

出國報告（出國類別：洽公）

核能一廠一號機週期二十四 填換爐心設計審查

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：李榮達/核能工程監

派赴國家：美國

出國期間：97 年 06 月 10 日至 06 月 23 日

報告日期：97 年 7 月 31 日

出國報告審核表

出國報告名稱：核能一廠一號機週期二十四填換爐心設計審查		
出國人姓名	職稱	服務單位
李榮達	十一等核能工程監	台灣電力公司核能發電處
出國期間：97 年 6 月 10 日至 97 年 6 月 23 日		報告繳交日期：97 年 7 月 31 日
出國計畫主辦機關審核意見	☐ 1. 依限繳交出國報告 ☐ 2. 格式完整（本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」） ☐ 3. 內容充實完備。 ☐ 4. 建議具參考價值 ☐ 5. 送本機關參考或研辦 ☐ 6. 送上級機關參考 ☐ 7. 退回補正，原因： ☐ 不符原核定出國計畫 ☐ 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 ☐ 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 ☐ 電子檔案未依格式辦理 ☐ 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 ☐ 8. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： ☐ 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。 ☐ 於本機關業務會報提出報告 ☐ 9. 其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	☐ 1. 同意主辦機關審核意見 ☐ 全部 ☐ 部分_____（填寫審核意見編號） ☐ 2. 退回補正，原因：_____ ☐ 3. 其他處理意見：	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

報告人：	單位：	主管處：	總經理：
	主管	主 管	副總經理

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

核能一廠一號機週期二十四填換爐心設計審查

頁數 34 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

李榮達/台灣電力公司/核能發電處/十一等核能工程監/02-23667100

出國類別：☐1 考察☐2 進修☐3 研究☐4 實習☒5 其他

出國期間：2008/06/10~2008/06/23 出國地區：美國華盛頓州

報告日期：2008/07/31

分類號/目

關鍵詞：填換爐心設計分析、POWERPLEX-III 爐心監測系統、AREVA

內容摘要：(二百至三百字)

本次核一廠一號機週期 24，為核能一廠一號機進行小幅功率提升(MUR)第 1 個週期，之前核能一廠 2 號機已完成小幅功率提升條件下之填換爐心設計分析亦已經主管機關審查核備，本次審查重點在於 1 號機新運轉情況下，確認廠家使用參數之正確性，並已經進行必要之分析，以確保核能電廠運轉之安全。

審查期間包括填換爐心設計審查、審查期間的 16 個問題與討論，並與 AREVA 專家舉行專業技術討論。最後在離開前並與 AREVA 公司之專家們進行審查後會議，職提出本次審查後之 1 項優良作業、1 項須改善事項及 5 項建議，供 AREVA 參考或修正，AREVA 公司亦同意本公司之審查意見，將研究後將辦理情形告之本公司。

總結，本次爐心設計審查均符合本公司及 AREVA 公司內部之接受標準。

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

目 次

內 容	頁次
壹、出國目的	1
貳、出國行程	2
參、任務過程	3
一、CS1C24 填換爐心設計審查	3
二、CS1C24 填換爐心設計審查查核表	5
三、審查期間訪談摘要	19
圖 1 核能一廠 Keff 值與週期燃耗圖	25
圖 2 西屋 CR99 控制棒葉片	26
四、審查期間重要會議摘要	27
1. 介紹填換爐心設計分析作業流程	27
2. OPRM DIVOM 圖形分析計算簡介	29
五、審查後會議摘要	30
肆、結論、心得與建議事項	33

壹、出國目的

本次出國往返程共計 14 日，主要任務為赴美國之核一廠填換爐心設計廠家法商亞瑞華公司（AREVA-NP），審查核一廠一號機週期二十四(CS1C24)有關反應器填換爐心設計分析作業，包括填換爐心執照分析報告（Reload Licensing Analysis, RLA）爐心運轉限制值報告（Core Operating Limits Report, COLR）、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經濟性之需求。

審查期間包括填換爐心設計審查、審查期間的問題與討論，並與 AREVA 專家舉行 3 次專業技術討論；包括核一廠一號機週期二十四再填換燃料執照分析(Reload Licensing Analysis, RLA)審查議題討論、OPRM 安全分析方法介紹及填換爐心設計分析作業主要工作流程及內容等；AREVA 公司亦安排至核燃料束製造工廠生產線參觀。最後在離開前並與 AREVA 所有相關工程師、分組主管及經理，進行審查後會議，提出本次審查後之 1 項優良作業、1 項需改正事項、5 項建議，供 AREVA 參考或改正。

經由本次審查結果，AREVA 公司所提供之核一廠一號機週期二十四填換爐心設計均符合 AREVA 公司內部及本公司所要求之接受標準，因此此爐心設計是可接受的。

貳、出國行程

97 年 6 月 10 日至 97 年 6 月 23 日(含往返程 5 日)共計 14 日，於美國華盛頓州里其蘭市(Richland, WA) AREVA 公司執行本項任務。詳細行程如下：

日 期	行 程	摘 要
6/10~6/11	台北→西雅圖→ 帕斯克→里其蘭	往程
6/12	AREVA 公司	(1) 辦理入廠手續及相關訓練(保安、工安及輻安) (2) 建立稽查用之電腦工作站 (3) 召開審查前會議 (4) 參與 AREVA 公司 KS2C20 爐心設計內部會議
6/13	AREVA 公司	進行 CS1C24 爐心設計審查
6/14~6/15	里其蘭	星期假日
6/16~6/18	AREVA 公司	(1) 介紹填換爐心設計分析作業主要工作流程及內容 (2) 進行 CS1C24 爐心設計審查 (3) 參與 KS 電話會議討論二號機佈局 (4) 討論預送 AREVA 之審查議題
6/19	AREVA 公司	(1) 進行 CS1C24 爐心設計審查 (2) 審查報告整理
6/20	AREVA 公司	(1) 參觀核燃料製造工廠 (2) 參加 AREVA 公司內部核燃料完整性簡報課程 (3) 介紹 AREVA OPRM 設定點分析計算的方法 (4) 審查後會議
6/21~6/23	里其蘭→帕斯克→ 西雅圖→台北	返程

參、任務過程

本次任務分三方面進行審查，首先，以本處之『台電沸水式反應器爐心設計審查指引』為依據進行『CS1C24 填換爐心設計審查』。其次，在出發前將本處所關心之議題，先行傳送給 AREVA 公司，以便到美國後與 AREVA 公司相關專家討論，詳細問題與答覆內容共 16 題，參考以下第參、三節『審查期間訪談摘要』。另 AREVA 於審查期間安排 2 個會議說明填換爐心設計作業流程及簡介 OPRM DIVOM 圖形分析評估方式，詳以下第參、四節之『審查期間重要會議摘要』。最後，在離開前與 AREVA 相關專家舉行一個『審查後會議』，詳以下第參、五節，將此行之審查結果提出供 AREVA 公司參考與修正。

一、CS1C24 填換爐心設計審查

1. 依據本處之『台電沸水式反應器爐心設計審查指引』逐項審查，並配合相關之計算書審查、並隨時與設計者討論澄清，以及查對爐心設計工作站內的輸入檔等方式，完成 CS1C24 填換爐心設計審查查核表。
2. 在 CS1C24 填換爐心設計審查查核表中(詳以下第參、二節)，有詳細的審查結果及審查意見。審查結果均能符合台電及廠家的接受標準，唯有 1 項經審查後認為有改善的空間，並提出 5 項建議案供 AREVA 公司參考(詳參、任務過程參之五、審查後會議之章節)，其中於計算書中有 2 個錯誤，不影響分析結果，但亦請 AREVA 予以修正。
3. 本週期 CS1C24 爐心設計之主要接受標準及分析結果摘要如下：

