因此，職等也藉此機會說明目前全球核電廠在組件老化管理與延長電廠使用期限所做的努力；包含美國 10CFR54 的延役法規以及各項後續的評估作業參考 (NUREG-1801) 與 審查 (NUREG-1800) 等要求；IAEA 則對電廠老化管理要求遵循 NS-G-2.12 “Safety Standards-Ageing Management for Nuclear Power Plants”，並對電廠長期使用要求依據 SVS-017 “Guidelines for Peer Review of Long Term Operation and Ageing Management of Nuclear Power Plants” 執行同行審查。此外，也說明 IAEA 於 2013 FAC 研討會上說明，以美國核管會的 GALL (Generic aging lesson learned) 報告為藍本的 IGALL 計畫，經三年的努力，將於 2013 年九月召開最後一次的執委會後，不久就會發佈以系統性的組件列表、曾有的劣化紀錄、劣化形式、老化管理計畫所建立的成果報告。

吳組長並很熱忱的安排午宴招待職等，在用餐過程中也交流職等本次出差與吳組長駐外工作的收穫與甘苦。吳組長提到，剛好近期代表需參加由法國外交部主辦的會議，但由於會議地點的交通較不方便，且國內結報規定又無法以租車方式前往；所以，代表必須搭吳組長的便車出席會議。雖然職等也了解目前政府經費有限且為了防弊，

在各項作業上都提出相當多的限制，以避免公務員誤觸法網；局部性的限制與管理但缺少全面性檢討，很多地方並不符合實際作業內容，例如 總統訪問哈佛時，因哈佛地址為劍橋，依據政府規定哈佛就並不能屬於波士頓，但實際上並不然；且公務出國即代表國家，各項局部性的檢討與限制，不但讓公務更難執行，且也會讓駐外人員與出國人員感受不受尊重。

在吳組長的親切接待與輕鬆愉快交談過程中，結束本次拜會活動。在離開法國前，也應吳組長與侯秘書的要求，於 6/1 先將本次參加 2013 FAC 會議與 CODAP 計畫的摘要內容，提供給兩位參考。

(三) 拜訪 OECD/NEA

5月29日 早上九點在駐 OECD/NEA 侯秘書的安排與陪同下，拜訪 OECD/NEA 專家 Ivan REHAK 博士；在雙方見面與寒暄後，陳員先說明台灣核電廠目前的處境，兩年前還參考國內與美國相關延役要求，執行核一廠延役評估與申照作業；但因日本福島事故的發生及國內反應器除役法令要求，目前已必須開始規劃核一廠的除役工作。帶出本次拜訪的目的，主要想了解歐盟各國核電廠目前的除役規劃及除役工作所採取的方式，特別是英國目前的除役現況。

Ivan REHAK 博士來自斯洛伐克，曾在英國工作一段時間，目前任職於放射性廢棄物管理委員會(Radioactive Waste Management Committee, RWMC) WPDD 工作小組的負責人，也是侯秘書在 OECD/NEA 部門同事。

Ivan REHAK 博士非常的熱忱，他先簡單介紹自己的學、經歷；並說明 OECD/NEA 在放射性廢棄物管理委員會的組織與計畫狀況。委員會的目標與三個工作小組的工作內容，最後再說明他所了解的歐盟與英國電廠除役現況。

核能署(NEA)的放射性廢棄物管理委員會(RWMC)成立於 1975 年，是一個國際委員會；由核能署會員國的管制部門，放射性廢棄物管理和除役機構，政策制定機構，研究和開發機構的高級代表組成。國際原子能總署(IAEA)也參與 RWMC 的工作、歐盟(EC)也是委員會成員。RWMC 透過如國際放射防護委員會(ICRP)委員會等方式，與各會員國高階諮詢機構，各國政府和跨國機構保持緊密聯繫。

RWMC 的目的是支援核設施材料的管理，包括設施除役和廢棄物的長期管理的國際合作，以執行委員會的工作方案：

- 促進最佳知識與緊急事件的共享和廣泛瞭解，
- 尊重社會的要求，制定有利的廢物管理策略，
- 有助於提供國家管制架構的共同標準，
- 使放射性廢棄物和材料，採行先進科學和技術知識的管理，例如，透過合作計畫和專家會議，

- 有利於知識的鞏固和轉移，例如，通過技術報告、共識聲明和宣傳文件的發行，以及
- 有利於最佳實務的推動，例如，透過支援國際間的同行審查。

核能署旨在幫助他的會員國開發在管理所有類型的放射性物質的安全、持續性和社會接受的策略，特別是長期性廢物和用過燃料的管理和停用核設施的除役。RWMC 由以下三個工作小組協助管理此領域大部分的工作方案：

- 利益攸關者信心指數論壇(Forum on Stakeholder Confidence, FSC)
- 安全案例的整合團隊(Integration Group for the Safety Case, IGSC)，
- 工作小組除役及拆除的材料管理(Working Party on Management of Materials from Decommissioning and Dismantling, WPDD)

