

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

核二廠填換爐心設計審查

頁數 19 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

楊朝裕/台灣電力公司/核能發電處/十等核能工程師/02-23667086

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他 (洽公)

出國期間：2019/8/3~2019/8/12

派赴國家/地區：美國華盛頓州

報告日期：2019/9/10

關鍵詞：填換爐心設計、Framatome 公司

內容摘要：

本次任務主要審查核二廠 2 號機週期 26 (Kuosheng Unit 2 Cycle 26) 之填換爐心設計分析所用之計算書及相關文件，於 108 年 8 月 3 日至 8 月 12 日赴美國 Framatome 公司 (Framatome Inc. 原為 AREVA NP INC.，後改名為 Framatome) 執行核二廠燃料爐心設計稽查工作以及相關議題進行討論，出國公差共計 10 日 (含往返時間)。

審查任務工作包括 KS2C26 填換爐心設計文件審查、處理 11 項預先提出之稽查需求及問題討論，並查核 Framatome 公司人員是否已符合爐心設計之相關訓練資格，進行正式審查工作前由 Framatome 公司中子分析工作小組領隊介紹 Framatome 公司中子分析及熱流分析小組成員，並討論稽查之需求及審查標準，審查期間 Framatome 公司亦安排參訪燃料製造廠及解說，並展示燃料水棒新、舊型設計樣本及進行相關說明。

總結，本次爐心設計審查符合本公司之爐心設計審查指引所載及 Framatome 公司內部之接受標準。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork/>)

出國報告（出國類別：洽公）

## 核二廠填換爐心設計審查

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：楊朝裕 核能發電處核能工程師

派赴國家：美國

出國期間：108年8月3日至8月12日

報告日期：108年9月10日

# 目 錄

內 容	頁次
壹、出國目的	1
貳、出國行程	2
參、任務過程	3
一、KS2C26 填換爐心設計審查	3
二、KS2C26 填換爐心設計審查查核表	3
三、審查期間訪談摘要	14
肆、結論、心得與建議事項	16

## 壹、出國目的

本次出國含往返程共計 10 日，主要任務為赴美國對負責核二廠填換爐心之設計廠家 Framatome 公司 (Framatome Inc. 原為 AREVA NP INC.，後改名為 Framatome)，審查核二廠 2 號機週期 26 (Kuosheng Unit 2 Cycle 26 以下簡稱 KS2C26) 有關填換爐心設計分析作業，包括填換爐心安全分析報告 (Reload Licensing Analysis, RLA)、填換爐心設計指引、作業程序書、計算書及填換爐心燃料佈局安排是否符合安全性及本公司爐心設計之要求。

為查核及瞭解 Framatome 公司是否確實依相關程序書執行評估分析工作，本次審查係與核能研究所遴選之專業人員派赴廠家共同執行 KS2C26 填換爐心設計及安全評估分析審查工作，確保 Framatome 公司執行填換爐心設計結果與設計品質符合本公司實際需求。本次任務除審查 Framatome 公司執行 KS2C26 填換爐心設計之計算書 (Calculation Notebooks) 文件外，並進一步了解廠家填換爐心設計相關最新技術，確保核能電廠運轉之安全。

本次審查任務主要審查 KS2C26 之填換爐心設計，審查方式採用該公司爐心設計技術規範與計算書文件審查，並查對爐心設計工作站之輸入檔與輸出檔，審查期間並與 Framatome 公司人員進行問題討論與釐清，完成 KS2C26 之填換爐心設計審查查核表內之各項議題審查。並與 Framatome 公司負責本公司 KS2C26 之中子設計、安全分析及暫態分析工程師、主管，進行審查討論。經由本次審查結果，確認 Framatome 公司執行核二廠 2 號機週期 26 (KS2C26) 填換爐心安全分析報告，可符合 Framatome 公司內部及本公司所要求之接受標準，KS2C26 填換爐心設計是可接受的。

## 貳、出國行程

108 年 8 月 3 日至 108 年 8 月 12 日（含往返程 5 日）共計 10 日，於美國華盛頓州里其蘭市（Richland, WA）Framatome 公司執行本項任務。詳細行程如下：

