

出國報告（出國類別：洽公）

核二廠 1 號機週期 26 爐心設計審查

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：黃晉渝 核能發電處核能工程師

派赴國家：美國

出國期間：2017 年 8 月 12 日至 8 月 25 日

報告日期：2017 年 9 月 11 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、KS1C26 填換爐心設計審查	4
二、KS1C26 填換爐心設計審查查核表	6
三、審查期間訪談摘要	22
肆、結論、心得與建議事項	25

壹、出國目的

本次出國往返程共計 14 日，主要任務為赴美國對負責核一、二廠填換爐心之設計廠家亞瑞華公司 (AREVA)，審查核二廠 1 號機週期 26(Kuosheng Unit 1 Cycle 26，以下簡稱 KS1C26)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。

核二廠已於 KS1C24 完成 SPU 中幅度功率提升，本次 KS1C26 爐心特性則延續前次週期的各項 SPU 設定進行設計與分析，並使用新版的 ACE Rev.2 爐心計算關係式。為查核及瞭解 AREVA 公司是否仍確實依相關程序書執行分析工作，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 KS1C26 之填換爐心設計及安全評估分析審查工作，確保 AREVA 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 AREVA 公司執行 KS1C26 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 KS1C26 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，審查期間與 AREVA 公司負責本公司 KS1C26 之中子設計、安全分析及暫態分析之主管進行問題討論及釐清。本次審查結果，確認 AREVA 公司執行核二廠 1 號機週期 26(KS1C26)填換爐心安全分析報告，可符合 AREVA 公司內部及本公司所要求之接受標準。

貳、出國行程

2017年8月12日至2017年8月25日(含往返程5日)共計14日，於美國華盛頓州里其蘭市(Richland, WA)的 AREVA 公司執行本項任務。詳細行程如下：

日期	行程	摘要
8/12(六)	台灣→西雅圖	往程：由台灣→西雅圖
8/13(日)	西雅圖→巴斯科→里其蘭	往程：由西雅圖→巴斯科→里其蘭
8/14(一)	AREVA 公司	(1) 辦理入廠手續及相關訓練(保安、工安及輻安) (2) 拜會爐心設計相關人員及參加爐心設計審查稽查前會議(Entrance Meeting) (3) 建立稽查用之電腦工作站及相關計算書收集 (4) 與爐心設計的中子分析主管討論本次預送 AREVA 公司之稽查議題
8/15(二)	AREVA 公司	(1) 參訪燃料製造工廠 (2) 進行 KS1C26 爐心設計審查 (1) 與 AREVA 熱流分析團隊討論 Coastdown 議題
8/16(三)	AREVA 公司	(1) 進行 KS1C26 爐心設計審查 (2) 審查團隊工作及問題討論
8/17(四)	AREVA 公司	進行 KS1C26 爐心設計審查
8/18(五)	AREVA 公司	進行 KS1C26 爐心設計審查
8/19~8/20	里其蘭	星期假日
8/21(一)	AREVA 公司	(1) 進行 KS1C26 爐心設計審查 (2) 與 AREVA 熱流分析團隊討論 Coastdown 議題
8/22(二)	AREVA 公司	彙總本次稽查結果
8/23~8/24	里其蘭→巴斯科→西雅圖	返程：由里其蘭→巴斯科→西雅圖
8/24~8/25	西雅圖→台灣	返程：由西雅圖→台灣

參、任務過程

本次任務由黃晉淪及 2 位核能研究所人員葉昭廷、許耕獻執行，並分三方面進行審查。首先，以『台電沸水式反應器爐心設計審查指引』為依據，進行『KS1C26 填換爐心設計審查』。在抵達 AREVA 公司後，與 AREVA 公司相關主管討論本公司及核能研究所關心之議題，詳第參、三節『審查期間訪談摘要』。

一、KS1C26 填換爐心設計審查

1. 依據本公司之『台電沸水式反應器爐心設計審查指引』逐項審查，配合 AREVA 公司提供之填換爐心設計指引及相關之計算書(詳表一)進行審查，並隨時與負責工程師討論澄清，以及查對爐心設計工作站內的輸入檔等方式，完成 KS1C26 填換爐心設計審查查核表內之各項技術議題之審查。
2. 在 KS1C26 填換爐心設計審查查核表中(詳第參、二節)，有詳細的審查結果及審查意見，審查結果符合本公司及 AREVA 的接受標準。
3. 經審查 KS1C26 爐心設計其主要分析結果及接受標準分別摘要如下：