OECD/NEA 組織在除役的主要目標，在於擬定除役相關的政策規劃；因應各國所採取的除役方式並不相同，在 OECD/NEA 計畫執行會員國的專家會議，並發布擬定的除役政策，供所有會員國遵循，並提供其他單位或國家參考。但基本上，OECD/NEA 放射性廢棄物管理委員會並不涉及實際的除役技術相關細節。

利益攸關者信心指數論壇(Forum on Stakeholder Confidence, FSC)，是為有利於解決放射性廢棄物管理的經驗交流與社會尺度。受限於固定的架構，廢棄物管理機構和民間社團的溝通，通常無法長期執行。FSC 透過全國性、區域性或地區性層級對決策進行更廣泛及繁複的互動。檢討與確保有效地與公眾對話的方式，以期加強在決策過程中的信心，以形成更廣泛且實際的看法。

由於放射性物質在工業、醫療、國防和科研的應用，廢棄物也會產生於核燃料循環的各個階段。世界各地也正在檢討地質構造適當的位置，開發長期貯置放射性廢棄物的處置設施或貯存庫，以提供解決方案。在社會確認深層地殼貯放，可以保護現在和未來的人類和環境下，這樣的貯放，以及支持各階段的貯放倉庫的評估決策，才能評估為安全案例(Safety Case)。其所提出了相關的證據和方法，提供科學品質和制定過程的信心，以及所需的分析結果。

安全案例整合團隊 (IGSC) 就是為促進整合安全案例的各項安全特徵，在 NEA 放射性廢物管理委員會的確認下於 2000 年成立。IGSC 是放射性廢物管理委員會的在檢討長期、以及高階放射性廢棄物貯放的主要技術諮詢機構。

在核能署內，RWMC 的除役和拆除工作小組(Working Party on Decommissioning and Dismantling, WPDD)，著力於提供了除役政策、策略與管制的分析，並由管制觀點及除役經費評估上，檢討材料管理，以及建築物 and 場址的釋出。

WPDD 會員國包含比利時，加拿大，捷克共和國、芬蘭、法國、德國、匈牙利、意大利、日本、韓國、荷蘭、挪威、波蘭、羅馬尼亞、俄羅斯、斯洛伐克共和國、西班牙、瑞典、英國和美國等 21 個歐洲經濟合作與發展組織的會員和觀察員國家的資深除役專家，以及其他國際組織，如歐盟委員會和國際原子能總署(IAEA)。成員則包括政策專家，核能管制人員、研究人員和廢物管理方面的專家。是一個致力於除役經費資訊和經驗交流(Decommissioning Cost Estimation Group, DCEG)的專業團體。

WPDD 追蹤全球除役的發展，並對緊急事件發表研究報告或立場文件。其目標是透過決策者、從業人員、管制人員、研究人員和國際組織之間對傳閱其報告的對話，找出除役評估的最佳實務。Ivan REHAK 博士，也提供近期發表的一份電廠除役經費評估報告(電子檔)，供職進行除役評估的參考。

核設施除役合作計畫(Cooperative Program on Decommissioning, CPD)為 OECD/NEA 下相當特殊的計畫，是以除役計畫為單位參加，參與單位包括美國 DOE 所屬研究設施、法國 CEA 所屬核能設施…等；每年開會兩次，討論除役的發展現況與相對應的除役工法，進行技術的交流與經驗的回饋；由於這個計畫來源單位不是以政府部門為基準，所以參與單位須簽保密合約，且相關資料並不分享給非 CPD 計畫的 OECD 會員國。陳員也詢問 Ivan 為何德國 EWN 電廠的除役，為何由先前的加入 CPD 計畫轉變為退出？Ivan REHAK 答覆說明，正式因為 CPD 計畫是以除役機構為單位參加，進行除役經驗與技術的分享；但除役單位是否可以參與 CPD 計畫，還是需受到國家的管制；所以，德國 EWN 電廠最終無法加入 CPD 計畫。

英國到 2013 年為止，已有 10 座 Magnox 的核電廠進入停止運轉狀態，並開始進行除役的規劃；英國因應核電廠的除役作業的需要，於 2004 年 4 月 1 日成立核能除退役管理局(Nuclear Decommissioning Authority, NDA)以全權管理除役作業；據 Ivan REHAK 了解，英國現有核電廠的除役作業，是由 NDA、BNFL、電廠、與承包商四者組合，但實際作業內容，並非其關切的主題，故未進行深入討論。但 Ivan REHAK 隨後寄來一份 2004-12-E-NDA “The UK Nuclear Decommissioning Authority” 報告，其中顯示 2004 年 12 月 1 日歐盟委員會宣布，將調查英國除退役管理局（NDA），確定其是否破壞歐盟的法律，提供非法援助 BNFL。NDA 將承受英國核燃料有限公司(British Nuclear Fuels Limited, BNFL)和英國原子能管制機關(United Kingdom Atomic Energy Authority, UKAEA)，此將免除承擔這些債務的責任。