項目	接受標準	分析結果
全功率運轉能量需求，GWd	861.0	861 GWd
週期初停機餘裕(BOC CSDM)	1.0	1.01 % Δ k/k
最小停機餘裕	1.0	1.01 % Δ k/k
最小 CSDM 之燃耗	--	0.0 MWd/MTU
週期 R 值	--	0.0 % Δ k/k
最小備用硼液系統(SLC)停機餘裕	3 %	3.31 % Δ k/k
最小(SLC) 停機餘裕之燃耗	--	0.0 MWd/MTU

週期初(BOC)熱過剩反應度	1.0	1.24 %△k/k
最小 MAPLHGR 餘裕及燃耗	8.0 %	16.9 %@6,160 MWd/MTU
最小 LHGR 餘裕及燃耗	8.0 %	9.3 %@5,128 MWd/MTU
最小 CPR 餘裕及燃耗	8.0 %	9.0 %@11,440 MWd/MTU
週期末燃料束最大燃耗	54.0GWd/MTU	49.63 GWd/MTU
週期末燃料棒最大燃號	58.7GWd/MTU	52.76 GWd/MTU
燃料匣彎曲準則	GE SIL320& AREVA's Guideline	1. 符合 GE SIL320 Supp.3 規定 2. EFID 程式計算結果沒有 控制單元內有超過兩束 可疑燃料 3. 皆符合 AREVA PD 規訂
燃耗限值分析基礎	--	897.4 GWd

4. 由以上之分析結果，核一廠一號機週期 24 之爐心設計報告，符合台電之要求及 AREVA 公司內部之接受標準，因此可接受。

二、CS1C24 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>Kevin S. Quick</u> :	<u>18</u>	<u>M.S.</u>	<u>Mechanical Eng.</u>
Transient analyst (Lead Engineer)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline
2. <u>J. Dirk Howlett</u> :	<u>8.5</u>	<u>B.S.</u>	<u>Engineering</u>
Transient analyst (Engineer)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline
3. <u>Chuck E Hendrix</u> :	<u>33</u>	<u>M.S.</u>	<u>Mechanical Eng.</u>
Transient analyst (Engineer)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline
4. <u>Stone S Luo</u> :	<u>23</u>	<u>Ph. D.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
QA internal reviewer (Lead Engineer)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline
5. <u>Adrian C Constantinescu</u> :	<u>2</u>	<u>M.S.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
Neutronic designer (Project Engineer)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline
6. <u>Peng Wang</u> :	<u>9</u>	<u>Ph. D.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
QA internal reviewer (Project Engineer)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline
7. <u>Philip Pat Keef</u> :	<u>10+</u>	<u>T.C.</u>	<u>Pre Eng.</u>
Engineering Assistance (Assistant Engineer)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline
8. <u>K Walter</u> :	<u>10+</u>	<u>M.S.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
QA internal reviewer (Project Engineer)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline
9. <u>Dang Patchana</u> :	<u>10+</u>	<u>M.S.</u>	<u>Nuclear Eng.</u>
QA internal reviewer (Lead Engineer)	Experience (years)	Education (Major/Degree)	Discipline

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

Comment：(1). 中子物理工程師必須完成報告 EMF-2034 Rev.3 “BWR neutronics training requirements”內容之訓練。(2). 安全分析工程師必須完成報告 EMF-2044 Rev.3 “BWR safety analysis qualification and 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 AREVA 會指派較資深的人員擔任 QA 內部審查者。(4). 以上人員經查其中 Adrain 及 Philips 訓練紀錄，顯示尚未完全完成 core design 及 core follow 之訓練，據了解 QA Philip 實已完成訓練但未登錄。

另有關中子物理工程師之資格要求相關指引(EMF-2034)，因應程式工具更新及實際工作需求，已改版 Rev 3，新增須完成資格訓練項目，惟個人訓練表格仍沿用舊表格無法，新增需再訓練項目（如 MicroBurn B2, CASMO-4 等），有上課紀錄但未登錄於個人訓練表內(表內亦無相關項目)，無法於個人訓練紀錄中完整了解其所具之資格，亦不易管控，擬建議其改善個人訓練紀錄之管控方式。

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

Comments：目前爐心設計已完成並通過品保程序，而依規劃時程安全分析及其品保程序目前尚在進執行，預訂於 6 月底完成，依時程將於 7 月 8 日提送 RLA 及 COLA 報告給本公司

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：查核已完成 QA 審查之計算書均有依 EMF-1928(P) P104-119 rev.11 (JUN ,2008) 來撰寫 QA 審查計畫或要點，經核可後指定內部 QA 人員的審查結案。

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：經查七份已完成 QA 審查之計算書，內部品管人員發現均經改正或說明後再次經品管人員審查後結案。

計算書編號名稱：

- (1)32-9079233-000,Chinshan Unit 1 Cycle24 Fuel Cycle Desing
- (2)32-9042381-001,Chinshan Unit 1 Fabrication Batch CS1R23 ATRIUM-10
CrossSection Library Generation, FUELQR Uranium Requirements and Channel Bow Colorset Analysis
- (3)32-9063636-000, Chinshan Unit 2 Fabrication Batch CS2R23 ATRIUM-10
CrossSection Library Generation, FUELQR Uranium Requirements and Channel Bow Colorset Analysis
- (4)32-9079898-000,Chinshan Unit 1 Cycle 24 Stability Analysis
- (5)32-9079950-000,Chinshan Unit Cycle 24 Control Rod Drop Accident Analysis
- (6)32-9072498-000,Chinshan and Kuosheng ATRIUM-10 Cross Section Re-Generation
with Revised Additive Constants
- (7)32-9054674-000,Chinshan CS1R23 Fabrication Batch MAPLHGR Heatup Analyses

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： 仍使用 ATRIUM10 燃料，已獲原能會核備。另本週期將使用 58 支 AFC(Advanced Fuel Channel)燃料匣，相關報告已於 5 月份陳報原能會審查。

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 V N/A

Comment： CS1C24 填換燃料濃縮度為 4.036 wt%及 4.026 wt%，而預估退出燃耗為 49.63 GWd/MTU。依多週期分析報告本週期需 108 束燃料，而經實際爐心設計計算後為使用 102 束，在仍要符合 channel bow 各項準則要求下，AREVA 公司於本週期爐心設計可見其已盡最大努力。

Nuclear Design 爐心設計

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

廠家目前使用之燃料格及三維穩定模擬程式之版本是否變更且獲得執照？

Yes V No N/A

Comment : 目前使用之分析程式 CASMO-4(ujan06)/MICROBURN-B2 (uapr05/R05)已獲原能會審查核備。

2. Are the cycle-specific information **【GE FRED】【AREVA Fuel Design Parameters】** reflected in core design?

廠家爐心設計是否反應 **【GE Fuel Release and Engineering Data】【AREVA Fuel Design Parameters】** ?

