核能二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓第三次審查會議逐字紀錄

主席：好！我們就開始核能二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓第三次審查會議，首先謝謝幾位審查委員參加，這次我們增加兩位：單委員跟邱委員加入我們陣容，感謝它們兩位，另外，蔡委員、丁委員、周委員、康委員繼續支援我們，另外我們邀請蔣委員另外有會議，蔡委員剛好在國外無法來參加，所以我們由六位委員協助我們審查，首先報告一下議程，等一下我們會有核管處幕僚報告，會把我們的規畫：從大修會議到最後結論時間的時程排出來，另外有肇因分析報告，接著審查委員意見跟委員討論。開始之前先謝謝貴賓參加，請鄭委員(民進黨鄭麗君立法委員，當日率助理數人列席旁聽)講幾句話...(鄭立委示意不用)，那我們先請核管處賴科長為我們做整件事情的報告。

賴科長：主席、各位審查委員、還有各位同仁好，我今天只會報兩頁，大略的講一下整個過程，其它部分請各位自行參考，這是審查流程圖，我們認為螺栓斷裂的肇因跟未斷裂的螺栓完好且預張力無誤是我們的審查重點，那我們可分為結構安全修復運轉安全、啟動運轉安全、還有爐心燃料全移除，這是我們幾個大的 item，那我們從這邊走下來，這個部分也是我們今天開會的主要目的，修復以後做結構安全分析，然後做安全查證，最後如果都沒有問題就可以起動運轉。如果螺栓肇因沒有共因而且未斷裂螺栓是完好，且預張力確認無誤，也有可能有個條件的台電修復計畫，然後也做過結構安全分析，周邊組件運轉安全，機組啟動運轉安全這個有條件修復計畫，在下次大修的時候會有一個後續修復計畫，那我們希望肇因跟未斷裂之螺栓完好，且預張力無誤等，這些部分都有澄清，沒有共因，且長時間內不會斷，這樣我們才有把握可以持續運轉 18 個月，接下來是我們規畫的一個圖，這個點就是今天我們第三次的審查會議，白色部分屬於台電，紅色是代表原能會，從視察前會議 3/14，第一次審查會議 4/3，然後 16 到

20 號的專案視察，派出 3 位視察人力，最後這兩個是看台電的時間伸縮才會關係到影響後面的行程。目前暫定是這個樣子，這個是屬於未斷裂螺栓的檢查，我們自己設定它們需要這些時間，然後周邊組件運轉安全，結構安全分析，修復計畫我們給它這麼一段時間，也許台電根本不需要，這個未來還可以討論，所有事情都解決以後會有一個第四次審查會議，會有一個安全評估報告，然後才起動准駁，報告完畢。

主席：依據立法委員，立法院教育文化委員會決議，今天所有簡報資料影音錄影都會公開上網。接下來換台電公司報告，先提醒一下台電需要針對某些部分進行加強，第一是地震部分，0.29g 部分我們不滿意，第二 CMTR 看起來你們也要做個回答，斷的有五根是同一個批次，這部分你們要做個澄清，第三，為什麼這個方向才有斷裂，要證明出來。剛剛預期起動要到六月初，可能會縮短也可能延長，就看你們是否能澄清。

台電林德福處長：謝謝主席、各位委員，今天很感謝來針對核二廠事件來做一個專案審查，等一下會議會有一個精要的報告，再針對主席強調事項最近一步說明，接下來簡報針對指出的部分進行簡報。

核二廠汪雅政課長：首先報告目前情況，目前修復方案完全符合原設計規範，包括材料及結構，已完成 B10、B13、C6、C9、D11、D14 等 6 支螺栓的更換。目前進行 A2 螺栓之修復工作自 4 月 21 日開始，目前持續進行中，預計將於 4 月 27 日完成。那修復方案符合原設計材料，材料檢驗方面，核對 CMTR 廠家的生產資格及品管程序，接收到材料後進行，超音波全體積檢測，確認材料內部無缺陷。整個更新螺栓依照程序書 1109.09 按法規要求執行機械組件之修理與更換及程序書 SP-2012-04 反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序書，那這個表就顯示我們使用新品材料的材質跟原來建廠材料材質的比較，那廠裡面有進行了 113 根螺栓鎖緊預力的一個驗證計畫，那這個部分呢我們已經執行了，那當時核二廠反應爐支撐裙板螺栓其需求