日期	行程	摘要
8/3（六）	桃園→西雅圖	往程：由桃園國際機場搭飛機前往美國西雅圖
8/4（日）	西雅圖→巴斯科 →里其蘭	往程：由西雅圖搭飛機前往巴斯科，再租車 前往里其蘭
8/5（一）	Framatome 公司	(1) 辦理入廠手續及進行入廠訓練（保安、工安 及輻安） (2) 拜會爐心設計及熱流分析工作小組 (3) 建立稽查用電腦工作站及相關計算書收集
8/6（二）	Framatome 公司	(1) 與爐心設計中子分析主管討論本次預送 Framatome 公司之稽查議題 (2) 進行 KS2C26 爐心設計審查 (3) 審查團隊工作及問題討論
8/7（三）	Framatome 公司	(1) 進行 KS2C26 爐心設計審查 (2) Framatome 公司展示 Atrium-10 燃料水棒 新、舊型設計樣本及進行相關說明
8/8（四）	Framatome 公司	(1) 參訪燃料製造工廠 (2) 進行 KS2C26 爐心設計審查
8/9（五）	Framatome 公司	(1) 整理本次審查結果
8/10（六）	里其蘭→巴斯科 →西雅圖	返程：由里其蘭開車前往巴斯科，再轉 搭飛機前往西雅圖
8/11~8/12	西雅圖→桃園	返程：由西雅圖搭飛機返回桃園國際機場

## 參、任務過程

本次任務由本公司核能發電處楊朝裕君並協同核能研究所黃泰庭君進行，首先以「台電沸水式反應器爐心設計審查指引」為依據，進行「KS2C26 填換爐心設計審查」。其次，在出發前將所關心之 6 項稽查需求(即請該公司預為準備稽查所需資料及辦公環境並安排參訪燃料製造工廠)及 5 項議題，先行傳送給 Framatome 公司，以俾到美國後與 Framatome 公司相關人員討論，其中 5 項議題與相關答覆歸納於參、三節「審查期間訪談摘要」。

### 一、KS2C26 填換爐心設計審查

1. 依據「台電沸水式反應器爐心設計審查指引」逐項審查，配合 Framatome 公司提供之填換爐心設計指引及相關之計算書進行審查，並隨時與 Framatome 公司人員討論澄清，以及查對爐心設計工作站內之輸入檔等方式，完成 KS2C26 填換爐心設計審查查核表內之各項技術議題之審查。
2. 在 KS2C26 填換爐心設計審查查核表中(詳以下第參、二節)，有詳細之審查結果及審查意見，審查結果符合本公司及 Framatome 之接受標準。
3. 由以上之分析結果，KS2C26 填換爐心設計結果符合本公司之要求及 Framatome 公司內部之接受標準，因此分析結果為可接受。

### 二、KS2C26 填換爐心設計審查查核表

#### A、Qualification requirements for the responsible engineers of Core Design、Transient Analysis & Q.C. people

實際負責爐心設計人員、暫態分析人員及品管人員之廠家內部資格要求

Do the above responsible engineers meet the vender's qualification requirements ?

上述實際負責人員是否符合廠家內部之資格要求？

Yes  V  No  N/A

Comment：

- (1). 中子物理工程師必須完成報告 EMF-2034P Rev.6 “neutronics Richland Design and Analysis Training Requirements”內容之訓練。
- (2). 安全分析工程師必須完成報告 EMF-2044P Rev.5 “Thermal-Hydraulics Richland Analysis Training Requirements”內容之訓練。
- (3). 品管人員(QA)則必須完成與分析者相同的訓練，一般 Framatome 會指派較資深的人員擔任 QA 內部審查者。
- (4). 以上人員均已完成所需之訓練，符合廠家內部之資格要求。

B、Vendor's Internal Quality-Assurance Performance：

爐心設計廠家是否完成其內部之品保程序

1. Has vendor finished internal QA procedure or independent-review on schedule? (safety analysis and Core design)

廠家是否於時程內完成爐心設計品保程序？

Yes  V No  N/A

Comments：本週期(KS2C26)填換爐心設計已經完成，並已完成填換爐心分析報告(RLA)，上述報告在定稿前已分送本公司相關單位審查。

2. Is the vendor's internal QC process appropriate?

廠家品保程序是否適當？

Yes  V No  N/A

Comments：所有目前完成的計算書均根據 FSOP-07「Design Analysis」Rev.7 來撰寫，並經內部 QC 人員的審查結案。FSOP-07 即 Framatome 公司用以取代原 AREVA 公司之品管程序書 EMF-1928(P)「Engineering Work Practices Calculation Packages」。

3. Are there any comments or recommendations in vendor's internal independent review document?

Have the comments or recommendations been corrected or reflected?

廠家於內部品保程序是否有任何發現或意見？上述發現與意見是否已經更正並反應？

Yes  V No  N/A

Comments：內部 QC 人員的發現均經改正或說明後再次經 QC 人員審查後結案。

## C、Core Design Audit Plan

### 爐心設計稽查計劃

## Fuel System Design

### 燃料設計

1. Is the reload fuel type licensed by ROCAEC? Is there any change or update in dimensions or component from "Mechanical Fuel Design Report", that approved by ROCAEC? (including fuel channel)