Ivan REHAK 在介紹歐盟國家的除役工作時，特別提到德國的除役現況。德國的除役工作，雖然大部分仍處於規劃，但仍有數個電廠已進行除役作業。特別是目前尚無法理想除役作業的組件或設備，德國目前採用的是以暫時保存的方式處理，這有些像美國除役方案中的(SAFSTOR)。此外，也說明瑞典之前已著手開始進行數座 BWR 電廠除役的規劃，建議陳員可以參考與追蹤瑞典的除役作業。



上圖中為 OECD/NEA 放射性廢物管理委員會 WPDD 負責人 Ivan REHAK。

(四) 第五次 CODAP 會議過程

會議開始

1. CODAP 計畫主席 Dr. Jovica Riznic 開始會議並歡迎各成員國。
2. 主席說明已經收到瑞典與捷克無法出席的通知，其他成員國之出席人員如下附件二。

通過議程

3. 主席說明已將初步的會議議程發出，並已詢問各成員國是否有需要新增的議題，通過議程如附件三。

第四次會議會議紀錄核可

4. 主席說明第四次會議紀錄已在第四次會議後分送給各成員國，並已詢問各成員國是否有意見。此會議記錄已在各國無意見的情況下通過。

計劃管理議題討論

5. NEA 秘書處簡報主要的計劃管理現況及計畫財務現況，及列出了目前參與本計畫的各成員國，並告知各成員國代表，本計畫新加入的成員國瑞典其代表為 Jan Linder 先生，但此次會議 Jan Linder 先生無法出席。
6. NEA 秘書處說明計畫財務狀況，在 2013 年 9 月成員國同意過後將會發出第三次繳費通知，目前除法國之外各成員國已經完成第二次繳費，目前計畫剩餘款項為 156,498.19 歐元
7. NEA 秘書處簡介目前已有密碼保護之 CODAP 網頁 (<http://www.oecd-nea.org/download/codap/>) 並請各成員國提供回應及建議以促進 CODAP 資料庫的進步。
8. 最後，NEA 秘書處檢討了上一次會議的追蹤事項，討論各事項的辦理情形：
 - (1) 成員國需盡快同意目前資料庫中未同意的紀錄，各成員國同意提送進 CODAP 資料庫的資料需在各成員國的同意後標註為”已批准”。

結論：已在進行中，各成員國並說明其在審查未同意紀錄之工作情況，並同意委託廠商檢視這些紀錄是否精確，特別是這些經由 OPDE 及 SCAP SCC 資料庫匯入且登記為”已批准”的資料。

- (2) 請成員國提出在 2004 年到 2013 年 3 月 31 日之間有關 FAC 的事件資料，2004 年之前的 FAC 事件資料也可以提出，但須具有代表性。

結論：進行中

- (3) 西班牙代表將會在下次會議中簡報一份有關蒸汽產生器內管失效之提案，供各成員國討論。

結論：已完成，各成員國同意此類事件不在此資料庫的範圍內，可以將此類事件之資訊蒐集並放入知識庫中。

- (4) 請各成員國確認 OPDE 及 SCAP SCC 資料庫中是否有可以轉入知識庫的內容，這些資料同時也應該在 CODAP 資料庫網站中公布，知識庫負責人將會和各參與國一起確認這些資料的真實性。

結論：進行中。

- (5) 請各會員國確認曾在 OPDE 及 CODAP 會議中簡報的資料是否已經放進 CODAP 資料庫中，這些簡報，包含對此計畫工作範圍討論之簡報，將會放入知識庫中。

結論：進行中，知識庫負責人已經作了確認，並將發出 email 給各成員國再次確認這些簡報內容可以放入知識庫中。

- (6) 在 2013 年 4 月 15 日前請各成員國需提供知識庫有關 FAC 的資料如背景資訊、管制要求、法規、檢測、監測、檢定、減緩、修復、替換等。

結論：已完成。

- (7) 委託廠商將在 2013 年 2 月 28 日前轉移所有 OPDE 及 SCAP SCC 補充訊息 (附件) 進 CODAP 資料庫。

結論：已完成。

- (8) 委託廠商將製作如何下載 CODAP 資料至個別主機之教學(如選擇某些事件或整個資料庫資料下載)，及使用者自訂資料存放介面(如 MS-Access, MS-Excel)。之後 CODAP 網站將可下載教學內容及存放介面之範本，這些工作已在 2013 年 1 月 31 日前完成，教學內容已在 2013 年 1 月 15 日上傳，現在已經可以從網站上下載。