預力依計算書為 510kips，而新安裝時為因應螺栓的鬆弛，所以建廠安裝程序要求鎖緊 680kips。螺栓預力查驗，係以 560kips 那它的基礎呢是 510kips 加上 105 餘裕度來做這次螺栓的查驗，用來驗證螺帽仍在壓緊狀態，來表示呢螺栓預力仍大餘 560kips，那總共取樣 25% 共 29 支(內圈 14 支、外圈 15 支)進行預力查驗，結果全部符合。那這張表呢，是 show 出我們這一次呢，取樣錨定螺栓查驗位置的一個情形。我們是依照四個圓周分布去做一個隨選的動作，接下來報告的是，地震儀瞬間顯示 0.29g 之分析及說明，核二廠壹號機於 101/03/16 將運轉模式開關轉至停機位置時，觸動反應爐基座裙板地震儀，其中垂直向最大加速度值達 0.29g，經分析其反應頻譜、事後校正紀錄、事前背景訊號分析，均可證明此訊號係儀器故障而導致訊號失真之現象。同時呢，分析附近廠房地震儀(XE-104)歷年來運轉模式切停機時(含 101/03/16)之讀值均為 0.01~0.03g(二者地震儀距離僅 15 公尺)，且事後廠內執行廠房/設備檢查均無損壞，研判 101/03/16 並無 0.29g 之衝擊震波。六、肇因分析(肇因分析為審查第六項)，對於斷裂之螺栓，已送請核研所進行金相分析，並洽請奇異公司及工研院材化所共同探尋肇因，由熱室檢驗結果顯示：1.斷裂錨定螺栓斷面相當平坦，起裂破壞為脆性沿晶模式，並非疲勞造成之穿晶模式，因此疲勞不是本案起裂之原因。2.熱室檢驗結果確認螺栓材質未受腐蝕、沒有二次裂紋，因此排除 SCC 是造成起裂之原因。3.斷裂之螺栓所處的環境並非腐蝕環境亦不是充氫之環境，故排除氫脆造成起裂之原因。3 支螺栓也就是 A2，C 6、D14 受損肇因研判由以下三個因素同時存在：第 1 個因素是不當的安裝，這點可由我們觀察到的螺牙面的龜裂來佐證。2.淬火裂紋，這部分是屬於原始材料瑕疵及熱處理相關，我們所發現的證據是在材料的表面呢有一些微孔及微孔連接成的一個裂紋，那第三個因素是低延展性，這部分也是歸類為原始材料瑕疵跟熱處理相關我們所觀察到的證據是一個脆性沿晶破裂及高硬度測量值，其中有觀察到硫化物的一個夾雜物，七、安全評估的部分(安全評估為審查第七項)，7 支錨定螺栓即將完全修復，為能確切掌握反

應爐相關結構之安全，本公司保守假設錨定螺栓仍有可能存在 UT 檢測無法判讀的瑕疵，採取與原設計不同之考量方式，進行破壞力學分析，並預估可能之變動負載進行疲勞壽命評估。2.分析結果顯示，反應爐支撐裙板錨定螺栓承受設計基準最嚴苛之故障狀況，也就是 SSE+LOCA 之負載時，受力最嚴重之螺栓發生脆斷時之臨界裂縫深度為 0.46053 in，因此，假設目前錨定螺栓有現存 4.45 mm 之裂縫深度，在發生 SSE+LOCA 時，不致有發生脆性斷裂之疑慮。第三，評估可能承受之交變應力，包括每次起停機反應爐支撐裙板之外漲內縮及量測到之垂直振動等，其 40 年發生之應力循環數均遠低於螺栓之疲勞裂縫成長壽命，也就是斷裂前之容許應力循環數。因此，核二廠 1 號機應可繼續安全運轉一個週期以上無虞。八，震動監測計畫及加強檢測計畫：1.震動監測計畫，目的是用來監測反應爐基座裙板之振動情形，也就是強震儀 OSG-XE135 儀器透過網路建立現場地震識別監測盤面與主控室之連結，在強震儀震動觸發後，會立即送出訊息通知，觸發設定值降低為 0.015g，原來的設定為 0.16g，再來是反應爐基座外牆加裝 8 只振動加速規，利用實體線路接至主控室，可即時提供運轉人員來監視訊號即時存取資料，並每月進行資料分析及舊有資料之比對判定，以長期監測振動狀況 2 加強檢測計畫，依照我們的經驗，以目前把 ASME SECTION XI 所規定的目測檢測的方式並不能檢測出該反應爐錨定螺栓的斷裂，規劃於接下來每次大修皆執行 UT 檢測，九、結語 1. 缺陷之錨定螺栓將會完全依據原設計規範修復完成。2. 120 支錨定螺栓經超音波檢測已確認其完整性。3. 取樣 25%螺栓執行預力測試，符合設計需求。4. 在建立監測計畫下及接下來大修執行超音波檢測，將可確保錨定螺栓之安全性。5. 經本公司保守假設錨定螺栓仍有 2.5mm UT 無法判讀的裂縫進行破壞力學及疲勞分析結果顯示，運轉過程中錨定螺栓不致有發生立即斷裂及疲勞破壞之疑慮。因此，核二廠 1 號機應可繼續安全運轉一個週期以上無虞。好報告完畢