Yes V No N/A

Comment : 經查對計算書 32-9079233-000，廠家爐心設計符合本公司之設計參數要求。

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 V

Comment : 廠家使用 MICROBURN-B2 後，已改以 REMACCX 10 Check (< 2 kw/ft) 進行檢查。(相關規範於爐心設計會議中確認)

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 : 廠家填換爐心設計 32-9079233-000 是根據當時最新版本即 EMF-2000(P) guideline 2-2 rev.5 ,Sep.2007 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 : 廠家是有審閱。而廠家本次針對 Hot target Keff 之訂定有建議，建議本公司依最接近（一~二次）完成全週期運轉之資料取保守訂定之，勿採用取歷次週期資料之 curve fitting 方法。

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: 審查計算書【32-9042381-001】及(CAZAM)輸入檔【cazin.A10T-4375L-15G70等共 7 個不同晶格參數輸入檔】並無發現錯誤；CAZAM 為用於建立 CASMO-4 輸入檔的轉換程式。另本次 CS1R23 使用之 assembly fuel type (Name :A10T-4368L-12G30) 與 CS2R23 assembly fuel type (Name :A10T-4368L-12G30)使用相同的燃料型式名稱，但檢視燃料晶格資料發現其中一晶格並不相同，此狀況有可能造成分析設計人員之錯誤判斷，建議 AREVA 公司研究改善。

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 位置之宣告是否正確？

Yes V No N/A

Comment: 檢視 min.cs1c24 輸入檔及計算書【32-9079233-000】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: CS1C24 爐心全部為 AREVA 公司之 A-10 燃料，燃料尺寸參數與前依週期均相同，並無修改；惟本週期首次使用 AFC 燃料匣，經核對 CAZAM 輸入檔（共 7 個晶格參數輸入檔）及計算書【32-9063636-000,第 6-14、6-15 頁】相關尺寸資料，未發現錯誤。

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: 本週期使用之參數與前週期相同，AFC 燃料匣熱水力及機械設計報告已送原能會審查中。

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: 本次稽查期間，相關安全分析尚未完全執行完畢（廠家內部 QA 審查中），不過安全分析人員依去之經驗先提供爐心設計者之預估值進行分析，惟據了解安全分析結果應無明顯差異。

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 V No N/A

Comment: 最大退出燃料束燃耗為 49.63 GWd/MTU < 54.0 GWd/MTU，最大退出燃料棒燃耗為 52.76 GWd/MTU < 58.7 GWd/MTU，所有退出燃料燃耗均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: 本週期使用冷爐之目標增殖因數依 AREVA 公司執行之 E-7497-N01-3 Rev. 1 “Chinshan MICROBURN-B2 Benchmarking Calculations” March 2006 訂定之，與前週

期值相同。熱爐之目標增殖因數依 CS2C22 爐心追隨結果及比較 CS1C23 和 CS2CS2 爐心設計 Hot target Keff 訂定，主要是反應了電廠最新爐心追隨計算結果，BOC Keff 調降 1.0 mk；燃耗於 4400~8800MWd/MTU 間調降 1.5 mk；EOC Keff 維持不變。

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 V

Comment : CS1C23 之爐心追隨計算執行至 3/29/2008(8502.4MWd/MTU) 【計算書 32-9069207-000，第 A-1~A22 頁】。結果與電廠 TIP 測量值之間誤差值為 4.25%~8.73%，平均為 6.9%，尚屬合理。AREVA 公司表示其並無本項規範要求。

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 than 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 than 3% 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 3%】?

Yes V No _____ N/A _____

Comment : CS1C23 爐心追隨計算至 3 月底之結果【計算書 32-9069207-000，第 6-10 頁】，MAPRAT=1.5% 及 MFLPD=1.7 %均符合本題之標準 5%，而 MCPR=2.6 %符合本題之 3%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：計算書 32-9079233-000 中第 2-1 頁表 2.1 中所述：能量為 861 GWd，符合本公司於爐心設計會議上之要求。

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：BOC 的停機餘裕(SDM)為 1.01%>1.0%符合接受標準(計算書 32-9079233-000 第 2-1 頁表 2.1)。

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：熱限值餘裕 MAPLHGR 為 16.9%、LHGR 為 9.3%及 MCPR 為 9.0%，均符合 8%之接受標準。(計算書 32-9079233-000 第 2-1 頁表 2.1)。

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：SBLC 最小停機餘裕為 3.31%，大於 3%之接受標準。(計算書 32-9079233-000 第 2-1 頁表 2.1)。

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：要問本填換爐心設計是否為最理想之設計，此部分較難以回答，因為廠家的設計標準只要符合接受標準即可，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布局並與可為安全分析所接受，一般廠家設計上只要符合所有 AREVA 及台電之接受標準即可。

Transient Analysis

暫態分析

1. Is the version of CPR correlation consistent with ROCAEC approved version?

【GE GEXL】【SPC ANFB&SPCB】

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： CS1C24 使用之臨界功率比關係式版本為 SPCB rev.2 此版本已獲原能會核備使用。

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： 本週期使用 CPR 關係式為使用依 KATHY LOOP ERROR 修訂後之 additive 常數分佈（爐心設計會議紀錄及 AREVA 信函 KAM:07:084 /FAB07-2394, Aug 2007）。經查計算書 32-9072498-000 已依更新後數值再產生新的 cross section libraries。

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 V

Comment： 本次稽查重點為爐心設計審查，安全分析廠家仍在進行，其結果將於 6 月底完成後相關 RLA 及 COLR 報告送本公司進行審查。

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： 本次稽查重點為爐心設計審查，本項安全分析廠家仍在進行，其結果將於 6 月底完成後相關 RLA 及 COLR 報告送本公司進行審查。

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 | ● 汽機跳脫，旁通閥未開？ |
| ● Load Rejection w/o Bypass | ● 負載跳脫，旁通閥未開？ |
| ● Loss of Feedwater Heating | ● 喪失飼水加熱 |
| ● Inadvertent HPCI Startup | ● 非預期 HPCI 啟動 |
| ● Feedwater Controller Failure w/o Bypass | ● 飼水控制失效 |
- 【KS】【CS】

- | | |
|--------------------------------|----------|
| ● Control Rod Withdrawal Error | ● 控制棒誤抽出 |
|--------------------------------|----------|

Yes _____ No _____ N/A V

Comment： TTNB、LRNB、LFH、CRWE 以 Cycle independent 分析報告含括；另非預期 HPCI 啟動、飼水控制失效兩項廠家仍在進行分析中。

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： 是由 Flow-run-out 暫態分析推演得到(屬 cycle independent，本週期未重做)；分析方法並無改變。

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 V

Comment : N/A(廠家表示無此文件)

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 V No N/A

Comment : 是由 LOCA 分析求出(屬 cycle independent)，本週期未重做

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 V

Comment : N/A

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 : 本週期之非穩定運轉限制區(Z 區) 以 DR=0.85 及 DR=0.9 進行分析計算，並將結果清楚標示在 Power-flow map 上【計算書 32-9079898-000 第 2-2 頁圖 2-1】。

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 No V N/A

Comment : 分析 CS1C24 兩新使用的燃料晶格，結果 PCT 最大值為 2032°F (< 2200°F) at 15000MWd/MTU。

兩燃料晶格名稱：A10T-4386L-12G30、A10T-4375L-15G70

計算書：32-9054674-000

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 _____ No _____ N/A V

Comment： 本次稽查重點為爐心設計審查，本項安全分析廠家仍在進行，其結果將於 6 月底完成後相關 RLA 及 COLR 報告送本公司進行審查。

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： 分析結果 245.2 cal/gm 小於接受標準 280 cal/gm。【計算書 32-9079950-000 第 2-1 頁表 2-1】

14. AREVA【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：UOCT06，XCROBRA：UJUL07，XCROBRA-T：UJUL07，SAFLIM2：UAPR07，SLPREP：UAPR07。