KS1C26 爐心設計主要分析結果及接受標準		
項目	接受標準	分析結果
全功率運轉能量需求，GWd	1216	1,584
週期初停機餘裕(BOC CSDM)	$\geq 1.0\% \Delta k/k$	1.17 % $\Delta k/k$
最小停機餘裕(BOC~EOC)	$\geq 1.0\% \Delta k/k$	1.15 % $\Delta k/k$
最小 CSDM 之燃耗	--	9,680 MWd/MTU
最小 CSDM 之溫度		68.0°F
週期 R 值	--	0.02 % $\Delta k/k$
全週期最低 SBLC 停機餘裕	$\geq 0.88\% \Delta k/k$	1.19 % $\Delta k/k$
全週期最低 SBLC		0 MWd/MTU
週期初(BOC)熱過剩反應度	$\geq 1.0\% \Delta k/k$	1.79 % $\Delta k/k$
最小 MAPLHGR 餘裕及燃耗	$\geq 8.0\%$	12.7 % @ 8,360 MWd/MTU
最小 LHGR 餘裕及燃耗	$\geq 8.0\%$	8.3 % @ 6,160 MWd/MTU

KS1C26 爐心設計主要分析結果及接受標準		
最小 CPR 餘裕及燃耗	$\geq 8.0 \%$	9.4 % @ 6,160 MWd/MTU
P-Pcs at BOC (KW/ft)	≤ 2.0	1.96
最大 P-Pcs during the cycle (KW/ft)	≤ 2.0	1.98 @ 2,200 MWd/MTU
週期末(+500MWd/MTU) 燃料束最大燃耗	≤ 54.0 GWd/MTU	51.3 GWd/MTU
週期末(+500MWd/MTU) 燃料棒最大燃耗	≤ 58.7 GWd/MTU	56.3 GWd/MTU
爐心最大徑向因子	≤ 1.6050	1.576 @ 11400 MWd/MTU
燃料匣彎曲準則	GE SIL320 SUP3 & AREVA's Control Rod Friction Surveillance Program(EFID)	1. 爐心設計符合 GE SIL -320 Supp.3 之規定 2. 未使用燒第 4 次的燃料 3. EFID 程式計算結果：沒有 控制單元內有超過兩束 可疑燃料(channel bow)。

4. 由以上之分析結果，KS1C26 填換爐心設計結果符合本公司之要求及 AREVA 公司內部之接受標準，因此分析結果為可接受。

表一：AREVA 公司 KS1C26 填換爐心設計計算書

KS1C26 計算書 (Kuosheng Unit 1 Cycle 26 Reload Licensing Analysis)	
47-9250886-001	Multi-Cycle Fuel Management Analysis for KS1C26 AREVA NP Fabrication Batch KS1R25
EMF-2034P Rev.6	Neutronic Richland Design and Analysis Training Requirements
EMF-2044P Rev.5	Thermal Hydraulic Richland Analysis Training Requirements
FS1-0015443 Rev.1	Kuosheng Cold Critical Data and TIP Statistics
FS1-0025808 Rev.1	Kuosheng Unit 1 Cycle 26 Licensing Analysis Work Plan
FS1-0025809 Rev.1	Kuosheng Unit1 Cycle 26 Safety Analysis Task Plan
FS1-0030257 Rev.1	Kuosheng Unit 1 Cycle 26 Fuel Cycle Design(Re-Licensing)
FS1-0031029 Rev.1	Kuosheng Unit 1 Cycle 26 Disposition of Events(Re-Licensing)
FS1-0015598 Rev.1	Kuosheng Unit 2 Fabrication Batch KS2R24 ATRIUM-10 Cross-Section Library Generation, FUELRQ Uranium Requirements, and Channel Bow Colorset Analysis
FS1-0025936 Rev.1	Kuosheng Unit 1 Fabrication Batch KS1R25 ATRIUM-10 Cross-Section Library Generation, FUELRQ Uranium Requirements, and Channel Bow Colorset Analysis
FS1-0030172 Rev.1	KS1C26 Core Redesign – ASME Over-Pressurization
FS1-0030173 Rev.1	KS1C26 Core Redesign-MCPRSL
FS1-0030174 Rev.1	KS1C26 Core Redesign–LOCA limiting Power History
FS1-0030176 Rev.1	KS1C26 Core Redesign-MCPRp and LHGRFACp
FS1-0030178 Rev.1	KS1C26 Core Redesign-MCPRf
FS1-0030262 Rev.1	Kuosheng Unit 1 Cycle 26 Backup Stability Analysis
FS1-0030338 Rev.1	Kuosheng Unit 1 Cycle 26 Control Rod Drop Accident Analysis
FS1-0032448 Rev.1	KS1C26 Core Redesign-Coastdown
31-9134563-000	KS Units Channel Seal Resistance Tuning for MB2
32-9120963-000	Kuosheng Unit 2 Cycle 20 Core Follow and Projection
ANP-3470P Rev.3	Kuosheng Unit 1 Cycle 26 Reload License Analysis
ANP-3331P Rev.0	Kuosheng Unit 1 Cycle 25 Reload License Analysis
ANP-3469P Rev.0	Kuosheng Unit 1 Cycle 26 Principal Plant Parameters
ANP-3478P Rev.1	Nuclear Fuel Design Report Kuosheng Fabrication Batch KS1R25 and KS2R25 ATRIUM-10 Fuel