台電林德福處長：主席，因為這是我們很概略的一個報告，今天我們鎖定的三個

主題，分別是 0.29g 地震儀的一個澄清，再來就是螺栓受損肇因分析，第三是用一些手法來做安全評估，這三個主題是否容許各五分鐘的報告，好不好？對一個五分鐘很快有一個比較清楚的報告，好 0.29g 我們請核二廠的曾經理

主席：我覺得你從設備沒有破損，然後下結論說沒有 0.29g 你這個結論一定是完全是錯的，因為從世界各國上承受地震力超過它的 SSE 的話很多電廠都沒有問題，那照你的講法的話我高過 OBE 就應該要有損害，超過 SSE 那更應該要有損害，事實上說法應該不是這樣子，所以由你這樣來做結論的話那一定是錯的。

台電林德福處長：主席！是因為這個樣子，這是我們很扼要的部分，事實上對於 0.29g 我們是用頻譜然後其它的地震係還有現場佐證，不不是？

核二廠曾文煌經理：主席、各位委員大家好，核二廠做一個分析報告，那那個，03/16 大修停機過程中，將反應爐運轉模式開關轉至停機位置時，觸動反應爐基座裙板地震儀，其中垂直向最大加速度值達 0.29g，經分析其反應頻譜發現其垂直向極低頻訊號處與以往不同，可能係儀器故障而導致訊號失真之現象。我們當時查附近的紀錄後，距離 15 公尺遠的地震儀其讀值僅有 0.01-0.03g，那第一時間發生之後是 0.29g，我們執行廠房設備檢查，都沒有什麼異狀，那我們那個第一時間是研判儀器故障，所以並沒有 0.29g 衝擊波，那當然這是一時間的懷疑，底下有資料佐證，那個這是 0.29g 的這個一些，0.29g 這裡強大衝擊力的話，那附近周遭的設備它會建築物會呈現劇烈搖晃，建築物部分受損後，如果說那個地點有 0.29g 的衝擊波那附近的管路設備是必會有一點受損或輕微受損壞。

主席：我還是聽不懂，我今天敲一下 0.29g，我的房子有壞掉嗎，這第一點，第二點，不要忘掉，地震的頻譜本來就跟進去的這個 control rod 的頻譜是不一樣的，你不能拿地震的頻譜，來跟說這個因為地震頻譜是不一樣的，所

以我的訊號是假的。

核二廠曾文煌經理：是，是否容許我繼續報告，那我們當時，比較運轉模式開關轉到停機位置時地震儀紀錄，除了 101/03/16 反應爐基座強震儀垂直向外，其餘地震儀，每次反應均在固定範圍內，亦即急停之衝擊行為是固定的，振動傳遞量亦呈有一固定比例。那所以傳到 104 這邊後，大概那個最多 0.0365g，那其它的地震儀幾乎沒有變化，那這是我們相關地震儀的一些位置圖，那這是歷年，96 年到 4 月 19 號，那，那其中這個 105 這一個，在這個是 0.29g。等一下，104 這個它反應都沒有測出，阿對，這是 105 的，那對，這個到 104 這邊還是 0.02(g)後，0.11(g)多後這個是當時這個地震儀是沒有濾波，它有高頻波進來，我們這邊都有些數據後，那我們 4 月 14 號那個螺栓修復的六根後，是，那報告主席後，那這一方面我們進行分析後，如果有濾波沒濾波後，我們持續做一個驗證，有濾波沒濾波會差個 0.04g，而以後，就像我 4 月 14 跟 18 這個有濾波這個沒有濾波，那其實高頻波段的線只有 0.04g 後，高頻波段的貢獻只有 0.04g，那我們 4/14 號這六根螺栓的修復情形，我們有新的地震儀然後是有濾波，4/18 一樣新的地震儀沒有濾波，我們是 50Hz，那不是說 50HZ 以上就沒有對，那還有一個算是餘裕吧，所以事實上我們超過 50HZ，那這我們這邊只是要確定說低頻為低頻，因為高頻只有 0.04g，所以它這個到 96 年 9 月這個是沒有濾波，所以它高頻進來是 0.04g，那我們反推到 3/16，高頻進來 0.04g 所以這個 0.29 還是偏高，那如果真的發生這麼高的地震，那應如這些歷年來要，不管 4/17 號螺栓修復沒有，修復後修復前，距離 4 公尺距離的時候它 104 的地震儀，幾乎它的震值都差不多後，那我們再來看些它頻譜的反應後，在 3/16 當時它頻譜歷時圖，這邊出現一個半頻波在它的富氏頻譜裡面出現極低頻的訊號，異常的大，也不能說它錯，我們當然要來一些佐證，所以我們把這個地震儀用來校正，因為我們懷疑它不穩定有故障現象，發現此地震儀在南北向、東西向的反應均正常；但垂直向校正訊號卻有不穩定的現象，且訊號基準點(零點)處亦出現偏移現象，而校正後仍無法回復