結論：已完成。

- (9) 知識庫負責人將會參考在第四次會議中所介紹的 PWSCC 模型建立 timeline。

結論：進行中。

- (10) 基於各會員國所提供的與 FAC 有關的運轉經驗資訊及回應，知識庫負責人將會編撰第一份主題報告草稿並請各成員國提供審查意見。

結論：已完成。

- (11) 委託廠商及知識庫負責人將會建議有關儀控管路失效事件及因人為因素而發生的事件作為第二份主題報告之準備方向。

結論：已完成。

- (12) NEA 將提供 OPDE 及 SCAP SCC 出版報告至 CODAP 網站。

結論：已完成。

資料庫技術討論

9. 委託廠商簡報與其相關之追蹤事項的回應，目前資料庫的情況，重要事件的討論及提供一些與主題報告有關的想法

10. 在這些簡報之後有下列值得注意的事項：

- (1) 各成員國認為需要再重新檢討工作流程，調查程序是否有可能再簡化，以方便電廠人員上傳。
- (2) KINS 告知委託廠商有關更改韓國核能電廠廠名事宜。
- (3) 委託廠商將會在季報中加入新事件清單及其簡要的描述。
- (4) 對 CODAP 資料庫中的每一個事件，各成員國同意增加一個標題名稱以幫助了解此事件的內容及增進資料庫搜尋。
- (5) 委託廠商將會製作一份 CODAP 應用手冊指導如何使用資料庫資訊。
- (6) 成員國同意再檢視資料庫並確定這些欄位與事件本身及其成因是否相關。線上資料庫中，目前後半部的分類欄位有相當多都是空白，各成員國也在這方面的討論中決定需要讓資料輸入的流程更為順暢。各成國也同意將目前都沒有輸入資料且用不到的欄位移除，委託廠商將會決定要移除那些欄位以簡化資料庫，簡化後的結果將會在下次會議中說明。

資料庫討論

11. 知識庫負責人 Ms Karen Gott 簡報知識庫架構及如何使用知識庫，包含知識庫的登入需求及資料夾架構，並說明一般資料夾及國家資料夾定義及應用上的不同。
12. 在這些簡報之後有下列值得注意的事項：

- (1) 成員國建議知識庫負責人建立知識庫與資料庫中相同事件的連結。
- (2) 成員國同意將會使用知識庫並給予回應及改善建議。
- (3) 成員國同意將會上傳資料至對應的國家資料夾。

資料蒐集

13. 提醒各成員國此計畫一項重要的目標是蒐集事件及其相關資料，請各成員國加強在資料輸入及核可的工作上。
14. NRC 已與 INPO 達成協議輸入事件資料於 OECD ICDE 資料庫中，CODAP 會議詢問美國代表是否有可能再重新協議使 NRC 提供給 ICDE 的資料亦能為 CODAP 所用。

CODAP 主題報告

15. 委託廠商簡報目前 FAC 主題報告的處理狀況，委託廠商說明目前第七版 FAC 主題報告已經大致完成並將在近期內送各成員國審查，目前還需要加入各縮寫及術語之定義及對照表。
16. 委託廠商說明 FAC 管理策略相關資料的需要不只針對已運轉電廠，新電廠的管理方式可以供作主題報告之參考。
17. 會中同意第七版可於 2013 年 6 月中提交各成員國審查，成員國將審查這些資料並在 2013 年八月底對此報告提供建議及回應，計畫目標是將此報告送交 CSNI 在 2013 年 12 月的會議批准，故報告必須在十月中送到 CSNI/PRG 以供簽署。
18. 會中同意成員國將在下一期會議中提供一份可能成為下一本主題報告之主題清單。

CODAP 委託廠商及知識庫負責人工作及預算

19. CODAP PRG 同意付予 CODAP 委託廠商及知識庫負責人 2013 年第一期工作款項。

重要事件報告

20. 主席提醒各成員國，CODAP 會議一項重要的議程就是分享過去的運轉經驗及其資訊，主席亦鼓勵各國在每次會議中簡報電廠事件。
21. Dr. Sung-Woo Kim 簡報韓國電廠的 FAC 經驗。
22. Dr. Ulla Ehrnstén 簡報及討論 VVER 爐心支架螺栓受輻射促進腐蝕龜裂的事件。
23. Mr. Shunsuke Ogiya 簡報對 Hamaoka 五號機海水入侵事件管制單位的行動。
24. 最後 Mr. Masakuni Koyama 簡報日本有關管路薄化之近期研究進程。

其他事項

25. 委託廠商 Bengt Lydell 簡報參與 2013 年 5 月 21 至 24 日於法國亞維儂之 FAC 2013 會議心得，此會議約有 150 名出席者來自學術界、TSOs、管制單位、電廠運作人員、工業界組織 (INPO、WANO)。Bengt Lydell 簡述這些作 FAC 現象 R&D、非