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

Yes V No _____ N/A _____

Comment： EXEM/BWR2000：是一個方法論而不是程式，HUXY：ujan01/r03。

16. Special issue discussion:

Comment： 詳參、三、審查期間訪談摘要，參、四、審查期間重要會議摘要，以及參、五、審查後會議摘要。

三、審查期間訪談摘要

1. 要求 AREVA 公司針對此次審查準備稽查辦公室，並須包含必要的電腦及通訊設備供稽查人員審查時使用。

【答】AREVA 公司於本公司稽查人員抵達前即已安排稽查辦公室，其中並已備妥 3 套個人電腦且可連接至其公司的內部網路，並有可供使用的通訊設備可與台灣公司內相關人員討論時使用。

2. 要求 AREVA 公司針對此次審查標的核一廠一號機週期二十四爐心設計提供相關的指引、程序書及計算書。

【答】於稽查前 1 個月洽請 AREVA 公司依 95 年稽查建議事項先提供爐心設計指引供本公司稽查人員查閱，而 AREVA 公司於稽查員出發前幾日才將部分資料傳至 AREVA 公司台北辦公室，惟時間緊迫無法抽空前往查閱，僅能於稽查期間透過 AREVA 公司的內部網路，線上瀏覽相關的指引及程序書。因此次稽查標的的相關計算書部分剛完成，部分尚在品質人員審查階段，故相關計算書皆未建立電子檔上網，稽查期間 AREVA 公司依稽查員要求提供晒件供查閱。

3. 請說明如何訂定核一廠爐心設計之週期中(MOC)冷爐臨界 K 值。

【答】爐心設計工程師 Adrian 表示在進行 MICROBURN-B2 bench- mark 計算（計算書 E-7494-N01-3）時，因核一廠週期中冷爐臨界 K 值數據很少，故參考其它使用 ATRIUM-10 燃料之 BWR 電廠(如 River Bend、Grand Gulf、Browns Ferry、Susquehanna、LaSalle 等) 週期中冷爐臨界 K 值，發現與週期初(BOC)相較約下降 2~4mk，故核一廠週期中(燃耗 2000MWd/MTU 以後)之冷爐臨界 K 值以較週期初減少 3mk 訂定之。

4. 請說明如何訂定核一廠週期二十四爐心設計目標 K 值。

【答】爐心設計領導工程師(Lead Engineer)Patchana 表示週期爐心設計目標 K 值訂定之方式，主要依據相同反應爐最近剛完成全週期運轉之爐心追隨計算結果 K 值變化及取適當保守度(要能涵蓋)訂定之。如核一廠一號機週期二十四是參照二號機週期二十二之爐心追隨計算結果。AREVA 中子分析指引 2.1 第 7.1.1 節說明參考相似反應爐爐心追隨計算結果訂之，但並未明確要求須參考幾週期之數據。據了解核研所此次是取前 3 次爐心追隨計算結果 K 值之平均值。

另詢問為何核一廠一號機週期 24 之前後(使用 104 及 102 束新燃料)所使用

的目標 K 值不同。AREVA 工程師表示，第 1 次分析時(104 束)是用先前分析使用之目標 K 值，尚未參爐心追隨計算結果調整目標 K 值進行分析，後經爐心設計領導工程師建議依最新爐心追隨計算結果修正之。

5. 請提供 AREVA 公司最新版之 EFID、Peripheral Duty(PD)準則及使用於 CS1C24 及 KS2C20 爐心設計之結果。另外請說明 AREVA 公司於其它電廠使用 PD 的經驗，是否在爐心設計時使用 PD 準則。

【答】AREVA 於稽查期間提供 EFID 及 Peripheral Duty 準則文件供參考，且已將相關準則程式化(xefid perl script)，使用於核一廠一號機週期 24 及核二廠二號機週期二十爐心設計之核對，CS1C24 新爐心設計佈局，因核一廠已於 1 號機第 22 次大修更換 19 束核燃料匣，故並無違反相關準則之控制單元。另廠家亦完成 KS2C20 新爐心設計佈局之核對，結果無任何控制單元違反 EFID 及 GE sil 320 準則，但有 24 個控制單元違反 PD 準則。AREVA 領導工程師 Patchana 表示該公司發展之 PD 準則主要目的是做為電廠在執行燃料匣彎曲相關測試(如控制棒之停妥時間量測)時之篩選工具，而非做為爐心設計時之核對準則，故目前僅只有本公司要求將此 PD 準則套用於爐心設計，其它使用 AREVA 公司核燃料的國外電廠，於爐心設計階段均未要求套用此 PD 準則。

6. 請提供使用於 CS1C24 及 KS2C20 爐心設計之新核子燃料製造批次資料，本公司已請 AREVA 公司避免使用另一機組製造批次之新核子燃料。

【答】基於本公司核燃料庫存政策，於核二廠第 20 週期爐心設計 Kick-off meeting 時請 AREVA 公司依循某一機組新燃料只可用於該機組之原則，本次稽查亦針對此議題進行了解。查 AREVA 公司核一廠 1 號第 24 週期及核二廠 2 號機第 20 週期爐心設計結果，發現仍有混用機組間燃料之情形，核一廠 1 號機使用 16 束 2 號機新燃料；核二廠 2 號使用 40 束 1 號機新燃料，且 AREVA 公司表示未來核一廠 1 號機第 25 週期及核二廠 1 號第 21 週期仍會發生混用情形。AREVA 公司台灣計畫經理 Kris 針對此問題特別請負責中子設計之領導工程師向職簡報說明主要原因：因新燃料製造批次之數量是依製造前各機組燃料批次設計時（約大修燃料填換前 2 年）的 EUP 能量需求來進行計算，而後若本公司調增容量因素或執行功率提升計畫或大修工期調整使週期運轉天數增加等均會增加週期能量需求，導致實際需用新燃料數量多於原製造

批次設計燃料數量，此必須挪用另一機組之新燃料而導致後續週期亦連代會發生原製造批次設計燃料數量不足情形(已先被挪用)。在討論中 AREVA 公司強調其已了解本公司對此問題的重視，在未來新燃料合約執行時將盡力符合本公司之要求。

7. 核一廠 2 號機週期 23 停機餘裕的趨勢圖（在週期中出現 2 個低點）與先前週期趨勢不同，請說明。

【答】中子分析領導工程師表示停機餘裕分析計算主要為符合大於 1%的要求。會影響停機餘裕的趨勢變化的因素有（1）填換爐心核燃料佈局，控制單元內核燃料燃耗組成狀況，不同的組成情況會使週期中停機餘裕的變化不同（2）爐內核燃料可燃毒素棒的設計濃縮度不同亦會使週期中停機餘裕的變化不同。故 2 號機週期 23 停機餘裕的變化趨勢屬正常，且符合大於 1%的要求。

8. 請說明核一廠 1 號機週期 24（CS1C24）部分核燃料使用進步型核燃料匣(AFC, Advanced Fuel Channel），爐心設計分析時以何種熱水力模式模擬此種核燃料。

【答】爐心設計工程師表示，已對使用 AFC 及 Fuelguard 底部繫板(LTP, Low Tie Plate)的 ATRIUM-10 核燃料建立新的熱水力模式，相關熱水力分析報告 (ANP-2701P R.0)於今年 5 月間送本公司，目前原能會審查中，而 CS1C24 之 ATRIUM-10 均尚未使用 Fuelguard LTP，僅部分燃料使用 AFC，該工程師表示仍以所建立 AFC 及 Fuelguard LTP 熱水力模式來進行模擬，其認為差異很小且可涵蓋僅使用 AFC 之情況，亦請其在此次爐心填換執照分析報告(RLA)中說明此差異。