此地震儀之正常功能，故研判上述 0.29g 應是儀器故障所產生之錯誤值。再往前追溯此地震儀之測試資料，在 101/02/02 定期測試之資料中，發現此地震儀在垂直向極低頻訊號處已顯現有不穩定的現象，那這是我們大修的時候把 105 故障地震儀拿下來校正，東西向南北向反應非常正常，它垂直向是不穩定的，然後它頻譜反應 10HZ 的東西向南北向都非常漂亮的在這邊，唯有垂直向送 10HZ 之後，在 10HZ 之前相對比低頻小很多，那這就是我們拿那個故障地震儀下來持續校正，那數據出來就是這樣，它的垂直向就已經，它標準都已經測試過，所以高頻就非常小，低頻比較大，所以我們把那個校正儀拿下來要做校正的時候，另外我們再往前推測到 2/2，東西向南北向跟水平向，它平常擺動上下擺動它垂直向零點會飄移，而且它垂直向頻譜處於低頻會有非常不穩定的一個現象，那我們再往前追溯，去年的 7/20，這顆地震儀，它的背景訊號東西向南北向都是很漂亮的，而且在它的富氏頻譜極低頻沒有出現，我們再往前追溯 4/30 都很漂亮，極低頻都沒有出現，那在去年 1/10 極低頻也是沒有出現，所以我們可以得知說在 4/20 拿到的資料它的極低頻已經非常的不穩定，那我們也沒有立刻斷定說 0.29g 就是錯的，我們還做一個測試，我們在 4/14 我們那個按照修復計畫，我們加裝了八支振動加速規，且換了新的地震儀，然後在 4/14 號做了一個相同的測試，將反應爐運轉模式改到 shutdown 的位置，新的地震儀讀到 0.04g，而且極低頻沒有出現，呈現穩定的現象，那四個方位的震動加速規讀值為 0.04g~0.06g，然後比對附近廠房地震儀在 0.01~0.03g 左右，是，六根修復了，那下面還有證據後，這是 4/14 號後，那這些數據是剛剛報告的那些數據。

主席：我們很多人都懷疑究竟是先震後斷，還是先斷後震，這個部分你有回答嗎？

核二廠曾文煌經理：是！我等一下會講，那對，我們 4/18 號那這是 4/14 所做的測試就是那個新的地震儀，那它的波形非常漂亮，不像 3/16 出現半波，且不穩定，那我們再來看 4/19 號，我們還去證明說這些證據是不是還能證明

說，地震儀是故障的，所以 4/19 號又把舊的地震儀，故障那顆，重新裝回至原來位置，並進行相同模式之測試後，地震儀之讀值為 0.1g(極低頻訊號處仍有不穩定值)、四個方位振動加速規讀值仍為 0.04~0.06g、附近廠房地震儀(XE-104)讀值亦僅為 0.01~0.03g(二者地震儀距離僅 15 公尺)。我們做了兩次測試，第一次測試的時候很漂亮，隔了 21 分鐘在做一次測試，又出現半頻波了，那我們來看看頻譜，第一次做很漂亮，隔了 20 分鐘再做測試，第二次測試的基準點已經在飄動了，還是出現半頻波，第二次的極低頻很高，所以可以證實說這個地震儀確實是不穩定的，那剛剛主席提到那是不是 4/14 螺栓修復了所以地震沒有那麼大，其實可以從這張歷年紀錄來看後，螺栓有沒有修復，這邊修復好了，這個這我在我的 104 這跟以往沒有差別，那螺栓修復完了 4/19 做重新測試，拿舊的來做測試極低頻不穩定又出現了，那新的儀器都不會，所以不管 4/14 螺栓修復沒有，其實可以證明說舊的那個儀器是已經不穩定了，然後當時那個 0.29g 就已經壞了，是，所以，經查證損壞之螺栓，其斷裂處之氧化層已存在一段時間，並非 101/03/16 運轉模式開關切換至停機位置所造成，且由事後校正紀錄，事前背景訊號分析及 XE-104 地震儀紀錄資料，均可證明 101/03/16 所使用之地震儀確實是因為故障而產生 0.29g 之錯誤訊號值，而非當時實際之振動值。目前核二廠已在反應爐基座裙板四個方位的垂直及水平向共加裝 8 只振動加速規，並搭配既有之地震儀，來達到相輔相成監測的目的，以建立反應爐基座裙板之監測機制；如此一來，將可更適時適切地監測反應爐基座裙板附近之實際振動狀況。報告完畢。