二、KS1C26 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

1. <u>Adam Wheeler</u> :	<u>1+</u>	<u>M.S.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
Neutronic_Engineer (Project Engineer)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline
2. <u>Lu Chen</u> :	<u>2+</u>	<u>M.S.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
Neutronic_Engineer (Project Engineer)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline
3. <u>Kui Wei</u> :	<u>15+</u>	<u>M.S.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
Neutronic_Engineer (Project Engineer)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline
4. <u>P. D. Patchana</u> :	<u>19+</u>	<u>M.S.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
Neutronic_Engineer (Team Leader)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline
5. <u>Robert Wescott</u> :	<u>35+</u>	<u>M.S.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
Neutronic_Engineer (Project Engineer)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline
6. <u>Jerry G. Ingham</u> :	<u>33+</u>	<u>B.S.</u>	<u>Mechanical Eng.</u>
Mechanical Engineer (Team Leader)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline

7. <u>Stone S. Luo</u> :	<u>18+</u>	<u>Ph.D</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
Safety Analysis Engineer	Experience	Education	Discipline
(Project Engineer)	(years)	(Major/Degree)	
8. <u>Lance G. Riniker</u> :	<u>28+</u>	<u>M.S.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
Safety Analysis Engineer	Experience	Education	Discipline
(Project Engineer)	(years)	(Major/Degree)	
9. <u>Ion Munteanu</u> :	<u>15+</u>	<u>M.S.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
Safety Analysis Engineer	Experience	Education	Discipline
(Project Engineer)	(years)	(Major/Degree)	
10. <u>Chad C. King</u> :	<u>5+</u>	<u>M.S.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
Safety Analysis Engineer	Experience	Education	Discipline
(Project Engineer)	(years)	(Major/Degree)	
11. <u>Cameron D. Myers</u> :	<u>1+</u>	<u>B.S.</u>	<u>Chemical Eng.</u>
Safety Analysis Engineer	Experience	Education	Discipline
(Project Engineer)	(years)	(Major/Degree)	
12. <u>Wei-Ting Chen</u> :	<u>1+</u>	<u>M.S.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
Safety Analysis Engineer	Experience	Education	Discipline
(Project Engineer)	(years)	(Major/Degree)	
13. <u>Grant C. Blake</u> :	<u>1+</u>	<u>M.S.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
Safety Analysis Engineer	Experience	Education	Discipline
(Project Engineer)	(years)	(Major/Degree)	

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 “Neutronic 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，一般情形 AREVA 公司會指派較資深的人員擔任 QA 內部審查者。

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 : AREVA 公司之 KS1C26 填換爐心設計及暫態安全分析均已完成，並於 2017.3.13 發函寄送 RLA 及 COLA 等報告予本公司相關單位審查，報告均已審查完畢並定稿。

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 係 AREVA 公司用來取代原本所用 SEIMENS 公司之品管程序書 EMF-1928(P)

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：QC 人員的發現、執行者的改正或說明及 QC 人員的複查均於計算書內留有紀錄。

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 V No N/A

Comment：填換燃料型式(ATRIUM-10)及使用燃料匣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 V No N/A

Comment: 查閱計算書 47-9250886-001(Multi-Cycle Fuel Management Analysis for KS1C26 AREVA NP Fabrication Batch KS1R25)第 3.0 節，可知 KS1C26 用於維持週期能量 1468Gwd

的 168 束填換燃料中有 116 束 Batch KS1R25 的燃料 A10-4046B-14GV75a，預估濃縮度為 4.046 wt% U-235，平均退出燃耗為 45 GWd/MTU；再查閱計算書 FS1-0031029 Rev 1 (KS1C26 Disposition of Events)第 7.1 節，由於改為長週期運轉，週期能量 1584Gwd，A10-4046B-14GV75a 燃料束數量因而增加 16 束為 132 束，實際濃縮度並增加為 4.048 wt% U-235，即 A10-4048B-14GV75。填換燃料濃縮度實際值略微增加應屬合理，且與預估值的一致性已達到小數點第二位，故可推斷 KS1C26 爐心設計之預期退出燃耗應可接受。