填換燃料型式是否為原能會核准？填換料任何尺寸或組成是否不同於原核准之燃料型式（包括燃料匣）

Yes  No  N/A

Comment: 本週期(KS2C26)採用之填換燃料型式(ATRIUM-10)及燃料匣(Advanced Fuel Channel)均已提報原能會並獲得核備。

2. Does the enrichment (u-235) of reload fuel match the TPC's expected average discharge fuel batch exposure?

填換燃料濃縮度與預期退出燃耗是否匹配？

Yes  No  N/A

Comment: 本週期填換平均燃料濃縮度約 4.04%，與過往差異不大，查閱計算書 47-9251819-001(Multi-Cycle Fuel Management Analysis for Kuosheng Unit 2 Cycle 26)第 3.0 節，依據多週期分析結果顯示該批次燃料平均退出燃耗為 39.6Gwd/MTU，低於過去退出燃耗平均 48-50 Gwd/MTU，係該批次燃料僅使用於 KS2C26、KS2C27、KS2C28 等 3 週期，且 KS2CY27 與 KS2C28 之週期能量分別為 1,480 Gwd 與 538 Gwd，其中 KS2C28 僅運轉約 340 日即達運轉執照期限，致使平均退出燃耗低於經驗值。

## Nuclear Design

### 爐心設計

1. Framatome【CASMO-4/MICROBURN-B2】 GE【TGBLA-04/PANACEA-10】 Are above lattice and 3D simulator code's version updated?

廠家目前使用之燃料晶格及三維穩定模擬程式之版本是否變更且獲得執照？

Yes  No  N/A

Comment: 查驗本週期(KS2C26) Licensing analysis work plan(FS1-0027197)，目前使用之分析程式 CASMO-4/MICROBURN-B2 已經獲得原能會審查核備。



2. Are the cycle-specific information 【GE FRED】【Framatome Plant Parameters Document and Work Plan】 reflected in core design ?  
廠家爐心設計是否反應【GE Fuel Release and Engineering Data】【Framatome Plant Parameters Document and Work Plan】 ?

Yes  V No  N/A

Comment : 經查對本週期(KS2C26)爐心設計計算書 FS1-0040786(Fuel cycle design)及 FS1-0027197 (work plan) table 2 , 廠家爐心設計符合設計參數要求。

3. Does reloaded fuel cycle comply with vendor's internal fuel-shuffling-criteria?  
廠家填換爐心設計是否遵守廠家內部燃料挪移準則 ?

Yes  V No  N/A

Comment : 本週期(KS2C26)爐心設計分別依 Work Plan(計算書 FS1-0027197)執行，查閱廠家計算書 FS1-0040786 (Fuel cycle design)之 6.8.1 節(GE SIL320 Supplement 3)、6.8.2 節(Framatome Fuel Management Guideline Verification)及 6.8.3 節(REMAXX Criteria Check)準則檢查：Max(P-Pcs)≤2 kw/ft，並符合 GE SIL320 規範。且本週期填換燃料不會使用 4 個週期。

4. Is the reloaded fuel cycle designed in accordance with approved procedure?  
廠家填換爐心設計是否依照廠家內部核准之程序書執行 ?

Yes  V No  N/A

Comment : 審查本週期(KS2C26)廠家填換爐心設計計算書 FS1-0040786 (Fuel cycle design) , KS2C26 爐心設計皆依據當時最新版本 FS1-0037380 Rev.1(取代原 AREVA 之 EMF-2000(P) guide 2.2 Rev.6)執行。

5. Do vendor review and file TPC's "Core design review report"(Calculated by CASMO-3/SIMULATE-3 code)?  
廠家爐心設計是否審閱並反應"台電爐心設計審查報告"之建議 ?

Yes  V No  N/A

Comment : 依以往經驗及目前廠家與本公司爐心設計程序，本公司"台電爐心設計審查報告(CDRR)"送廠家之時間點為機組起動後，廠家建議本公司獨立驗證結果須於 RLA/COLR 初稿完成前送廠家參考。惟本公司目前於廠家提供初步爐心燃料佈局設計後，即已進行獨立驗證計算，並確認廠家提供之初步爐心燃料佈局設計可符合本公司相關需求及參數限值後，後續才通知燃料廠家進行相關中子分析及熱水力計算等分析。

6. Check the input and design-record-file of lattice code, 【GE TGBLA, Framatome CASMO-4】, especially the various pin rods distribution, rod dimensions. Is there any update or error?  
檢查廠家燃料格程式輸入檔及設計計算書，尤其是各種不同濃縮度燃料棒位置是否正確？燃料棒尺寸是否正確？

Yes  V  No   N/A

Comment :  審查本週期(KS2C26)中子截面資料庫計算書 FS1-0026205 (KSR25 Cross-Section Library Generation) 及其工作站輸入檔無發現錯誤。

7. Check the input and design-record-file of 3-D simulator code 【GE PANACEA】【Framatome MICROBURN-B2】, including fuel type declaration, various fuel segment length, various fuel segment type declaration. Is there any update or error?  
檢查燃料廠家三維穩態計算程式之輸入檔及計算書，包括燃料型式位置、各種不同燃料 Segment 長度及燃料 segment 位置之宣告是否正確？