主席：剛剛最後一段，前面的第一項就是說看起來螺栓已經斷一段時間，不是在這個 control rod 進入以後才斷，所以就是說震動可能會比較大嘛，所以螺栓鬆了嘛？

核二廠曾文煌經理：是。

主席：原來已經斷了，也就是說你 120 根螺栓緊緊的拉住了對不對，現在有 7 根鬆了，所以現在是 113 根緊緊的壓住 skirt，不曉得是不是少了這 7 根的話震動會加大，我們有這個疑問喔？

核二廠曾文煌經理：那我剛剛有報告過了後，就是我們 4/14。

台電林德福：主席提的意見，是不是我一分下很快的 summary 後，這 0.29g 這地震儀的確是有問題，那最主要就是我們從這個頻譜來看，極低的頻率這邊後，有很大的 spark 我們把附近的地震儀後，過去監測部分做一個比較，從 104 號的來看有不穩定的一個情況，也就是說我們用新的地震儀，然用作故障的重現後看得出來舊的地震儀在低頻這邊出了狀況，這第一個要 summary，第二個的話，就要回到剛剛主席的意見，就是說螺栓的肇因，螺栓是瞬間拉斷還是長期一段時間以後阿，慢慢的成長，那現在有一個疑問就是說究竟什麼時候斷，坦白講我們是第一次檢查出來這個結果，那個根據我們 104 好的這個，不管我們螺栓在什麼情況之下，看起來數據是蠻平穩的，那麼 0.02~0.04g 之間，所以螺栓斷的時間，究竟控制棒的抽動會不會造成震動，這部分依我們看的話，這個成分不大，謝謝

主席：那委員們有什麼議建？

丁委員：我看一下，每次 0.29g 它都會有比較大的訊號產生，我記得上次也討論過這個問題，就是說，剛剛還有如果有一個 experiment，比較大的力量東西不見得會斷，但是我的材質裡面有點雜質的話會有 crack，對不對，不一定要斷喔，它就開始 crack 就會有裂縫產生了，那麼產生經過一段時間以後它慢慢就會成長

台電林德福處長：委員的意見後，剛剛有一個 table 秀出來後，過去有一段時間每次停機的時候那地震儀量測的那個值後，那至於提到說這樣是不是會影響到它的 CRACK growth 這部分喔，我們有一個肇因的專案，我們再詳細

的報告好不好。

主席：因為我們那個，熊大綱，熊技士，它有準備一個對 0.29g 的一個看法，所以我們報完，再請委員 comment 一下好不好，可以嗎？

原能會核管處熊大綱：主席，各位長官各位先進，大家好，我是核管處熊大綱，我對於剛剛台電的 105 地震儀震動的解釋我有一些不一樣的想法，以下是我的簡報，首先我們先來回顧一下這個 105 地震儀，過去過去的記錄，還有台電做了一些改善的動作，再來就是 105 地震儀，剛剛處長或者是曾經經理都有提到說，它們拿空間位置距離 15 公尺的地震儀 104 做一些比對，可是 105 地震儀跟 104 地震儀它所在的結構系統是完全不一樣的，105 地震儀是在生物屏蔽牆上，104 地震儀是在反應器廠房的結構系統，這兩個結構系統是獨立的，那最後是有跟基座做相連，所以以空間距離來抓地震訊號來比，這個邏輯上並不通，再來 105 地震儀跟這一次的錨定螺栓位置有些關聯，然後再來 3/16 5:50 分早上有一個低頻的突波，剛剛大家有看到喔，恩！那個突波如果，照學理來看大家都可以有不一樣的解釋，那我還是希望說，你能夠把這個地震儀送去檢驗，因為現在舊的地震儀再怎麼解釋，再把它裝回去看到的都是事件後的結果，那個地震儀已經因為 0.29g 備搞壞了，你不能用它現在已經壞掉了，去回推 0.29g 發生前它也是壞的，那當然你頻譜上面你看到低頻的部分有一些，比較高的成分你們自己回裝，上個禮拜又做了幾次停機的動作，它出現最高也才 0.1g，所以說就是如果我們先假設您剛剛的說法是對的話，你只算到 0.1g 是對的，0.1g 到 0.29g 還有 2.9 倍的訊號你們沒有做著墨還是怎樣，我們回顧一下 105 地震儀在 98 年 11 月 20 號的時候有一個很小的地震，然後出現了高震動，那這是 105 的南北向，東西向及垂直向，但是我們後來發現 105 這個地震儀呢？一直有高頻訊號，注意我說的是高頻訊號，高震動的狀況，當時你們給我的解釋是說它高頻高震動，所以你們要做一些處置，接下來進行了一些改善，改善的動作第一個，我們懷疑這個 105 地震儀裝在生物屏蔽牆上