Nuclear Design

爐心設計

1. AREVA 【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：查閱計算書 FS1-0025808(KS1C26 Licensing Analysis Work Plan) p.5，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】【AREVA 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】【AREVA Plant Parameters Document and Work Plan】？

Yes No N/A

Comment：查閱計算書 FS1-0030257 Rev.1 (KS1C26 Fuel Cycle Design)之 Table2.1 Key Results for the CS1R27 Fuel Cycle Design 與 Table 6.8 Energy and Key Results Summary，並比對廠家 FS1-0025808 (KS1C26 Licensing Analysis Work Plan) p.18 之 Table 2 Core Design Assumptions，KS1C26 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 No N/A

Comment：KS1C26 爐心設計依計算書 FS1-0025808 Rev.1 (KS1C26 Licensing Analysis Work Plan)執行，經查閱計算書 FS1-0030257 Rev 1 (KS1C26 Fuel Cycle Design)之第 6.7.1 節(GE SIL 320)、第 6.7.2 節(AREVA Fuel Management Guideline Compliance Check)及第 6.7.3 節 (REMACCX Criteria Check) 準則檢查：Max(P-Pcs) \leq 2 kw/ft，確認本週期爐心設計皆不違反 GE SIL 320 Supplement 3，同時設計時已考慮將燃料挪移步驟盡可能抑減，同一計算書的第 6.7.2 節中記載 KS1C26 沒有燃料使用 Zr-2 燃料匣，因此不需要執行 EFID 的計算。

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 No N/A

Comment：查閱計算書 FS1-0030257 Rev 1 (KS1C26 Fuel Cycle Design)，KS1C26 爐心設計依據當時最新版本 EMF-2000(P) guideline 2-2 rev.6(2013.2.13 發行)執行。

5. Do vendor review and file TPC's "Core Design Review Report(CDRR)"?

(Calculated by CASMO-4/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 No N/A

Comment：廠家表示已審閱 CDRR 報告，惟並無設計上的建議，因此設計並無改變。

6. Check the input and design-record-file of lattice code, 【GE TGBLA, AREVA CASMO-4】 , especially the various pin rods distribution, rod dimensions. Is there any update or error ?

檢查廠家燃料晶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 No N/A

Comment : 查閱計算書 FS1-0025936 Rev.1(KS1R25 Cross-Section Library Generation)內的廠家燃料晶格程式輸入檔(CAZAM input file) , 確認各晶格內各燃料棒的相對位置 , 並比對報告 ANP-3478P Rev.1 (KS1R25 Fuel Design Report) , 並無發現錯誤。

7. Check the input and design-record-file of 3-D simulator code 【GE PANACEA】【AREVA 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 位置之宣告是否有更新或錯誤 ?

Yes No N/A

Comment : 查閱計算書 FS1-0030257 Rev.1 (KS1C26 Fuel Cycle Design)及報告 ANP-3478P Rev.1 (KS1R25 Fuel Design Report) , 並比對爐心設計的輸入檔(hsc.ks1c26_step)及輸出檔(mcb.ks1c26_step)(路徑 : ks1/cy26/neutronics/RE-Licensing/step/) , 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 No N/A

Comment : KS1C26 爐心全部皆採用 AREVA 公司之 ATRIUM-10 燃料 , 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 No N/A

Comment：查閱計算書 31-9134563-000 (KS Units channel Seal Resistance Tuning for MB2) 並比對爐心設計輸入檔(hsc.ks1c26_step)之熱水力參數，主要是比對各燃料型式的 ORF_LOSS_COEF 是否一致，其他 LTP_LOSS_COEF 和 UTP_LOSS_COEF 幾乎不會變動，各燃料型式分為 peripheral zone、0 beam、1 beam、2beam，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 No N/A

Comment：查閱 KS1C26 COLR 報告(ANP-3471 Rev.1)和爐心設計輸入檔(hsc.ks1c26_step) 之熱限值資料，並無發現錯誤。

11. Does **【GE peak pellet discharge exposure】** or **【AREVA 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 No N/A

Comment：審查計算書 FS1-0031029 Rev.1 (KS1C26 Disposition of Events)之 Table 7-2 KS Unit1 Cycle 26 Fuel Exposure Limits at EOC+500 MWD/MTU，本表列出 KS1C26 執行本週期設計滿載燃耗(Nominal Design)再加上 500 MWD/MTU (licensed cycle exposure,安全設計滿載燃耗限值)之 step through 計算，爐心設計最大退出燃料束燃耗為 51.3488 GWd/MTU < 54.0 GWd/MTU，最大退出燃料棒燃耗為 56.2501 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 No N/A