Yes  V  No   N/A

Comment :  審查本週期(KS2C26)爐心設計輸入檔(hsc.fcdr26)、FS1-0040786 (Fuel cycle design)並無發現錯誤。

8. Check all dimension parameters of fuel assembly . Is there any update or error ?  
檢查所有燃料尺寸參數是否正確

Yes  V  No   N/A

Comment :  本週期(KS2C26)爐心全部皆採用 Framatome 公司之 ATRIUM-10 燃料，惟本週期 ATRIUM-10 燃料束元件水棒連接桿型式採用 HALC 設計及 OLC 設計共兩種型式，檢查燃料尺寸參數輸入並無發現錯誤。

9. Check all thermal-hydraulic parameters are correct, including the loss coefficient of LTP、UTP、water tube inlet、water tube exit & spacer, leakage flow model, power-flow fitting coefficient etc. Consistent with "Fuel Design Report", that approved by ROCAEC ? Is there any update or error ?  
檢查所有熱水力參數是否正確？

Yes  V  No   N/A

Comment :  本週期(KS2C26)爐心 ATRIUM-10 燃料束元件水棒連接桿型式採用 HALC 設計及 OLC 設計共兩種型式。OLC 設計的燃料束元件與 HALC 設計的燃料束元件皆採用相同之熱水力分析模式，審查 KS2C26 爐心設計輸入檔之熱水力參數並無發現錯誤。

10. If vendor's "Fuel Cycle Design" available, check the input of thermal limit library. Correct or not ?  
檢查爐心設計熱限值資料庫是否正確？

Yes  V  No   N/A

Comment : 審查 KS2C26 熱限值資料庫結果未發現錯誤。

11. Does **【GE peak pellet discharge exposure】** or **【Framatome peak discharge rod exposure 、 peak discharge assembly exposure】** of reload cycle remain within the ROCAEC approved limit ?  
填換爐心 EOC 退出燃料燃耗是否正常？

Yes  V No  N/A

Comment : 審查本週期(KS2C26)計算書 FS1-0041509(KS2C26 Disposition of events)Table7.2 中, KS2C26 爐心設計最大退出燃料束燃耗為 50.62 GWd/MTU < 54.0 GWd/MTU , 最大退出燃料棒燃耗為 57.0 GWd/MTU < 58.7 GWd/MTU , 符合原能會核准之燃耗限值。

12. Are the hot-target eigenvalue and cold-target eigenvalue updated and established appropriately ?  
熱爐及冷爐之目標增殖因數 (keff) 是否反應電廠最新爐心追隨計算結果？

Yes  V No  N/A

Comment : 本週期(KS2C26)使用 MICROBURN-B2 進行爐心設計, Framatome 公司於之前已執行了“MICROBURN-B2 Benchmarking Calculations”, 以求得熱爐及冷爐之目標增殖因數, 此目標增殖因數已反應電廠最新爐心追隨計算結果。

13. Is the radial RMS error between TIP trace measurement data and off-line axial power profile of core follow calculation reasonable ? **【Framatome: one standard TIP deviation 6% × 1.645 = 9.87% , 95% possibility , 95% confidence less than 9.87 % for CASMO/MICROBURN code】** **【GE : 8.6% TIP uncertainty is used for SLMCPR calculation for TGBLA04/PANACEA10 code】** ? Are the TIP total nodal RMS error reasonable ?

本週期爐心追隨計算結果與電廠 TIP 測量值之間誤差是否合理？

Yes  V No  N/A

Comment : 本週期(KS2C26)目前之爐心追隨計算結果與電廠 TIP 量測值之間誤差值(RMS)符合 6%要求。

14. Are the over-all average differences between on-line and off-line MFLPD & MAPRAT of core follow calculation reasonable ? **【TPC think the differences less then 5% in 3-D Simulator code are reasonable.】** .Are over-all average differences between on-line and off-line MCPR reasonable ? **【TPC think the differences less then 5% in 3-D Simulator code are reasonable.】** . Are the off-line results more conservative than on-line ?

爐心追隨計算之 MFLPD 及 MAPRAT , 其線上計算 (LPRM adaptive) 與離線計算 (Non LPRM adaptive) 結果之全週期平均誤差是否是否合理 ? **【台電經驗:小於 5%】** ? MCPR 誤差是否合理 **【台電經驗:小於 5%】** ?