9. 請說明在進行新製造批次核燃料設計時，如何評估判斷此新核燃料設計符合貯存於電廠用過核燃料池之條件。

【答】核一廠是依第 2 次用過燃料池格架容量擴充安全分析報告(Holtec)所得之貯存條件進行評估判斷，評估準則有：

- (1)核燃料晶格在標準冷爐爐心幾何形狀(SCCG)的 K_{∞} 須小於等於安全分析報告內圖 3-5 所得的限值。
- (2) ATRIUM-10 燃料的濃縮度不大於 4 wt%則至少須含有 4根濃縮度 2 wt%以上的可燃毒素(Gd_2O_3)棒；或 ATRIUM-10 料的濃縮度不大於 4.8 wt%則至少須含有 9根濃縮度 2 wt%以上的可燃毒素(Gd_2O_3)棒。
- (3) 最大初始平均濃縮度不大於 3.6 wt%。

核二廠是依用過燃料池格架容量擴充安全分析報告內所得最大 8×8 SCG 之 K_{∞} 值做為限值，所設計之新核燃料晶格最大 K_{∞} 須小於此限值。據了解 AREVA 公司於今年才收到核二廠第 2 次用過燃料池格架容量擴充安全分析報告相關資料，故 AREVA 之評估尚未將新格架(ENSA)資料納入。惟核二廠於第 2 次容量擴充所新增的貯存格架(ENSA)，所設計之 Boral 濃度遠高於舊格架設計且格架之 Pitch 值與舊格架相同，而 ENSA 公司所完成之安全分析報告對 ATRIUM-10 有進行評估分析，故初步評估核二廠新格架(ENSA)仍可適用舊格架之限值，不過仍請 AREVA 公司對於核二廠 2 號週期 20 使用的新燃料依最新的格架分析資料進行評估。

另亦向 AREVA 公司反應，過去 AREVA 公司會於爐心填換執照分析報告(RLA)中說明此新燃料貯存於用過燃料的臨界評估結論，但此報告約於機組大修起動前 3~4 個月才送交本公司，此時新燃料早已運抵電廠甚至有部分新燃料已完成接收檢查貯存於用過燃料池，此時序上似不甚適合，故請 AREVA 公司考慮能將相關結論於多週期分析報告(EDD)或燃料設計報告中說明。

10. 請說明在週期 24 爐心設計時，使用 102 束新燃料爐心佈局的目標 K_{eff} 值與使用 104 束新燃料爐心佈局的目標 K_{eff} 值不同。

【答】104 束新燃料爐心佈局的目標 K_{eff} 值是爐心設計工程師依先前週期爐心設計時所使用的目標 K_{eff} 值進行分析，之後再參考最新爐心追隨的結果經由爐心設計領導工程師與設計分析者討論訂定之，因 C1C23 及 C2C22 爐心追隨的結果有效增殖因數(K_{eff})均較爐心設計目標 K_{eff} 低，故決定將 C1C24 的爐心設計目標 K_{eff} 調低，但週期末(EOC) ARO(all rod out)的設計目標 K_{eff} 仍維持與先前週期相同（參附圖 1）。

11. 請建議如何改善週期末 CPR 熱限值餘裕變小的問題，特別是在控制棒佈局更換或棒位調整時，常發生因 CPR 熱限值餘裕不足而無法藉由一次調棒即達成爐心設計之控制棒目標佈局，因而須增加降載調棒次數，損失運轉之容量因素。增加週期末爐心設計的餘裕(8%→10%)或增加週期容量因數(如 98%→99%)，何種對燃料使用效率較好？

【答】目前爐心設計之 CPR 熱限值餘裕限值為 8%，惟 AREVA 爐心設計領導工程師(Dang)認為本公司核電廠在控制棒佈局更換時的降載幅度較大(因配合水箱清洗降載至 50%熱功率)，導致氙毒(Xe)的暫態變化大、CPR 熱限值餘裕不足，

而使控制棒無法順利定位於目標位置。若本公司認為有增加爐心設計 CPR 熱限值餘裕的需求，可正式提出，惟此會增加新燃料的使用量，依其估算若增加 4%(8%→12%)CPR 熱限值餘裕約需增加 4~6 束新燃料的使用量。另若增加全週期 1%的容量因素(如 98%→99%)，約增加週期能量 14.7GWd (以核二廠 2943MWd；500 天/週期估算)，約需增加 2 束新燃料(14.7 ÷8.5)，但 Dang 表示若爐心設計 CPR 熱限值餘裕限值仍維持 8%，而以增加週期容量因數方式，於週期末運轉可改善 CPR 熱限值餘裕的程度，並無相關的量化數據可供參考。

12. 請說明於核一廠 1 號機第 24 週期(CS1C24)及核二廠 2 號機第 20 週期爐心設計時是否有執行「挪移準則」(shuffle criteria)。

【答】挪移準則」(shuffle criteria)為 AREVA 公司於使用 Micorburn B(node power 計算)進行爐心設計時所使用的準則，目前 AREVA 公司已改用 Microburn B2(pin power 計算)進行爐心設計，相關判斷準則改以 REMACCX-10 準則，及 $|P - P_{cs0}| \leq 2 \text{ kw/ft}$ ，經查 CS1C24 計算書，已完成此準則的檢查並無違反的情形。

13. 請提供對本公司核一廠二號機週期 23 CDRR(Core Design Review Report)的意見。

【答】AREVA 爐心設計領導工程師表示有一建議，即對於熱目標有效增殖因數(hot target Keff)之選定，目前台電公司是取之前所有週期爐心追隨數據的平均值訂定之，其建請本公司改參考近 1~2 週期爐心追隨之數據，以函蓋 (bounding)的方式訂定之。

14. 請介紹最新的燃料完整性監測方法，若有相關範例亦請提供參考。

【答】目前 AREVA 公司並無開發新的燃料完整性監測方法。惟爐心設計領導工程師表示其以 Xe138/Xe133 的活度比值對核二廠的數據進行趨勢追蹤及分析，可判斷過去核二廠發生燃料破損的時間，經其判斷目前核二廠 2 號機的爐內核燃料並無破損現象，其氙活度比趨勢追蹤及分析資料亦提供給核二廠做為參考。

15. 請說明在 CASMO-4 中如何建立(模擬)西屋 CR-99 型控制棒葉片。

【答】本公司核二廠於 1 號機週期 20 開始使用西屋 CR-99 型控制棒葉片，因 Microburn-B2 對於控制棒 ZONE 的設定最多只能提供 5 組參數之設定，而之前核二廠 1 號機反應爐內已使用奇異公司 D100 (1 zone)、D-230 (2 zone)、馬拉松型 (2 zone) 三種控制棒，故無法於 Microburn B2 中直接模擬西屋

CR99 型控制棒，經評估比較後，AREVA 爐心設計工程師改以 D230 型來模擬 CR99 型控制棒，惟本公司及核研所使用之爐心設計平行驗證軟體 Simulate-3 並無前述限制。

關於西屋 CR99 型控制棒設計為採水平向硼吸收管設計（參圖 2）有別於過去奇異公司垂直向硼吸收管，CASMO-4 為 2D 模擬程式無法直接模擬 CR-99 型之水平向硼吸收管須先轉換成垂直向硼吸收管，此轉換的方式及相關參數的使用在模擬上將會有差異，故此次稽查特向 AREVA 負責建立 CR-99 控制棒 CASMO-4 模式的工程師請教了解其如何建立此模式。