破壞性檢測、執行 BRT-CISERO、COMSY 及其他 FAC 管理策略的人於這次的會議中所回饋的工作成果及運轉經驗。

26. Bengt Lydell 說明從這場研討會中發現目前各界對使用 FAC、LDI、Erosion-cavitation、Erosion-corrosion 仍沒有定見，但各界在 FAC 的研究上持續有所進展。FAC 的問題到最後是可以被消除的，但必須花費較多的預算。目前新電廠相當多的工作朝向”無 FAC”的方向進行。

計畫規劃

27. 主席列舉本次會議之決定及執行項目如下：

- (1) 在 2013 年 9 月 2 日之前請 NEA 發出第三次繳費通知給各成員國
- (2) 委託廠商將與各成員國一同確認資料庫中的事件紀錄是否精確，特別是這些經由 OPDE 及 SCAP SCC 資料庫匯入且登記為”已批准”的資料。
- (3) 知識庫負責人將會與各成員國確認在 OPDE 會議或 CODAP 前幾次會議中所作簡報內容是否可以放入知識庫。
- (4) 知識庫負責人將會參考在第四次會議中所介紹的 PWSCC 模型建立 timeline。
- (5) 委託廠商將再重新檢討工作流程，調查程序是否有可能再簡化，以方便電廠人員上傳。
- (6) 委託廠商將編寫一份 CODAP 資料庫應用手冊
- (7) 委託廠商將會對 CODAP 資料庫中的每一個事件增加一個標題名稱，以幫助了解此事件的內容及增進資料庫搜尋。
- (8) 委託廠商將會簡化/重新架構/流暢化資料輸入的格式
- (9) 委託廠商將會重新檢討及修正資料庫搜尋及統計功能之介面，如果有需要的話也會再增進這些功能
- (10) 各成員國將會造訪知識庫，檢討並提供建議給知識庫負責人以供增進知識庫，此外，各成員國將會造訪其國家資料庫並上傳有關的文件
- (11) 與會的美國代表將會詢問是否有可能再重新討論 NRC 已與 INPO 達成之協議，使 ICDE 資料庫的資料亦能為 CODAP 所用。

- (12) 各成員國將會檢討 CODAP 主題報告(FAC)第七版，此報告將會在 2013 年 6 月中發送各國審查，並在 2013 年 8 月提供建議及回應，計畫目標是將此報告送交 CSNI 在 2013 年 12 月的會議批准。

下次會議

28. 各成員國同意第六次 CODAP 會議將於 2013 年的 11 月 6-7 日於巴黎舉辦。

會議結論

29. 主席謝謝各成員國的參與及積極貢獻與支持，會議結束。



上圖中為 CODAP 計畫秘書 Dr. Alejandro，即將離職至墨西哥核管會工作。

三、心得

- (一) 法國電力公司所主辦的 2013 FAC 研討會，專題演講的內容具有相當的全面性，相當程度上可開拓參與者的視野；隨後共發表 46 論文。論文內容主要探討管路薄化的成因、機制、評估方法、檢測技術、防治方案等，均有相當的水準，對於本專長的科研人員，是一個很好學習與交流機會。
- (二) IAEA 也贊同並引用由美國核管會所主導的經驗回饋計畫(NUREG-1801 GALL)，並擴大成立國際性的交流與應用計畫(International GALL)，這與現行台電公司執行核能電廠完整性評估作業所引用的指引完全一致。
- (三) 電廠劣化發生最多組件除蒸汽產生器管束外，較常見的劣化就屬管路薄化；全球核能電廠較多的國家，都積極自行建立 FAC 評估軟體，反觀我國在此方面的動作就顯得相對保守。
- (四) 在日本的論文研究中，一向以理論與實驗並重。日本核能亦屬環境艱難，但對於科研的投入還是非常重視，尤其需要實驗比較的部份，通常不會僅看到數值模擬，更會重視實驗經費支援，以進行必要的比對。在本次會議中，日本就提出了兩組實驗與模擬同時進行的研究。
- (五) 駐法代表處積極推動台法雙邊科研交流；台法雙邊相關計畫也屢次傳會各組；但受限於各機關出國預算的編列限制，如何無需克服出國，而進行雙邊合作交流活動，是須先克服的議題。
- (六) OECD/NEA 放射性廢棄物管理部門 Ivan REHAK 博士，詳細說明歐盟國家的除役現況，也於事後提供相當多的除役參考資料，有利於未來核一廠除役規劃。
- (七) 我國參與第五屆 CODAP 計畫，在事前已有完整的工作交代與準備，故能順利參與各項會議討論，表達我國參與 CODAP 計畫的目的。同時，也與各會員國代表間，建立良好的友誼。

四、 建議事項

- (一) 建議派遣具有專業技術能力人員，持續參加本項計畫，積極參與或承接各項計畫相關的活動，對計畫工作做出積極的貢獻。
- (二) CODAP 正尋求會員國提議，擬定下一個專案報告的目標，我國亦可藉此機會，將國內希望擴大研究的老化課題帶入 CODAP 計畫。

附件一：2013 FAC 研討會議程(2013 FAC Agenda)