Yes  V No  N/A

Comment : 審查(KS2C25)爐心追隨計算結果(計算書 FS1-0043858) , 全週期 MAPRAT 及

MFLPD 最大誤差分別為 2.7%及 3%，而全週期 MCPR 最大誤差為 3.3%，均符合 5%標準。

15. Will the reload core designs meet planed full-power-cycle energies ? ( Nominal-window consideration ) ?

填換爐心設計是否符合電廠滿載能量需求？

Yes  V No  N/A

Comment : 審查計算書 FS1-0040786 (Fuel cycle design) Table6.13 計算結果，KS2C26 週期能量為 1616±33 GWd，符合本公司爐心設計要求。

16. Will the reload core designs meet shut-down-margin ( SDM ) requirement ? ( Short-window consideration )

填換爐心設計是否符合電廠停機餘裕需求？

Yes  V No  N/A

Comment : 審查計算書 FS1-0040786 (Fuel cycle design)計算結果，KS2C26 之 BOC 的停機餘裕(CSDM)為 1.48%，符合接受標準(≥1.0%)。

17. Will the step-through rod patterns of reload core design meet the requirement ? Including thermal limits ratio margins, full power operation capability, spectrum-shift strategy etc.

填換爐心控制棒佈局設計是否符合"熱限值餘裕"，"滿載運轉"及"能譜偏移運轉"要求？

Yes  V No  N/A

Comment : 審查計算書 FS1-0040786 (Fuel cycle design)計算結果，本週期(KS2C26)熱限值餘裕分別為 MAPLHGR=14.9%、LHGR= 11.0%、MCPR=8.8%，均符合接受標準(≥8%)。

18. Will the reload core design meet the SBLC system concentration requirement ?

填換爐心設計是否符合 SBLC 系統要求？

Yes  V No  N/A

Comment : 審查計算書 FS1-0040786 (Fuel cycle design)，本週期(KS2C26)之 SBLC 最小停機餘裕別為 0.93%，符合接受標準(≥0.88%)。

19. Is the reloaded fuel cycle optimum design considering the fuel utilization ?

考慮燃料使用率，本填換爐心設計是否為最理想之設計？

Yes  No  N/A  V

Comment : 審查計算書 FS1-0040786 (Fuel cycle design)及 FS1-0027197 (Work Plan)，因為廠家的設計係以符合接受標準即可，若要得到最理想之設計則須費時間測試其他燃料及控制棒佈

局並可為安全分析所接受，惟合約僅規範廠家設計符合標準即可，未就最佳化進行要求。爰本週期(KS2C26)爐心設計符合 Framatome 公司及本公司之接受標準即為可接受之設計。

## Transient Analysis

### 暫態分析

1. Is the version of CPR correlation consistent with ROCAEC approved version ? 【GE GEXL】  
【Framatome SPCB or ACE】

廠家使用之臨界功率比關係式版本是否正確？

Yes  V No  N/A

Comment : 本週期(KS2C26)使用之臨界功率比關係式版本為 ACE/ATRIUM Rev.2, ANP - 10249(P)(A), 此版本已獲得原能會核備使用。

2. Are the distributions of additive constant of CPR correlation updated ?

廠家使用的 CPR 關係式，其中 additive 常數分佈是否正確或改版？

Yes  V No  N/A

Comment : 查對 SAFLIM2 檔案及計算書 FS1-0028608(MCPR Safety limit analysis), 本週期(KS2C26)使用 CPR 關係式為 ACE/ATRIUM Rev.2, 採用相同之 additive 常數分佈。

3. Is the cycle-specific SLMCPR and delta CPR significant different from previous cycle ? Why ? Are the "Uncertainty input parameters" for SLMCPR calculation updated ?

最小臨界功率比之限制值和前週期是否沒有顯著不同？為什麼？計算 SLMCPR 所需輸入之 Uncertainty 參數是否有變更？

Yes  V No  N/A

Comment : 本週期(KS2C26)採用 ACE 臨界熱功率關係式。KS2C26 之 SLMCPR 與 KS1C27 同為 1.09, 且所需輸入之 Uncertainty 參數並無變更。

4. Have the plant-specific transient parameters 【GE OPL-3】【Framatome Plant parameter document】 been compared to the previous cycle ? Have the differences been identified and reflected ?

暫態分析所用的電廠實際運轉參數有沒有和前週期有不同之處？若有，其影響為何？

Yes  V No  N/A

Comment : 本週期(KS2C26)暫態分析之 OLMCPR 參數與前週期(KS1C27)OLMCPR 參數不同。KS2C26 之 SLMCPR 為 1.09, 在 BOC 至 EOC 期間之最大 $\Delta$ CPR 為 Turbine Trip w/o Bypass 所致之 0.16, 故 OLMCPR 應為 1.25。自核二廠採用 OPRM 後, 週期之 MCPR<sub>p</sub> 需考慮 OPRM 穩定度分析, 考慮 OPRM 穩定度分析後之 OLMCPR 應大於/等於 1.27, 因此 KSC2C26 之

OLMCPR 定為 1.27。KS1C27 之 SLMCPR 為 1.09，最大 $\Delta$ CPR 為 Turbine Trip w/o Bypass 所致之 0.14，考慮 OPRM 穩定度分析後 KS1C27 之 OLMCPR 為 1.275。

5. Are the power-dependent OLMCPR well-derived from following transient? Is the methodology of transient changed or updated from previous cycle?