它的基座是一個 H 形鋼的延伸出來的懸臂那我們懷疑懸臂在受到一點些為擾動，就會出現共振的狀況，所以在上一次大修的時候，已經做了一個斜撐的 H 形鋼骨，這樣以後呢你們地震儀還是繼續使用 105，那剛剛這一次地震儀大修本來想要移開這個位置，可是還沒有移開，那各位注意一下這個位置現在看到灰灰土色的這一面是生物屏蔽牆喔，然後這是它的支架，那麼支架很強悍，沒有補強，對這個地震儀訊號的意義就是說，它這個支架已經經過垂直方向的斜撐補強，就是它的勁度夠高，簡單的說就是它的勁度如果趨近於剛性體的話，這個地震儀量到的震動訊號，可以代表這一片生物屏蔽牆震動的訊號，尤其在垂直方向，那經過這樣補強以後呢，那我們 3/16 發現有突波訊號，然後後來螺栓斷了我們去現場看，恩我們為什麼 show 這兩張圖呢，事實上外圈螺栓跟 105 地震儀的位置是非常接近的，大概在 217 度反應爐的位置，也就是這一次有斷裂的 D10 跟 D14 這兩根螺栓中間，它們兩個座落的高程位置是一樣的，負 9 呎四吋的位置，然後我們看一下它的結構圖，我再解釋一下，剛剛由台電的處長解釋說 104 跟 105 地震儀位置很近而拿來比對，事實上有一點差別後，它的結構系統一個是反應器廠房，104 地震儀是在地板上，然後 105 地震儀是在生物屏蔽牆上，然後生物屏蔽牆旁邊各位看到這個位置呢？這邊再突出一塊，這邊就是整個反應爐基座裙板基座的位置，簡單的說，現在有發現斷裂問題的螺栓位置跟 105 地震儀只隔一個生物屏蔽牆，它們連高程位置都是一致的，所以過去 105 有一些不良紀錄，它的不良紀錄是出現在高頻所以電廠把高頻做濾波，那是還沒有看過地震儀會有低頻共振訊號的狀況，這是以前的記錄顯示，然後你們辦理了改善，改善之後你們的記錄呢，理論上地震儀 105 動就是代表生物屏蔽牆動，剛剛曾經理有用事後有去看結構系統或是電廠的一些設備說明，不過我們這邊也可以判斷，恩！就是剛剛處長也有指示，如果你只是局部地區出現一個瞬間的高震動，或是低頻的震動訊號它並不一定會馬上傳到，而且低頻不一定馬上就傳到其它地震儀，它只是局部性的訊號，再來你們舉證說，101/2/2 地震儀 105 垂直向晃動事實

上它的晃動量還是沒有辦法整個完全解釋 3/16 垂直向出現一個這麼大的
一個加速度，然後現在你們舉出來的例子大部分都是這個已經被搖壞的地
震儀，一直在重現的實驗，那已經是事件發生後的結果，並沒法辦法去回
推地震儀在 3/16 號當天它承受了多少的加速度值，那雖然你舉證 2/2 它在
低頻有一個高的成分，但是那個高成分你們事後再做實驗，它們會讓你們
從那個同一樣的位置從 0.04g 變 0.1g 它也才放大了 2.5 倍，所以 0.1g 如果
我們相信你是對的話，那 0.29g 還有 2.9 倍你們還是沒找到真正的肇因，
那希望你們這個地震儀要送去檢驗，那我這邊還有一個觀點就是說，因為
外界一直質疑說是先震後斷，還是先斷後震，那你們想想看那幾根螺栓在
裡面，如果你們真的要把它拉斷，螺栓必須在垂直方向有多少變位，那個
變位夠不夠讓讓地震儀垂直向產生 0.29g 的震動，OK 以上是我們的報告
謝謝。

主席：那是不是請審查委員，提供意見，周委員還是邱委員？

周委員：剛剛那個台電的報告，那個處長還有大綱，看法大概跟我差不多，大概
general 的看法就是說台電有做這個分析還不錯啦，是有做啦！但是結論
喔，是有待加強，譬如說第一，在每次大修的時候，做 shutdown 的時候，
跟你 shutdown 幾個小時後做 SRV blow down 其實都有震動，從台電記錄
來看都有，而且那個 timing，shutdown 5:50 分就有一個震動，我們也希望
請二廠的 operator 來說明一下，它在控制是所感受到的震度，每次有沒有
變化，它一定有聽到聲音，有感受到震動，我們本來希望 105 剛好是在負
9 呎 4 吋的地方，恰好有這個地震儀，希望它的量測資料能夠對這次螺栓
斷裂有幫助，可是你們把它這個震動的值說它是不對的，原來我們預期可
以有用的資訊變成好像就沒有用了，這第一點，就是說這其實是有一個震
動，就剛剛講的 operator 有沒有注意到，每次 SRV blow down 跟這個
shutdown mode 的切換都有這個震動，表示是有這個震動，不過它不是地
震，至於它的 0.29g 這麼大，它是屬於高頻的，原來裝這個地震儀的目的