Comment : KS1C26 週期使用 MICROBURN-B2 進行爐心設計，AREVA 公司已執行計算書 32-9120963-000 Rev.1 (KS2C20 Core Follow and Projection)，以決定 KS1C26 熱爐之目標增殖因數，此目標增殖因數已反應電廠爐心追隨計算結果；另外 AREVA 公司已執行計算書 FS1-0015443 Rev 1 (Kuosheng Cold Critical Data and TIP Statistics)，以決定 KS1C26 冷爐之目標增殖因數，此目標增殖因數已反應電廠冷爐臨界測試計算結果。

13. Is the radial RMS error between TIP trace measurement data and off-line axial power profile of core follow calculation reasonable? 【AREVA: one standard TIP deviation $6\% \times 1.645 = 9.87\%$, 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 No N/A

Comment : 兩部機截至本次稽查出發前的最新 CORE FOLLOW 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? Are over-all average differences between on-line and off-line MCPR 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？MCPR 誤差是否合理？

Yes No N/A

Comment : 進行 CORE FOLLOW 分析時，最需注意是否有預測值(MICROBURN-B2)較電廠的運轉數值(POWERPLEX III)為小的情況(表示電廠在實際運轉時的熱限值餘裕比設計的餘裕少，此即為 UNDER PREDICTION)。審查 KS1C25 全週期之 MFLCPR、MAPRAT、MFLPD 之預測值雖均較 POWERPLEX III 數值為小(誤差分別為 5.3% ,4.8%, 4.7%)，但與限制值相

比仍有足夠的餘裕。

15. Will the reload core designs meet planned 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 No N/A

Comment：審查計算書 FS1-0030257 Rev.1 (KS1C26 Fuel Cycle Design)之 Table 6.11 KS1C26 Energy and Key Results Summary 計算結果，KS1C26 週期能量為 1584±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 No N/A

Comment：審查計算書 FS1-0030257 Rev.1 (KS1C26 Fuel Cycle Design)之 Table 6.11 Energy and Key Results Summary 計算結果，KS1C26 BOC 停機餘裕(CSDM)為 1.17%，以週期 25 之 short window (EOC25 Nominal Exposure-500MWD/MTU)為基準去分析，R 值等於 0.02，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 No N/A

Comment：審查計算書 FS1-0030257 Rev.1 (KS1C26 Fuel Cycle Design)之 Table 6.11 Energy and Key Results Summary 計算結果，KS1C26 熱限值餘裕為 MAPLHGR=12.7%、LHGR=8.3%、MCPR=9.4%，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 No N/A

Comment：審查計算書 FS1-0030257 Rev.1 (KS1C26 Fuel Cycle Design)之 Table 6.11 Energy and Key Results Summary 計算結果，KS1C26 之 SBLC 最小停機餘裕為 1.19%，以週期 25 之 short window (EOC25 Nominal Exposure-500MWD/MTU)為基準去分析，R 值等於 0.02，符合接受標準($\geq 0.88\%$)。

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

Comment：因為台電與 AREVA 之間必須依簽訂的合約內容進行履約，若要得到最理想之設計，則必須花較多時間試試其他燃料佈局及控制棒佈局並可為安全分析所接受，此部份並未記載於合約中，故無法要求廠家進行最理想化(最佳化)的計算。但廠家爐心設計上均可符合所有 AREVA 公司及本公司之接受標準。

Transient Analysis

暫態分析

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

【AREVA ACE】廠家使用之臨界功率比關係式版本是否正確？

Yes No N/A

Comment：KS1C26 使用之臨界功率比關係式版本已改版為 ACE/ATRIUM Rev2, ANP -10249P-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 No N/A

Comment : 查閱計算書 FS1-0030173 Rev.1(KS1C26 Core Redesign-MCPRSL) , 根據 Reference 4 可知 KS1C26 使用之 CPR 關係式及 Additive Constant 為 ACE/ATRIUM Rev2, ANP-10249(P)(A) 所記載。

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 No N/A

Comment : KS1C26 採用之臨界熱功率關係式為 ACE/ATRIUM Rev.2, ANP-10249P-A , SLMCPR=1.09 。而 KS1C25 之臨界熱功率關係式為 ACE/ATRIUM Rev.1, ANP-10249P-A , SLMCPR=1.10。查閱計算書 ANP-3470(P) Rev.3 (KS1C26 RLA)及 ANP-3331 Rev.0 (KS1C25 RLA) 之 Table 3.2 , 計算 SLMCPR 所需輸入之 Uncertainty 參數中 , 只有 Channel Bow Local Peaking Factor 有變更 , 由 KS1C25 的 4.22%增加為 KS1C26 的 4.58% 。

4. Have the plant-specific transient parameters **【GE OPL-3】****【AREVA 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 No N/A