與功率相關之臨界功率運轉限制值是否經由下列暫態分析推演得到？暫態分析方法是否變更？

- Turbine Trip w/o Bypass
- Loss of Feedwater Heating
- Feedwater Controller Failure w/o Bypass 【KS】【CS】
- Control Rod Withdrawal Error
- 汽機跳脫，旁通閥未開？
- 喪失飼水加熱
- 飼水控制失效
- 控制棒誤抽出

Yes  V No  N/A

Comment：本週期(KS2C26)功率相關之臨界功率運轉限制值是經由上述暫態分析推演得到(以最嚴重的暫態事故分析結果涵蓋)，暫態分析方法沒有變更。本週期(KS2C26)暫態分析之選擇項目為：Turbine Trip With No Bypass (TTNB)及 Feedwater Controller Failure With No Bypass (FWCFNB)。

6. Are the flow-dependent MCPR well-derived from Flow-run-out transient? Is the methodology of transient changed or updated from previous cycle?

與流量相關之臨界功率運轉限制值是否經由 Flow-run-out 暫態分析推演得到？暫態分析方法是否變更？

Yes  V No  N/A

Comment：查對計算書 FS1-0028612(MCPRf Analysis)，本週期(KS2C26)流量相關之臨界功率運轉限制值是由 Flow-run-out 暫態分析推演得到。

7. Is LHGR Limit well-derived from 45% Mechanic-Over-Power (Cladding strain less than 1%) & 25% Thermal-Over-Power analysis (Fuel-center-line temperature less than melt temperature) 【Framatome Protection Against Power Transient: 35% over LHGR limit】?

單位線性熱功率限制值是否經由暫態分析求出？

Yes  V No  N/A

Comment：查對計算書 FS1-0028611(KS2C26 Thermal Limits-MCPRp and LHGRFACp)，LHGR 為燃料棒機械特性所決定，但 LHGRFACp 是由暫態分析求出，以得到在不同功率之 LHGR limit。本週期(KS2C26)單位線性熱功率限制值是經由暫態分析求出。

8. Is MAPLHGR Limit well-derived from LOCA analysis? (Cladding temperature less than 2200°F)

平面線性功率限制值是否經由 LOCA 分析求出？

Yes  No  N/A  V

Comment : MAPLHGR 是由 LOCA/ECCS 分析所得到, 本週期(KS2C26)因燃料型式並未改變, LOCA 分析不需重新執行。另查對計算書 FS1-0028609(KS2C26 LOCA Limiting Power history), 確認先前 LOCA 分析所使用之功率歷史可涵蓋 KS2C26 全週期。

9. Is there no new safety issue should be analyzed?  
是否沒有新的安全議題需要被分析?

Yes  V No  N/A

Comment : 本週期(KS2C26)填換新燃料中有 57 束之水棒連接桿採用一體成型鋁合金連接桿/水棒上端塞之 OLC 設計。Framatome 公司已針對採用 OLC 設計之 ATRIUM-10 燃料束元件的影響進行評估, 由於 OLC 設計的燃料束元件與 HALC 設計的燃料束元件皆採用相同之中子分析模式及熱水力分析模式, 因此 KS2C26 採用 OLC 設計的新燃料束元件, 並不影響 KS2C26 RLA (ANP-3502P) 和 KS2C26 COLR (ANP-3503) 之適用性。

10. Is the Stability Exclusion Region well identified in operation domain?  
非穩定運轉限制區是否從電廠最大運轉區中清楚劃出?

Yes  V No  N/A

Comment : 查對計算書 FS1-0041432(Backup Stability protection)及 FS1-0041509 (Disposition of events), KS2C26 Power-Flow 圖上, 本週期之非穩定運轉限制區由衰變比值曲線(DR)為 DR=0.85 及 DR=0.9 來作為標訂邊界。

11. Is the Peak-Cladding-Temperature (PCT) of LOCA accident analysis updated from previous cycle?  
Should the update be submitted to ROCAEC ?  
LOCA 分析中之最高燃料護套溫度是否沒有變更?