不是這個目的，是要量地震，只是它恰巧這個 sensor 它也可以量到，量到的意義它可能準確度不夠，因為在它本來的有效的 frequency range 就是在 1HZ 到 50HZ，也就是偏低頻的可能是它原來的，等一下邱委員可以再補充一下，低頻的位置跟高頻的位置，因為高頻已經超過它的可用範圍，低頻的可能是因為它的 base line 已經飄掉了，所以就高頻有放大，那是你們沒有做 base line 修正的結果，所以這個東西喔，還要進一步澄清，不應該馬上下這個結論，而且台電剛剛那些資料也不完全，就講說運轉 30 年其實這個加速規是一直在的，所以每次引動應該 SRV 也有，shutdown 也有，所以理論上應該要有 20~30 筆這樣的資料，可是你們的資料，比如說 EOC20 21 或不完整，而且每次 shutdown mode 有兩次，SRV 有兩次，那這個其實也要來說明一下，還有這個加速規是壞的，我覺得其實是蠻可惜的，因為你們是在，剛剛大綱已經講了，98 年 10/20 確實是有個地震，那個地震，那個地震告訴我們那個加速規它所裝的 support 不夠 rigid，所以你們也改善，所以理論上你們應該經過調校，要確定這個加速規是可用的，那所以這邊來看喔還是有一些問題，應該要好好正面思考，而不要把這個 0.29g 抹煞掉，那至於你後面 4/10 及 18 號做的就向處長講的那個跟前面狀況不一樣，因為前面已經至少完全斷了，另外六根是完整的狀況下，你量到的記錄到底跟你後面修復的事，你修復的理論上是好的話，那你量到的應該比較小才對。

邱委員：那個儀器本身喔，從記錄來看，這個蠻特別的，不像一般地震紀錄，也不像這個有大的記錄出來，因為它偏。加速度的話按道理講，假如沒有受力的話它應該會回到原點，所以這究竟是？不過我很訝異的就是後來台電把這個儀器擺回原來的位置它做兩個測試，一個測試看起來還是正常，第二個看起來好像有點異常，所以我們現在在討論之前事實上，我們應該確定這個儀器是不是正常，不曉得台電做的測試是做了哪些測試，我想這個方面喔我想要釐清這個問題之前，或許應該請中研院地球所，有點設備喔，或許能不能請台電拿這個儀器來我們這邊做個完整的測試，看到底是

不是儀器是否正常，假如儀器是正常的话，我想这就牵涉到 0.29g，这是很特别的讯号，就是说旁边的都正常，这也不能证明是不是有直接外力加上面，这个根本是隔音，就是生物屏蔽和其它结构是完全不同，听起来对，所以这部仪器是装在那个，所以它那个生物屏蔽墙，瞬间产生的力也可以造成产生这种，我以我现在还不确定造成这个 0.29g 是不正常，我想还是要回归到仪器是否正常，假如是正常的话我们再来讨论这个问题

周委员：我补充一下后，就是关于那个地震仪，刚刚邱委员说要检查那是 OK 阿，不过那是针对地震，那我们刚好是因为之前，台电目前目前的修复计画我觉得蛮好，因为装了针对地震监测震动监测那个仪器，那个是当然是跟地震比较精确比较偏高频我觉得将来那出来的数字应该比较有代表性，因为你现在拿到 0.29g 不管仪器有没有坏，第一可以确定因为这已经可以确定绝对 shutdown mode 跟 SRV blowdown 会引动，你要在设计上考虑 upward 这样的一個 force 只不过现在出来它这个值，因为它不是用这种专门量地震的这种震动的 sensor，是用地震仪去量的，那当然就会引出这些你用一個不对的工具，其实你也没有预期要量这个，因为你本来装的地震仪本来就没有要量这个震动的，那这个是高频振动，所以出来的东西就会有一些杂讯，所以除了送去检查，要确定以后地震来这重要的地震仪所出来的资料是有用的，那除此之外，你们过去的重点是装来针对 upward 量测震动的那个 sensor 可能更重要。