AREVA 公司在採用 CAZAM 轉換程式來建立 CASMO-4 的輸入檔，檢視 CR99 於 CAZAM 輸入檔的參數主要建立 CR99 外觀尺寸資料、吸收區高度及寬度、B4C 管內徑、控制棒每葉翼分區數（CR99 用“1”）等，再利用 CAZAM 程式轉換成“等效”垂直向的吸收管，依 CR99 控制棒的設計尺寸每葉翼（wing）可轉換成 13 支垂直向的吸收管及計算得 B4C 的等效密度。

16. 請說明核二廠 1 號機第 20 週期週期初(BOC)起動時，停機餘裕測試所得的結果與 Startup and Operation Report(SOR)報告分析所得的值有明顯的差異。

【答】本項於本公司提送 KS1C20 CDRR 報告時已正式請 AREVA 公司說明，惟 AREVA 公司並未正式回覆，故安排於本次稽查再次了解其處理情形。依爐心設計領導工程師表示該公司已經重新審查 KS1C20 相關的分析計算書文件，並未發現任何異常，故不確定真正的影響因素，推測可能是電廠執行測試時抽棒速度及量測方面的影響，核二廠 1 號機爐心中子偵檢器初由源階中子偵檢器 (SRM)更換成寬範圍中子偵檢器(WRNM)，可能運轉員在抽棒操作上有別於過去。

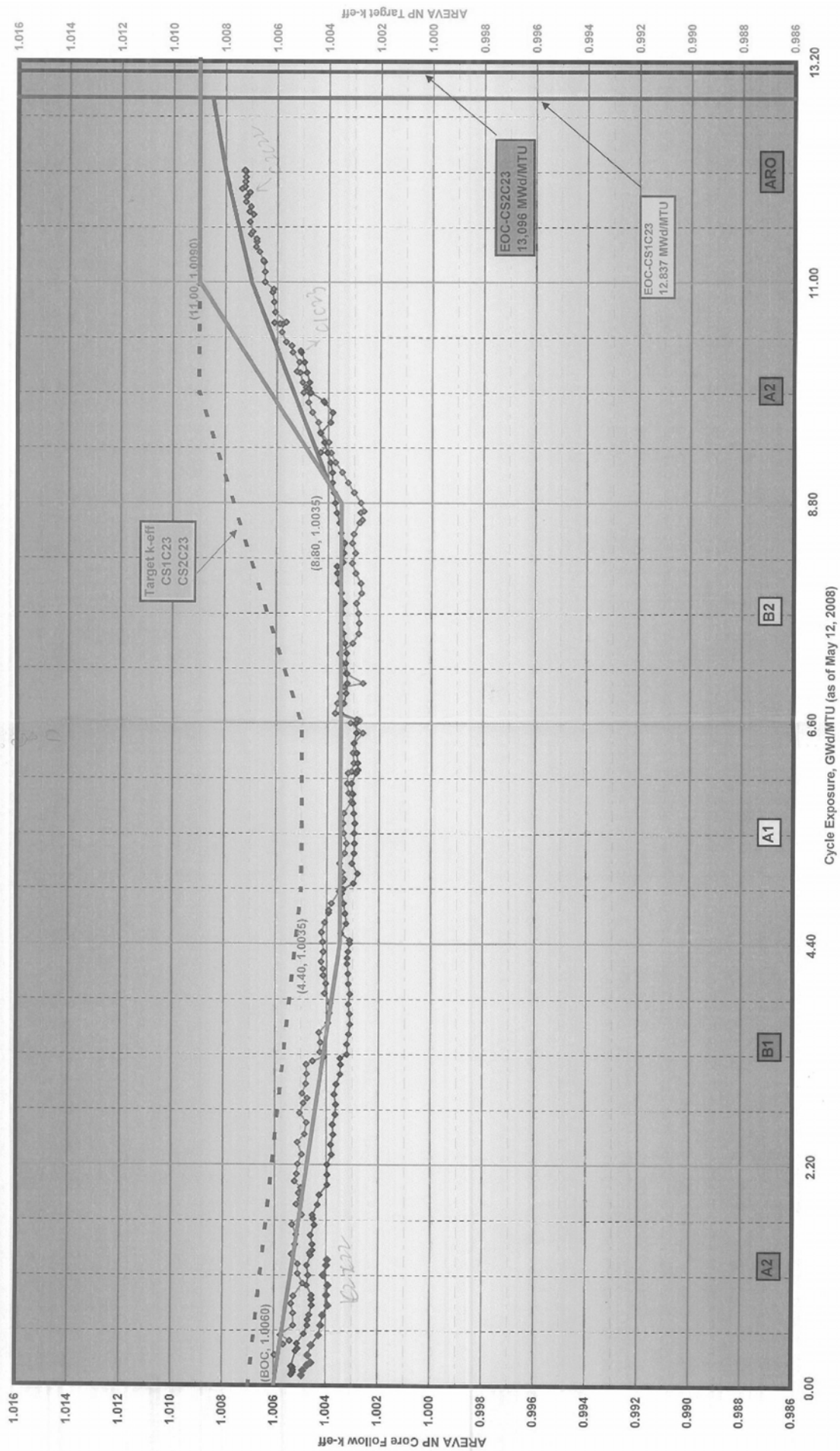


圖 1. 核能一廠 Keff 值與週期燃耗圖

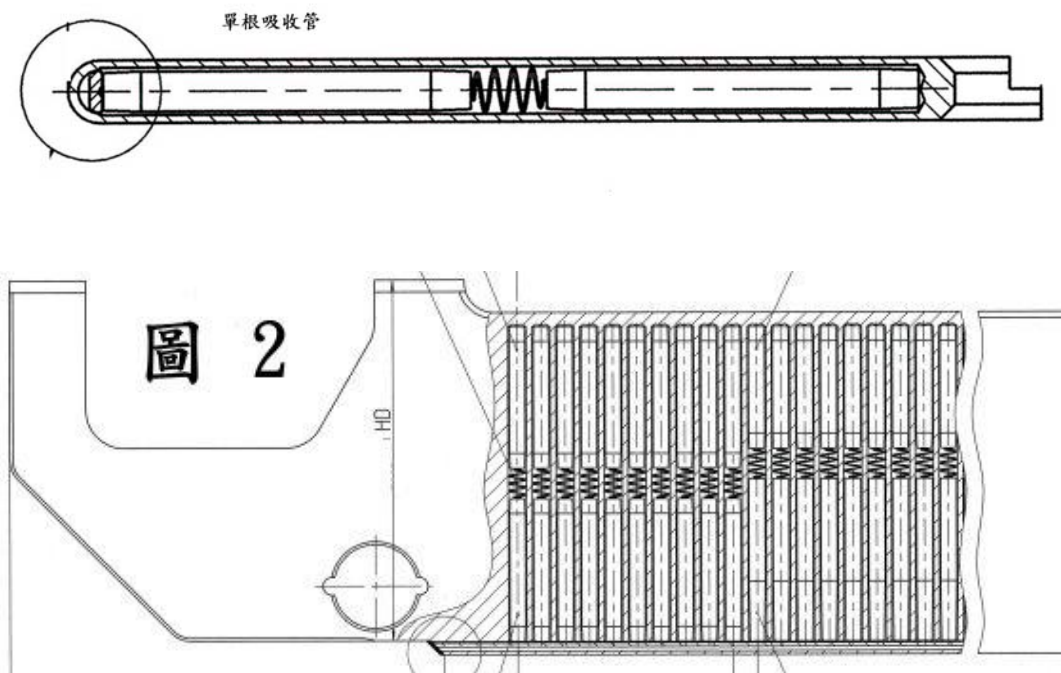


圖 2 西屋 CR99 控制棒葉片

四、審查期間重要會議摘要

1. 介紹填換爐心設計分析作業流程。

因安排審查的時間有限，為快速了解 AREVA 公司於填換爐心設計工作的流程，特請其安排介紹作業流程及重要的要求限值。

填換爐心設計工作主要分為四個步驟，在開始之前需與本公司討論決定電廠參數(PPD)及計算分析計畫參數(如：週期能量、熱限值餘裕、停機餘裕限值 $\geq 1\%$ 、燃料匣彎曲相關規範使用及燃料預調節等)。