May 21, 2013

07h30 - 08h30// Registration

08h30 - 08h50 // Introduction of the meeting

08h50 - 09h15 // WANO Introduction Jean-Marc Willemenot - WANO

09h15 - 09h40 // IAEA Activities Related to Flow Accelerated Corrosion and Ageing
Management John Moore - IAEA

09h40 - 10h05 // FAC Programs : U.S. Plant Experience Gary Schweitzer - INPO

BREAK TIME + NDT EXPOSITION

10h35 - 11h00 // Introduction of pipe wall thinning management program in Korea
Sangkyu Park - Korea Hydro & Nuclear Power Company , SOUTH
KOREA

11h00 - 11h25 // Development of Pipe Wall Thinning Prediction Software
“FALSET” Yoneda Kimitoshi - CRIEPI, JAPAN

11h25 - 11h50 // CHECWORKS™ Version 4.0 Jeffrey Horowitz - Worley Parsons
Polestar, USA

11h50 - 12h15 // Modelling FAC under conditions of accentuated turbulence in
feedwater Noel Kippers - University of New Brunswick, CANADA

LUNCH TIME

13h45 - 14h10 // Assessment of an expertise carried out on two welds replaced
following TOFD examinations Arnaud Gendebien - Tractebel
Engineering, BELGIUM

14h10 - 14h35 // TOFD for weld root corrosion and thickness measurement Damien Delacoux - EDF DTG, FRANCE

14h35 - 15h00 // Corrosion Monitoring system using permanently installed ultrasonic sensors Claudia Laverde - GE Inspection Technologies, FRANCE

15h00 - 15h25 // Internal pipe robots from Inspector System Marcus Hitzel- Inspector System, GERMANY

BREAK TIME + NDT EXPOSITION

15h55 - 16h20 // Data Mining: Use of Advanced Information Technologies for Optimal FAC Program Data Management Robert Aleksick - CSI Technologies, USA

16h20 - 16h45 // FAC monitoring in a PWR Yoann Chouin- EDF CNPE Golfech,FRANCE, Nicolas Mellin - EDF UNIE, FRANCE

16h45 - 17h10 // FAC Damage Experienced in Power Plants Helmut Nopper - AREVA, GERMANY

17h10 - 17h35 // Implementation of the COMSY Code in a PHWR NPP- Analysis of the low pressure turbine extraction lines Ivanna Rodriguez - CNEA, ARGENTINA

May 22, 2013

08h00 - 08h25 // Flow Accelerated Corrosion Downstream from an Orifice (1. Measurement of Corrosion Rate) Koichi Kamahori -Institute of Nuclear Safety System, Inc., JAPAN

08h25 - 08h50 // Flow Accelerated Corrosion Downstream from an Orifice (2. Evaluation by Numerical Simulation) Yoichi Utanohara -Institute of Nuclear Safety System, Inc., JAPAN

08h50 - 09h15 // Numerical Study of Flow Accelerated Corrosion in Feeders Sun Lan - AECL, CANADA

09h15 - 09h40 // Influence of geometrical factors on Flow Accelerated Corrosion. A study under neutral pH conditions Madasamy Periyasamy - BARCF, INDIA

09h40 - 10h05 // Incorporation of FAC considerations in probabilistic safety assessment Lydell Bengt - Scandpower Inc., USA

BREAK TIME + NDT EXPOSITION

10h35 - 11h00 // Flow Accelerated Corrosion and mass transfer rate in turbulence Tanaka Teppei - Nagoya University, JAPAN

11h00 - 11h25 // Determination of High Risk Zones for local Wall Thinning due to Flow Accelerated corrosion Uchida Shunsuke - Institute of Applied Energy, JAPAN

11h25 - 11h50 // Use of prediction tools to solve FAC problems at Russian NPPs Grigory Tomarov - Geotherm, RUSSIA

11h50 - 12h15 // Exhibitors presentation

LUNCH TIME

13h45 - 15h30 // Exhibitor tour (~1:45)

15h30 - 15h55 // Fossil and Combined Cycle/HSRG FAC Experience and Controls Barry Dooley - Structural Integrity, USA

- 15h55 – 16h20 // Long term strategy for pipeline replacement due to FAC degradation at EDF using BRT-CICERO™ software Séverine Friol – EDF DTG, FRANCE
- 16h20 – 16h45 // Extending FAC Component Life Through Advanced Analysis Methodologies: A Case Study Daniel Poe- CSI Technologies, USA
- 16h45 – 17h10 // Implementation of a Highly Effective Program in Detecting and Mitigating Flow Accelerated Corrosion Aaron Kelley – Altran, USA
- 17h10 – 17h35 // FAC of pipelines' straight sections at NPP with WWER and RBMK V.I. Baranenko – VNIIAES, RUSSIA