COMMENT : 根據報告 ANP-3469P Rev.0 (KS1C26 Principal Plant Parameters) , 再循環泵的參數與前週期有不同 , rated speed=1780 rpm , rated head=815 ft , pump inertia=15400 lbm/ft² , pump specific gravity=0.75。其他參數則不變。再循環泵的參數對暫態影響不大 , 因為急停時會引起再循環泵跳脫。

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
- Load Rejection 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？
- 負載跳脫，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： 審閱計算書 FS1-0025809 Rev.1 (Kuosheng Unit1 Cycle 26 Safety Analysis Task Plan)、FS1-0030176 Rev.1 (KS1C26 Core Redesign-MCPRp and LHGRFACp)及 FS1-0030178 Rev.1 (KS1C26 Core Redesign-MCPRf)可知，KS1C26 與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。額定功率之極限暫態為 TTNB。暫態分析無變更，其分析之暫態項目為：FWCFNB、LFWH、TTNB、CRWE。

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： 查閱計算書 FS1-0030178 Rev.1 (KS1C26 Core Redesign-MCPRf)，KS1C26 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，分析方法並無變更。

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) 【AREVA 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 No N/A

Comment: 查閱計算書 FS1-0030176 Rev.1 (KS1C26 Core Redesign-MCPRp and LHGRFACp) , LHGR 設計限值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 LHGRFACp 之限值。因此 KS1C26 之單位線性熱功率限制值是經由暫態分析求出。

8. Is APLHGR 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

Comment: 查閱計算書 FS1-0030174 Rev.1 (KS1C26 Core Redesign-LOCA limiting Power History)可知 MAPLHGR 屬無關週期之分析項目, 若是電廠 ECCS 的相關設備未做更動則 MAPLHGR 不須再分析, 因此 KS1C26 APLHGR 未再分析。

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 No N/A

Comment: 經與 AREVA 負責安全分析人員確認, KS1C26 無新的安全議題需要被分析。

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 No N/A

Comment: 查閱計算書 FS1-0030262 Rev.1 (KS1C26 Backup Stability Analysis)的 Figure 2.1 , 本週期之非穩定運轉限制區由衰變比值曲線(DR)確實為 DR=0.85 及 DR=0.9 來作為邊界。

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：審閱報告 ANP-3470P Revision 3 (KS1C26 Reload Licensing Analysis)，KS1C26 週期之最高燃料護套溫度(PCT)為 1754°F，小於 2200°F 法規限值。

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：審閱計算書 FS1-0030172 Rev.1 (KS1C26 Core Redesign-ASME Over-Pressurization)計算結果，ASME 過壓暫態的三種分析 CASE 包含 MSIV Closure、TCV Closure 及 TSV Closure。比較 Table 2.1 的 TSV/TCV/MSIV 三種分析結果，最 limiting 的 case 分別為 Pr(Steam Line)=1290 psig、Pr(Vessel Dome)=1246 psig 及 Pr(Vessel Lower Plenum)=1276 psig，皆小於 1375 psig 之限值，符合限值可接受。

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 FS1-0030338 Rev.1 (KS1C26 Control Rod Drop Accident Analysis)，事故最大熱焓值為 195.7 cal/gm，發生在 BOC，小於熱焓限值 280 cal/gm。大於燃料棒受損熱焓(170 cal/gm)之根數為 144 根，發生在 MOC，符合小於 770 根之限值要求。

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

Yes V No N/A

Comment：COTRANSA2：uapr12、XCROBRA：uapr15、XCROBRA-T：uapr15、SAFLIM2：udec11、ACE：Rev.2。

15. AREVA 【EXEM/BWR、RELAX、HUXY】 GE 【SAFER/GESTR-L】

Are above ECKS codes' or methodology's version updated ?

Yes V No N/A

Comment : EXEM/BWR : EXEM/BWR-2000、RELAX : uapr12/umay12、HUXY : uaug14、
RODEX2-2A : ufeb05。

16. Special issue discussion :

Comment : 詳見三、審査期間訪談摘要。

三、審查期間訪談摘要

1. 事先要求 AREVA 公司提供 KS1C26 填換爐心設計相關的指引、程序書及計算書。

【答】：AREVA 公司於其事先準備的稽查辦公室 3 台個人電腦，由專人協助說明如何登錄查詢本次審查填換爐心設計相關的計算書、指引、人員訓練紀錄、專案報告、工作站主機(Work Station)相關的輸入檔及輸出檔(I/O 檔)，並提供相關計算書紙本供審查團隊於辦公室進行查核，若另需參考資料，AREVA 公司亦會隨時提供紙本參考。