步驟一：初決定週期使用新核燃料數量

由週期能量 (E_0) 估算所需用的新核燃料數量 (N_0)；估算式 $N_0 = E_0 \div (8.5 \sim 8.8)$ 。以「最強」填換爐心佈局核對週期末過剩反應度 $\geq 0\%$ ，若有不符情形則增加新燃料的數量。

步驟二：建立填換爐心佈局，並核對停機餘裕 $\geq 1\%$

關於此步驟計算所使用冷爐目標 K_{eff} 的訂定，參本報告第三、3 節。一般而言，因對 Once burned 的核燃料是處於反應度最高的期間（參圖 3），故在非爐心邊緣位置，爐心設計工程師對單一控制單元採圖 A~C 的設計方式，圖 A 是較有效率的方式，若單一控制單元內放置的 4 束核燃料均為高燃耗的燃料則此控制單元所得的停機餘裕會較大。

依填換爐心佈局驗證全週期停機餘裕 $\geq 1\%$ ，如有不符再調整填換爐心佈局及重新驗證至符合。再將目前週期預估的週期燃耗減 500MWd/MTU 做為新週期的起始點驗證新週期的停機餘裕值亦符合要求。

步驟三：計算徑向尖峰因素(RPF, Radial Peaking Factor)，並驗證 $RPF \leq 1.58$ (核一廠)及熱限值餘裕符合要求 ($\geq 8\%$)

與安全分析小組討論初定 CPR 限值。以黑林原則(Haling principle)計算分析最佳化(控制棒全出)的功率分佈檢查最大的 RPF 值是否符合要求限值。

參考電廠提供爐心設計時所使用的爐心流量範圍（核一廠為 82~98%），依週

期中不同燃耗之滿載穩定時控制棒佈局，計算其 K_{eff} 及熱限值，計算所得之 K_{eff} 須與之前依第三、4 節方法所定之熱爐目標 K_{eff} (Hot target K) 相差在 0.5 mk 內（爐心設計指引 2.2 的要求為 1mk），若不符須重新調整控制棒位置或爐心流量大小。確認 K_{eff} 可接受後，檢查熱限值餘裕符合 $\geq 8\%$ 之要求，若有不符且無法以調整控制棒佈局方式獲得改善，則須調整填換爐心佈局並重執行步驟二、三。

步驟四：檢查週期末 (EOC) 計算所得 K_{eff} 值是否 $\geq$ 設計所定週期末 Hot target K_{eff}

週期末計算所得 K_{eff} 值須大於設計所定週期末 Hot target K_{eff} 才能確保於新週期週期末仍有足夠的熱過剩反應度，但若有過多的熱過剩反應度則可考慮減少所使用新核燃料的數量（如 2~4 束）。惟若調整所使用新核燃料的數量前述步驟一~四皆需重新執行。

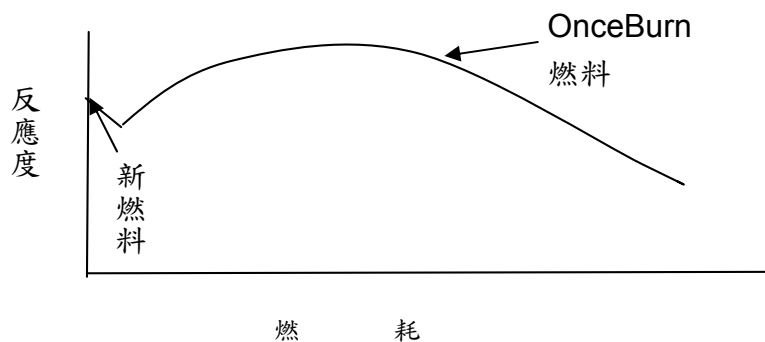


圖 3

F	O
O	F

圖 A

F	T
O	F

圖 B

H	H
O	O

圖 C

F：新燃料

O：Once- BURN 燃料

T：Twice-BURN 燃料

H：High BURNUP 燃料

2. OPRM(Oscillation Power Range Monitor) DIVOM 圖形分析計算簡介。

依現行核燃料合約，AREVA 公司並不須提供核一廠每週期所需 OPRM DIVOM(Delta-over-Initial CPR Versus Oscillation Magnitude)圖形分析計算，DIVOM 圖形訂定設定點計算的依據，故目前是委請核能研究所依奇異公司裝設 OPRM 時所執行第 1 次的分析計算結果，討論評估取一較保守值供核一廠每週期使用。惟依新燃料合約 AREVA 公司須提供核一廠每週期 DIVOM 圖形的分析計算，特於此次審查期間請其安排專人進行簡介。DIVOM 圖形的分析計算主要分為三部分：

第一部分：計算 HCOM (Hot Channel Oscillation Magnitude)

對會影響燃料束功率振盪大小的不同參數進行統計方式的計算與處理，結果會得到熱燃料束相對振盪大小(the hot bundle relative oscillation magnitude)與 OPRM 跳脫設定點的對應關係。此「hot bundle」只有最大相對振盪大小值的燃料束組。前述的對應關係因各核電廠的設計差異而有所不同 (plant specific)，若電廠設計改變影響到原基礎假設之參數，則需重新計算分析，核一廠此數據是由奇異公司分析計算提供。

第二部分：計算每週期 DIVOM 圖形(curve)

分析計算得熱燃料束相對振盪大小與相關 CPR 的改變量(Δ CPR)之保守關係圖(即 DIVOM 圖形)。

依奇異公司原始的方法論是以一般性基礎條件建立此 DIVOM 圖形，核燃料供應商只須針對新型式的核燃料進行分析計算新的 DIVOM 圖形或確認原一般性基礎條件建立之 DIVOM 圖形仍可適用，但奇異公司於 2001 年 8 月提出在高尖峰燃料功率流量比值情況下，此一般性基礎條件建立之 DIVOM 圖形並不夠保守，故必需針對每週期爐心填換設計及暫態分析的特性重新執行分析計算。

燃料廠家用來建立與週期相關的 DIVOM 數據之暫態分析程式，不需經美國核管會(NRC)核准，但相關模式的建立仍需完成廠家內部的品保程序。AREVA 公司目前是使用 RAMONA5-FA (RAM5)。

第三部分：計算訂定設定點

選用的 OPRM 設定點或決定 OPRM 設定點與 MCPR 運轉限值之關係，以確保暫態時不會違反 MCPR 安全限值。

五、審查後會議摘要

1. 審查後會議參加人員包括有 BWR 中子物理分析小組：分組主管 Earl、領導工程師 Dang Patachana、工程師 Peng Wang、工程師 Adrian C Constantinesc；安全分析小組：領導工程師 Kevin S. Quick、工程師 Stone Luo 及台灣計畫經理 Kris A. Mitchell、台電公司李榮達等 8 人。
2. 本次審查期間共發現 1 項優良作業、1 項需改進事項及 5 項建議：