May 23, 2013

- 08h00 – 08h25 // Mass Transfer in Back to Back Bends Arranged in an Out of Plane Configuration Ching Chan – McMaster University, CANADA
- 08h25 – 08h50 // Establishing solubility limit of magnetite – synthesis of magnetite powder and effect of cold work on magnetite formation Dubey Vivekanand- Bhabha Atomic Research Centre, INDIA
- 08h50 – 09h15 // Effect of dissolved oxygen on FAC of low carbon steel Kim Hong Pyo – Korea Atomic Energy Research Institute, SOUTH KOREA
- 09h15 – 09h40 // pH calculation by differential conductivity measurement in mixtures Marco Lendi – Swan, SWITZERLAND
- 09h40 – 10h05 // Ponticelli feedback in the welding maintenance of nuclear power plant piping submitted to flow accelerated corrosion Thomas Spiess – Ponticelli Freres, FRANCE

BREAK TIME + NDT EXPOSITION

10h35 - 11h00 // Evaluating Contributions of Flow-Accelerated Corrosion and Liquid Droplet Impingement to Pipe Thinning in HRSG Evaporator Tubes
James Malloy - Tetra Engineering, FRANCE

11h00 - 11h25 // Development of Evaluation System for Liquid Droplet Impingement
Erosion Morita Ryo - CRIEPI, JAPAN

11h25 - 11h50 // Calculation of the Iron Ingress into Steam Generators with the Software Program COMSY Andre Zander - AREVA, GERMANY

11h50 - 12h15 // Flamanville 3 EPR : FAC free by design Lionel Dejoux - EDF
DPN, FRANCE

LUNCH TIME

14h00 - 17h00 // Social Event ("Palais des Papes, Avignon" tour)

May 24, 2013

08h00 - 08h25 // Field Application of Electromagnetic Acoustic Resonance to Inspection of Pipe Wall Thinning in a Nuclear Power Plant Takagi
Toshiyuki- Tohoku University, JAPAN

08h25 - 08h50 // Flow Accelerated Corrosion Detected by Acoustic Emission Method in Operational Conditions of Nuclear Power Plant Martin Drab -
Czech Technical University in Prague, CZECH REPUBLIC

08h50 - 09h15 // NDT Methods Detecting/Monitoring FAC in Nordic Nuclear Power Plants Peter Merck Peter - DEKRA, SWEDEN

09h15 - 09h40 // Practices on the Management of Nuclear Power Plants Secondary Piping Wall-Thinning in China Zheng Hui - State Nuclear Power Plant Service Company, CHINA

09h40 - 10h05 // AMP of Secondary Pipelines - Erosion Corrosion in Slovakia
NPPs Kalmancai Frantisek - Slovak Electricity, SLOVAKIA

BREAK TIME + NDT EXPOSITION

10h35 - 11h00 // Failure analysis of the valves in a nuclear power plant by
experimental and numerical methods Zheng Yugui - Institute of
Metal Research, CHINA

11h00 - 11h25 // Application of CHECWORKS in Material Design and Water
Chemistry Control of NPP Secondary Pipings Liu Xiaoqiang -
SNERDI, CHINA

11h25 - 11h50 // BRT-CICERO™ development at EDF : a brief history of operating
feedback, R&D programs and software improvement Gonghao
Qiu - EDF CEIDRE, FRANCE

11h50 - 12h15 // The NPP Forsmark Program for the Prevention of Piping
Degradation due to Flow-Accelerated Corrosion Phenomena Dominic
Schiefner - AREVA, FRANCE

LUNCH TIME

13h45 - 14h10 // Up-to-date technologies of component technical condition
inspection and diagnostics during NPP unit construction and
commissioning Alexey Arzhaev - LLC SPE "DIAPROK" ,
RUSSIA

14h10 - 14h35 // New benefits of advanced non-destructive techniques for energy
industries Henri Walaszek - CETIM Senlis, FRANCE

14h35 - 15h00 // Features of the Flow accelerated corrosion at nuclear power plants
with WWER and RBMK V.I. Baranenko - VNIIAES, RUSSIA