Yes  V No  N/A

Comment : 同 8., 本週期(KS2C26)燃料型式並未變更, Heat up 分析無需執行, 故 LOCA 分析中之最高燃料護套溫度無變更。

12. Is the result of Overpressure-Protection analysis acceptable (Pressure less than 1375psig)?  
過壓保護暫態分析是否可接受?

Yes  V No  N/A

Comment : 審查計算書 FS1-0028604 (KS2 Transient inputs and ASME analysis)計算結果, 本週期(KS2C26)過壓保護暫態分析之分析結果 Pr( Steam Line ) = 1,245psig、Pr(Vessel Dome) = 1,248psig 及 Pr(Vessel Lower Plenum) = 1,277 psig 皆小於皆小於 ASME 過壓分析允許的最高

暫態壓力值 1,375 psig 及 Steam Dome Pressure Safety Limit 1,325psig，符合限值要求。

13. Is the result of Control-Rod-Drop accident analysis acceptable (Fuel enthalpy less than 280 cal/gm) ?  
控制棒掉落事故分析是否可接受？

Yes  V  No   N/A

Comment：審查計算書 FS1-41397(Control rod drop accident)計算結果，KS2C26 控制棒掉棒事故分析熱焓值為 277.3 cal/gm，符合小於 280 cal/gm 之限值要求。燃料棒受損熱焓(170 cal/gm)之根數為 683 根，符合小於 770 根之限值要求。

14. Framatome【COTRANSA2、XCROBRA、XCROBRA-T、SAFLIM2、ANFB、SPCB】 GE【TGBLA、ISCOR、PANACEA、GESTR-M、ODYN、REDY、TASC、GEXL】 Are above transient codes' version updated ?

Yes  V  No   N/A

Comment：最新版本為 COTRANSA2：uapr12、XCROBRA：uapr15、XCROBRA-T：uapr15、SAFLIM2：udec11、ACE：ACE/ATRIUM Rev. 2，ANP-10249(P)(A)。

15. Framatome【EXEM/BWR、RELAX、FLEX、HUXY】 GE【SAFER/GESTR-L】 Are above ECCS codes' version updated ?

Yes  V  No   N/A

Comment：EXEM/BWR：是一個方法論而不是程式，RELAX：udec18，HUXY：uaug14。



### 三、審查期間訪談摘要

1. 請問 Framatome 公司所使用之爐心分析計算程式 MICROBURN-B2 如何就長時間停機冷卻進行計算？

**【答】：**MICROBURN-B2 具備微觀燃耗 (Micro-depletion) 的能力，可以處理主要的停機冷卻效應，不需依賴外部輔助計算的幫助來量化反應器停機期間的反應度變化。但有 6 種衰變鏈 (Np-239 至 Pu-239 $\beta$ 、Pu-241 至 Am-241 $\beta$ 、Am-241 至 Np-237 $\alpha$ 、Cm-242 至 Pu-238 $\alpha$ 、I-135 至 Xe-135 $\beta$ 、Pm-149t 至 Sm-149 $\beta$ ) 反應需要外部輔助計算。

另長期的停機冷卻會使得 Eu-155 變為 Gd-155 的衰變反應成為負反應度 (negative reactivity) 的主要貢獻來源，而 MICROBURN-B2 的內部處理方式並非是直接模擬，而是增加 Pm-149 至 Sm-149 的反應來模擬這項機制，其主要假設是燃料停機冷卻兩年後，Eu-155 至 Gd-155 的負反應度貢獻量與 Pm-149 至 Sm-149 的貢獻量約莫相等。因此，MICROBURN-B2 在處理核燃料短期與長期的停機冷卻的強吸收截面分裂產物都以「等效的 Sm-149」來模擬，所以在 MICROBURN-B2 的輸出檔裡只會看到“SM149”這個項目，但實際上這個 SM149 仍包括 Gd155 的效應在內。MICROBURN-B2 內部處理長期冷卻的負反應度並透過一簡化的公式進行計算。

2. 如果在週期末將執行 coastdown 運轉，那麼運轉週期中需要再執行何項安全分析？

**【答】：**在延長 coastdown 之運轉情況下，安全評估方面並不需任何額外的 generic 或 cycle-specific 的熱流/安全分析。Coastdown 運轉在 Framatome 的分析方法內屬於正常 reload 過程的一部分。

3. 天然鈾濃縮度之燃料丸變短了，請問其原因？

**【答】：**燃料丸在裝填到燃料護套之後，實際堆疊出來的長度與設計上要求的長度可能會有一些誤差，若儀器發現區段長度不正確便會將此燃料棒剔除。Framatome 自從更換 FS-10 燃料丸製程之後，濃縮鈾的長度縮短，但天然鈾燃料丸長度仍未變，所以相對就比濃縮鈾的長度還長。此次改變天然鈾燃料丸製程將長度縮短，可以將 2 條不同的產線簡併為 1 條之外，在製程上也可以減少因為裝填之後的燃料區段長度誤差太大而被剔除的機率。