1 項優良作業

核一廠第 24 週期爐心設計最終使用 102 束新燃料，本週期初進行設計工作時使用 104 束，比較先前多週期分析結果需求 108 束減少 6 束新燃料，且能量仍符合本公司 EUP 能量需求，此為爐心設計團隊了解本公司核能一廠有燃料池容量限制問題所做之努力，故特於審查後會議表示感謝。

1 項需改進事項

本次審查發現 2 名中子物理工程師的訓練紀錄，顯示尚未完全完成爐心設計及爐心追隨工作之訓練，進一步了解 2 位於半年多前已完成相關訓練，但尚未記錄於「個人訓練及證明表」內，安全分析小組有 1 位工程師的訓練紀錄亦有類似情況。

另有關中子物理工程師之資格要求相關指引(EMF-2034)，因應程式工具更新及實際工作需求，已改版(Rev 3)，新增需再訓練項目，惟「個人訓練及證明表」是舊格式，此新增需再訓練項目（如 MicroBurn B2, CASMO-4 等），有上課紀錄但未記錄於「個人訓練及證明表」內(亦未補列新增項目)，顯示「個人訓練及證明表」內容並不完整，無法從此紀錄表中了解相關工程師最新的訓練及資格狀況，故請 AREVA 公司改善提高「個人訓練及證明表」內容的完整性。可考慮於每次進行填換爐心設計分析前，將相關人員的訓練紀錄再審查一次，確認已符合資格。

5 項建議

- (1)由於稽查時間對整體爐心設計查核來說相當短暫，而 AREVA 大部分指引文件均已電子化，審查人員對於 AREVA 公司內部網路的架構及使用界面並不熟悉且有

瀏覽權限限制；另相關計算書因部分尚在進行品保審查，此次仍未能依前次填換爐心審查建議先將相關計算書備妥於稽查辦公室，且無清單可對照查詢。故建議 AREVA 公司於下次審查時提供其內部文件（含電子檔文件、內部網頁）使用指引及相關設計分析指引、計算書等文件清單供本公司審查人員參考。

- (2)審查 CS1C24 爐心設計計算書(32-9079233-000)，發現 2 處錯誤，請 AREVA 修訂①第 E-4 頁 第 3 行第 1 段文字提到控制單元座標為“37-07”，但此座標並非控制單元座標位置，請 AREVA 公司再核對。②AREVA 公司進行計算書品保審查時要求將燃料匣彎曲檢查程式(xefid Perl script)，增列於報告中所使用程式的相關章節，爐心設計工程師亦完成修訂，惟於報告封面相關使用程式之記載未一併修正。此 2 處錯誤並不影響計算結論，故請 AREVA 公司自行審查後修正。
- (3)核一廠第 24 週期填換爐心佈局設計中有 19 束核燃料之燃料匣於第次大修執行過燃料匣更換工作，但於填換爐心設計計算書中仍使用舊燃料匣燃耗進行燃料匣彎曲評估，經詢問爐心佈局設計工程師表示其在設計分析時亦有追蹤計算此 19 束核燃料新燃料匣之實際燃耗值，但並未於計算書中描述說明相關結果，故建議於計算書增加說明此更換後燃料匣實際燃耗值計算的結果，以利後續週期之追蹤。
- (4)發現此次使用的新燃料批次（CS1R23）有一燃料類型名稱(Type name)為 A10-4036B-15GV60，而新燃料批次 CS2R22 亦有一相同的燃料類型名稱，但查對其晶格設計資料發現其中有一晶格的設計並不同，此晶格的設計不同卻使用相同的 Type Name，在分析計算時可能會誤認為其晶格設計皆同而誤用，經查本次爐心設計計算書並無誤用情形，但仍建請 AREVA 公司對於有不同晶格設計的新燃料批次應使用不同 Type name 來命名。
- (5)於訪談期間了解，中子物理工程師在執行新批次燃料設計時，會根據電廠用過燃料池貯存格架的臨界安全分析結論進行評估確認此新燃料仍可安全貯放於用過燃料池，惟目前此相關結果是於填換爐心執照分析(RLA)報告內說明。對本公司而言在收到 RLA 報告時，此批新燃料早以運抵電廠甚至部分已完成新燃料接收檢查貯存於用過燃料池。故建請 AREVA 公司除於 RLA 報告中說明外，能提早於新批次燃料設計報告中增加此（新批次燃料貯放於用過燃料池）之計算評估

結論並提供本公司參考。

AREVA 公司技術經理 Kris 表示，感謝台電公司稽查人員提出的審查後建議，該公司將針對各項建議進行改進，並發行 CR(condition report：2008-3590、-3592、-3594、-3596、-3597)進行管控追蹤。

肆、結論、心得與建議事項

一、結論

本次審查結果，AREVA 公司所提供之核一廠一號機週期二十四填換爐心設計均符合本公司及 AREVA 公司內部所要求之接受標準，因此 CS1C24 爐心設計是可接受的。另針對所關心的 16 個問題，AREVA 亦給予滿意之答覆。此行不但了解廠家執行爐心設計之過程，對於廠家之品管過程亦留下深刻的印象。

二、心得

在近幾次赴燃料廠家進行爐心設計審查工作前，審查人員都能事先整理及準備該次爐心設計審查相關及公司內所關心及待澄清的議題，並於抵達廠家前即已提供廠家，讓廠家有充份時間準備相關資料或安排相關會議並邀請相關議題之專家簡報或到場說明並舉行會議討論。如此，則能在有限的時間下增加對議題的了解與澄清。另外，在此次的審查經驗也發現由於實際進行爐心設計相關審查的時間相當短，而且每次赴廠家進行審查的人員也可能輪替，審查人員如能在行前先行研讀廠家的設計及計算指引及程序書，對審查相關的計算書的效率應有相當大的幫助。

三、建議

1. 針對 AREVA 公司是否能事先提供填換爐心設計及計算指引供審查人員參考；因涉及廠家技術機密，相關分析設計指引文件，不便直接提送給審查人員參考，經與廠家溝通後，AREVA 公司表示願意將分析設計指引文件備妥於台北辦公室，故建議於下次進行審查工作前，可要求 AREVA 公司於審查工作前 14 日，將前述文件備妥於台北辦公室，審查人員可事先了解參閱。
2. 本次於安排參觀核燃料製造生產線時，了解 AREVA 公司對「防止異物入侵區域」(FME)管制方式，建議可做為本公司電廠 FME 管制之參考。首先於廠房內劃分特定的 FME 管制區域（周圍有明確的標示），所有進出此區的工具、零件均需管制，包括個人身上穿戴的飾物於管制站交專人保管，而進出此區的工作人員須完成「防止異物入侵區域」的訓練課程，並經審查核可後才可於此區工作及自行進出，AREVA 公司於核可人員的識別證上標示記號以利區分，未經核可的人員或訪客一定要由核可人員陪同才可進入。

3. 在與 AREVA 公司中子物理領導工程師討論過程，依其經驗建議本公司核電廠應儘可能縮短大修前新燃料貯放於用過燃料池的時間，主要原因爲用過燃料池在機組運轉期間並未嚴格進行 FME 管制，而就其經驗用過燃料池內雜物甚多，依美國電廠實際作業方式會先將新燃料貯放於新燃料貯存窖，待大修時再將新燃料吊運至用過燃料池進行燃料填換工作，以降低 Debris 入侵新燃料的機會。