2. KS1C26 的 RLA Rev.3 已加入 coastdown 的結論，請具體說明 Coastdown 的分析方法，或提供具體資料(包括 3 份計算書，供稽查摘要之用)，並答覆原能會的問題：「COASTDOWN 期間之功率可變化幅度無最低功率限制」請提供佐證資料。

【答】：

- (1) AREVA 公司的中子分析主管簡短說明分析方式是，當 ARO 且用流量控制

仍無法維持滿載時，固定此時的 hot Keff，用 power search 去分析下降幅度。

- (2) 針對 AEC 的問題：「COASTDOWN 期間之功率可變化幅度無最低功率限制」請

提供佐證資料，查閱計算書 FS1-0032448 KS1C26 Core Redesign-Coastdown p.44

可知，AREVA 公司已經針對 coastdown 期間的暫態做了三套分析(nomial、

EOC-500、EOC-1000)，證明 coastdown 期間暫態的 MCPRp 都 OK，而不論有沒有

考慮 coastdown，LICENSING BASIS 的 Δ CPR 在 Pbyypass 以上皆遠大於 DESIGN

BASIS，因此電廠運轉時的 MCPRp 曲線不會因為 COAST DOWN 而需要改變。

AREVA 公司的暫態分析主管並提供該分析資料的簡報以佐證。

3. 核一廠因水棒連接桿斷裂，相關的肇因分析需要知道斷裂位置大於 1.0 Mev 的中子通量(fluence)，以及 AREVA 對於該中子通量的評估方法為何？

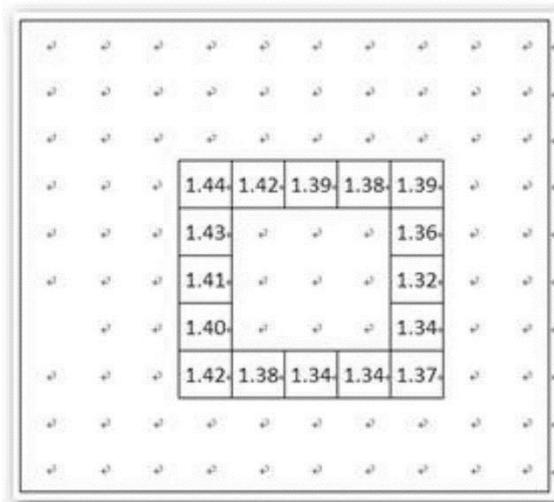
【答】：此問題於 2016 年的 Audit 工作已討論過一次，本次針對核一廠水棒連接桿斷裂的問題有二：

- (1) 確認斷裂位置。

【答】：水棒斷裂位置在燃料底部 BAF 上方 375.29 公分處，即燃料棒軸向第 25 個節點上，濃縮度為天然鈾(即 0.71%U₂₃₅)。

- (2) AREVA 公司計算水棒斷裂處中子通量的評估方法為何？

【答】：水棒斷裂位置大於 1Mev 以上的中子通量的分析方法，是追蹤累積此燃料束內每根燃料棒第 25 節點中子通量，從該燃料束放入爐心開始累積每根中子通量，一直到水棒斷裂為止，雖然斷裂位置在第 25 節軸向上方 10 公分處，但 AREVA 並不考慮軸向分布效應，認為誤差不大。AREVA 以第 25 節點水棒周圍燃料棒中子通量均值作為水棒斷裂處之中子通量，其分布與結果如下圖，水棒周圍 16 根燃料棒均值約 1.378×10^{21} n/cm²，與第 25 節全燃料(83 根)的平均相近。



4. AREVA 公司安排參觀核燃料製造廠行程。

【答】：8/14(一)抵達 AREVA 公司開會後，負責本公司核一、二廠燃料合約執行之專案經理 FOLLETT Robert (Bob)提議安排燃料製造工廠參訪行程。於是安排於 8