15h00 - 15h15 // Conclusion

附件二：2013年5月30-31日於巴黎之CODAP第五次會議與會代表名單及通訊

CANADA

Jovica RIZNIC

Tel: +1 613 943 0132

Canadian Nuclear Safety Commission

Fax: +1 613 943 1292

Engineering Assessment Division

Eml: jovica.riznic@cnsccsn.gc.ca

280 Slater Street

P.O.Box 1046, Station B

Ottawa, Ontario K1P 5S9

CHINESE TAIPEI

Jien-Jong CHEN

Tel: +886 2 8231 7717

Engineering Technology & Facility Operation

Eml: jjchen@iner.gov.tw

Institute of Nuclear Energy Research

1000 Wenhua Rd., Jiaan Village, Longtan T

Taoyuan County 32546

Ming-Hsein LU

Tel: +886 3 4711 400 ext 3658

Department of Engineering

Eml: mhlu@iner.gov.tw

Institute of Nuclear Energy Research

1000 Wenhua Rd., Jiaan Village, Longtan T

Taoyuan County 32546

FINLAND

Ulla EHRNSTEN

Tel: +358 0 20 722 6860

Principal Scientist

Eml: ulla.ehrnsten@vtt.fi

VTT Technical Research Centre of Finland

Materials for Power Engineering

P.O. Box 1000,

FI-02044 VTT

GERMANY

Mihdi ELMAS

Tel: +49 221 2068 756

Structural Mechanics Dept

Fax: +49 221 2068 9005

GRS

Eml: mihdi.elmas@grs.de

Schwertnergasse 1

D-50667 KOLN

JAPAN

Masakuni KOYAMA

Tel: +81 3 4511 1761

Ageing Material Reliability Evaluation Group

Eml: koyama-masakuni@jnes.go.jp

Japan Nuclear Energy Safety Organisation

Toranomon Towers Office 14FL,

4-1-28, Toranomom,

Tokyo, 105-0001

Shunsuke OGIYA

Tel: +81 3 4511 1163

Japan Nuclear Energy Safety Organization

Fax: +81 3 4511 1297

Toranomon Towers Office 21FL,

Eml: ogiya-shunsuke@jnes.go.jp

4-1-28, Toranomom, Minato-Ku

Tokyo, 105-0001

KOREA (REPUBLIC OF)

Sung-Woo KIM

Tel: +82 42 868 4875

Nuclear Materials Development

Eml: kimsw@kaeri.re.kr

Korea Atomic Energy Research Institute

1045 Daedeok-daero

Yuseong0gu

Daejeon

SLOVAK REPUBLIC

Vladimír JURCO

Tel: +421 33 597 3322

Lifetime Management Specialist

Eml: vladimir.jurco@enel.com

Slovenské elektrárne, a.s.

Atómové elektrárne Bohunice

919 31 Jaslovské Bohunice

SPAIN

Carlos CASTELAO

Tel: +34 91 346 02 71

Consejo de Seguridad Nuclear

Fax: +34 91 346 05 88

c/Justo Dorado 11

Eml: ccl@csn.es

E-28040 MADRID

SWEDEN

Karen GOTT

Tel: +46 8 667 1552

Matsafe AB

Eml: k.gott@telia.com

Skeppargatan 84 lgh 1001

114 59 Stockholm

SWITZERLAND

Susanne F. SCHULZ

Tel: +41 56 460 86 20

Physicist, Dr. rer. nat.,

Fax: +41 56 460 84 99

Deputy Section Head MATE

Eml: susanne.schulz@ensi.ch

Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI

Section Mechanical Engineering (MATE) Industriestrasse 19 CH-5200 Brugg

UNITED STATES OF AMERICA

Michael BENSON

Tel: +1 301 251-7492

Materials Engineer - RES/DE/CIB

Fax:

U.S. Nuclear Regulatory Commission

Eml: michael.benson@nrc.gov

Mail Stop: CSB 5A24m

Washington, D.C. 20555-0001

Bengt LYDELL

Tel: +1 520 883 4335

SIGMA-Phase Inc

Fax: +1 520 883 4335

16917 S. Orchid Flower Trl

Eml: boylydell@msn.com

Vail AZ 85641-2701

NUCLEAR ENERGY AGENCY

Alejandro HUERTA

Tel: +33 1 4524 1057

OECD/NEA - Nuclear Safety Division

Fax: +33 1 4524 11 29

12, Bd des Iles

Eml: alejandro.huerta@oecd.org

F- 92130 Issy les Moulineaux

Rong-Huei HOU

Tel: +33 1 45 24 11 42

OECD/NEA

Eml: rong-huei.hou@oecd.org

附件三：第五次 CODAP 會議議程

1. Opening of meeting
2. Adoption of the agenda
3. Approval of 4th meeting summary records
4. Administrative issues
 - a. Financial report
 - b. Status of last meeting actions
5. Database technical issues
 - a. Database technical issues
 - b. Status of database records validation
 - c. Round table discussion on other database-related technical information
6. Knowledge Base Issues
 - a. Discussion on the status of the knowledge base
 - b. Discussion on the degradation mechanism timelines
7. Data collection
 - a. Status of database deliveries, including FAC events
 - b. Schedule for delivery of events by NCs
8. CODAP Topical Reports
 - a. Presentation of Draft Topical Report on FAC

- b. Discussion on the first CODAP Topical report on FAC
 - c. Other CODAP Topical Reports
- 9. CODAP OA programme of work and budget
 - a. Approval OA work and budget
 - b. OA payment for 2013
- 10. Event reports of interest by all members
- 11. Other issues
 - a. Upcoming conferences SMiRT22, PSA2013
 - b. Report from FAC2013 Conference
- 12. Project planning - Review of decisions and actions
- 13. Next Meeting
- 14. Closure of Meeting