4. 依照 Framatome 之經驗，如果跳過某些控制棒佈局棒序，是否能額外獲取週期運轉能量或有其他效益？

**【答】：**在最近的週期裡，控制棒佈局會刻意跳過某些棒序，經 Framatome 解釋，其主要目的為運轉彈性和燃料經濟方面的效益。首先，A1 棒序與 A2 棒序要求 1/8 爐心對稱，而 B1 棒序或 B2 棒序則為要求 1/4 爐心對稱。A 類棒序所涉及到的控制棒數量會比 B 類棒序還要多，因此，1/8 爐心對稱的控制棒的抽出或插入的反應度大於 1/4 爐心對稱的控制棒的反應度，反應度變化較大則對熱限值餘裕的影響就變大。

另外，1/4 爐心對稱在設定控制棒棒位（rod notch position）方面的彈性比較大，因為所牽涉到的對稱控制棒數量較少，可以達到較佳的能譜位移效應（spectrum shift effect）。依照 Framatome 工程師的經驗：爐心平均軸向功率傾斜增加約 1.0%，大致相當於 EOC k-eff 增加 0.34 mk。

5. 請介紹新型水棒 Optimized Load Chain（OLC）設計。

**【答】：**Framatome 公司在 8/7（三）下午由機械與材料的資深諮詢工程師帶來 OLC 及 HALC 水棒樣品，並進行新型水棒解說。自 2014 年核一廠燃料束發生水棒連接桿斷裂之後，Framatome 公司（當時為 AREVA NP 公司）即開發 Optimized Load Chain（OLC）製程來更換原先水棒結構的設計。以往水棒連接桿尾端是設計成螺紋狀，鎖入水棒的上端塞，而發生斷裂處即為此處，OLC 的主要改變為上述設計變為將整塊 Zr-4 金屬切削，一體成形。並經測試後符合燃料吊運所需拉力需求。

## 肆、結論、心得與建議事項

### 一、結論

本次審查 Framatome 公司執行本公司 KS2C26 填換爐心設計，符合本公司及 Framatome 公司內部所要求之接受標準，因此 KS2C26 之填換爐心設計結果為可接受。另外針對本公司提送之 6 項稽查需求及 5 項議題，Framatome 公司亦於審查期間提供及答覆。

### 二、心得

1. 本次出國原預計本公司及核能研究所均有 2 名同仁參與，最後因本公司及核能研究所各 1 人未及時獲得美簽而無法成行。另本次出國行程僅有 10 日，為有效充分利用出國時間，往返均利用六日搭機，故實際稽核時間為 8/5(一)至 8/9(五)，較以往共 14 日為短，在人與行程均較以往為少的情況下，本次稽核仍完成設計審查指引、與廠商之議題討論、參訪製造工廠、新舊型水棒設計等行程，並且在沒有休假日及快要調整好時差的情況下即刻返程，算是有點不很舒服的出國行程，所幸基本的任務要求均能圓滿完成。
2. 核能電廠爐心設計涉及的領域相當廣泛，甚難全方位皆精通，而執行爐心設計稽查時係著重於中子分析及熱流安全分析兩個領域，本處核心組主要係專注中子分析部分，以往稽查係仰賴核研所熱流分組同仁協助，惟本次係因簽證問題而該同仁無法前往，以致就熱流安全分析稽查部分較為耗費，且難以諮詢較深入之問題。
3. 本次前往 Framatome 公司認識不少當地工程師，幾乎都是核工系所畢業的，其中也包含 2 位來自台灣清華大學核工系畢業校友，包含資深的 Stone Luo 及 12 級的陳偉廷，同時還利用下班時間能與陳偉廷的家庭用餐及拜訪他們的家，令人有在異鄉還能碰上故知的熟悉感。這是第一次前往燃料廠家稽核，也是第一次去美國，雖然前幾日有些時差及水土不服，但整體而言還算是順遂，且在 Richland 這個城市能感受到人們是親切的，無論是在店鋪或路上的車子，都是面帶笑容且禮讓的。

### 三、建議

1. 本次係為第一次前赴 Framatome 公司執行爐心設計審查任務時，已於出國前查閱過去稽查任務相關報告，並了解本次稽查任務，同時預為準備「台電沸水式反應器爐心設計審查指引」查核表，以利在國外時之稽查行程得以順利進行，雖然已事先預

為準備，但可能是第一次前往，難免有些陌生，故在查核相關計算書內容及完成審查指引上耗費了些時間，故建議下次前往之同仁可以向已經有稽查經驗的同仁多多請教並預為準備，如此在赴美工作時可收事半功倍之效。

2. 此次赴國外執行審查任務由於少了核能研究所熱流分組前往，除難以分頭進行任務外，另於安全分析領域亦難以下較多功夫，為免除類似情況發生，稽查團隊除邀請核能研究所核工組及熱流分組外，建議亦可考慮邀請核安處安全分析同仁參與，除可避免上開情況外，亦可藉由各分組團隊分頭進行稽查，相互指導與照應，以達出國計畫最佳效益。