月 15 日(二)上午，由 **Bob** 帶領我們參訪鈾轉化廠、燃料製造工廠及燃料組件加工廠。在參訪前均須先穿上防護鞋，並戴上護目鏡後，才能進入工廠內。

- (1) 鈾轉化廠，AREVA 公司接收濃縮公司的 UF₆ 後進行轉化。鈾轉化分為濕式及乾式，各有其專屬工廠。濕式轉化廠利用化學藥劑將本公司買到的鈾料溶解，再轉化為適合用來燒結為燃料丸的粉狀型式；乾式轉化不需經過溶解的步驟，效率較高，但因乾式轉化受限於原料鈾料型式，故仍需要濕式轉化。控制室內共有 3 台終端機監控鈾轉化槽流程。鈾轉化廠外面有轉化後剩下的殘渣儲放場，以及興建中的回收處理廠。
- (2) 燃料製造廠，負責將燃料丸裝填至燃料護套中，經過檢測後再將燃料護套集結成燃料束，過程須確保燃料丸及燃料束的排列不能出錯，故十分重視燃料裝填的部份及燃料裝填完畢後的檢測部份，只有通過考核的工作人員才可以進入裝填燃料所處的紅線區。**Bob** 說明裝填方式是用高頻率的微小震動，讓燃料丸裝填進護套中，而現有的燃料丸有削角設計，可減少 PCI 破損的機率。接著，填入燃料丸之燃料棒須經過資深工程師利用中子及加馬射線來掃描檢查燃料束軸向的濃縮度，以驗證軸向裝填的正確性，再於水平量測台進行調校，調校完的燃料棒最後經由自動化設備分類儲存。除了最後將燃料護套集結成燃料束的工作仍需依賴人工外，製造流程均已經自動化，對於提升燃料製作品質極有助益，該廠資深員工剛好與 **Bob** 提及，集結燃料束的自動化設備即將到位，未來這一段的工作也會自動化。整個生產線的產品均利用履歷條碼進行流程管制，配合電腦進行中央管理，可確保各項組裝元件之正確性。整體環境清潔明亮，材料、器具也都陳列整齊，廠內動線常見設置防止異物入侵的 FMEZ。
- (3) 燃料組件加工廠，本區貯存及處理組裝燃料束所需的零件。部分由其他工廠製作之燃料組件，如燃料束底座、異物濾網等，則是運到本廠後再進行細部拋光。加工廠內除了陳列了歷代燃料束底座外，**Bob** 還說明了該公司下繫板 LTP 能有效防止異物入侵的設計，以及 ATRIUM-10 和 ATRIUM-11 的差異。

肆、結論、心得與建議事項

一、結論

本次審查 AREVA 公司所執行之本公司 KS1C26 填換爐心設計，符合本公司及 AREVA 公司內部所要求之接受標準，因此 KS1C26 之填換爐心設計結果為可接受。另外針對本公司所提出的議題，AREVA 公司亦已提供答覆，或提供文件電子檔供本公司參考。

二、心得

1. 本次赴 AREVA 審查發現熱流分組有許多到職僅一年之新進人員，大部分已完成熱流分組所需訓練，其作法是利用短期密集訓練及事前提供適當程序書及自動化作業程序供新進人員遵循，短時間的時間就可讓新進人員熟悉相關分析工具、分析手法及實際製作符合品質要求之分析報告，其訓練效率相當有效。
2. 本次出國前即已針對填換爐心設計審查查核表所需之審查資料進行研究，掌握本次工作之內容，因此在到達 AREVA 公司後即可馬上翻查到相關數據，節省許多時間。
3. 今年的爐心設計審查工作，雖然職是首次執行此工作，無此項工作經驗，所幸曾在電廠 6 年的時間有接觸過與爐心設計相關的工作，審查相關輸入輸出檔不至於毫無概念，且本次核研所有 2 名經驗豐富的研究人員協助，使得本次工作得以順利進行。
4. 本次出國審查任務承蒙公司內長官們支持及給予增廣見聞的機會，同時也要感謝 AREVA 公司的協助及配合，讓這次的工作得以順利完成。期許自己配合公司政策發展，工作上做好維持機組運轉安全及穩定運轉外，並協助推動核能安全強化措施。

三、建議

1. 歷次出國審查任務的办理流程應該詳細記錄下來，提供後進一個可遵循的依據。
2. 若有核研所同仁同行，最好能夠中子、熱流分組各一位，審查工作會順利得多。

Good morning, (ladies and) gentlemen. I am so glad to see you all here. Since today we will have 7 working days to do core design audit work, and we have some other questions that need to discuss with your team to try to figure out the direction of nuclear power in Taiwan more specifically.

As we know, nuclear is the sensitive issue in Taiwan, for BWR, only KS unit 1 is still operating now, and this force Taipower to face difficulty in power supply. For KS unit2, what we face is a non-technical problem. If we get permission to restart C25 in the end of this year and can use the additional 440 new racks. Taipower plans to optimize the EUP(Energy Utilization plan) and enable KS1 and KS2 to operate to decommission time nearly.

For the past decades, AREVA NP has been one of our most important fuel and core design supplier. Your operations are organized and efficient. Every time we met fuel problems beyond our abilities, your team always give us strong support in time.

About this audit, we will do the routine quality check as usual and some questions offered by Kuosheng and INER. Such as how to optimize the rack usage of KS unit1 for the longest operation including full power

and coastdown situation.

Again, we want to express our deepest appreciation for your reliable , outstanding customer service and long term good relationship.

Thank you.