邱委员：在补充一下喔，事实上那个，那个加速规是怎样？以前没有接触过？

台电林德福处长：核能二厂再解释一下，对于仪器本身的一个特性，我们已经加装了八支加速规。

核二厂曾文煌经理：我们那个加速规在电厂使用在很多地方，譬如说，我们装在再循环泵的 casing 上面，那它的目的就是要量 casing，如果说这个在循环泵有任何异常时候，casing 会有不循环震动去画波形图，那我们会收到附

近不尋常震動的波形然後來反應它的震動值。

邱委員：那波形是完全記錄下來嗎？

核二廠曾文煌經理：恩對，波形我們我們。

邱委員：還是只記錄它的峰值？

核二廠曾文煌經理：除了記錄峰值，那個波形有連到我們它的頻譜圖的錄下來。

邱委員：強震儀？

核二廠曾文煌經理：那個強震儀它的行為，那個強震儀是個地震 sensor，就像委員想的那個強震儀是地震 sensor，它是靠地震的擺動來去量測它地震。當時行為第一次出來的它的峰值，然後還有它相對應的頻譜，那地震儀她是量地震行為，所以地震行為通常都是在 1~10HZ 左右，所以它的量測頻率就在 50HZ 左右，那在我們的 FSAR 的裡面規定是 34HZ，那像震動的，它是可以涵蓋像我們新裝的震動加速歸她的標準可以到 2K HZ。

邱委員：有沒有那麼高的訊號，是說？

核二廠曾文煌經理：那個高的訊號我們剛才測試的時候在，在極高頻的地方有一個很小的 peak，可是那個 peak 應該是由背景的音頻，可是它不是主要的 peak。

邱委員：你們可以改善監測計畫，我覺得第一點你們可以改成連續記錄，現在的儲存量的什麼東西其實都已經沒問題了，是連續記錄是不是，好我想是連續記錄更好，就是說你，耶！另外就是說，強震儀後上時上我想三分量，強震儀線在靈敏度也很高，就是說你很微小量跟大量，我想以後監測的話，你可以連續記錄連續監測這個，或許可以好好規劃一下喔，像這個它

逐步有什麼變化的話，或許可以從這邊監測出來，我剛剛還要補充一點，就是剛剛周委員提了一個問題，就是說到底強震儀目前的那個，以剛剛測試的那個強震儀的話，它可以 0 頻到 100K 支，所以基本上我想 30 幾 HZ 的話都可以包括在裡面，新的儀器的話現在可以到 0 頻，0 頻的話就像 331 或 921 地震的話，這個值很多都計到永久位移，這都跟 GPS 訊號都差不多，所以基本上我們現在想強震儀，最近進步已經可以 cover 很廣的 frequency 範圍，我想你們監測的話或許可以考慮。然後另外就是說你既然是連續監測的話，你是可以連續來監測這個整個系統的震動情況。

單委員：恩~我對電廠內部的這個東西是比較外行，那我想請教一下，3/16 我們把它這個陸續的 shutdown mode 跟後來所做的不同模擬螺栓伸張破壞，有沒有仔細比較過，譬如說它哪一些動作會拉伸，這些後面的模擬的部分 3/16 號跟那次裡面的細節可能會動的一些東西，在這個裏面，那這個我覺得是很值得仔細的去比較出來，因為正如剛才所講的，就是我們現在不應該把這個 105 後把它看做是地震，應該要把它做是加速度規，或者是震動的感測器，我們假如知道它這個過往的記錄，能不能夠給我們一些資訊。有關螺栓的這個問題這樣子。那除了這個部份的話呢，第二個就是說，台電去比較過過往的歷史，好像裡面有一些就是說，那個地震儀可能一兩年前，還是好的，那什麼時候開始壞，是不確定，那我看那個表的話呢，我有注意到 96 年的話，其實它也有測到一個 0.11g 的，這跟那個這次在裝回去的時候所測的 0.11g 的數字是幾乎一樣的一個數字，那所以這個部份的話，它什麼時候壞的後，假如說以你們的講法就是說這兩年才壞，那其實它之前有感受到那個比較大的現象，那第三點個話呢，有關地震儀應該送回原廠去檢測一下其壞的情形，另外我覺得重點呢，就是要判定它的好壞之外後，最好能夠在程度上看它不穩定後，肯定有人說好有人說壞，或者是說它 0 點有飄移，有一些雜訊類似這種東西後，那目前這個狀況底下，它有漂移有雜訊，那它的訊號還有沒有參考意義，就是說扣除掉那些飄移跟雜訊的話也許它的訊號有參考意義的，我們只選擇一些的話那個數字還

是有代表性，代表它感受到的一些東西，還是說根本它是完全沒意義，假使說它的量測是不準確的時候呢，那是有一些東西的介入阿！等等的問題，我們目前上呢，還是可以看到一些有意義的資訊的話，那可能對於這個判定甚至模擬破壞的過程裡面它可能感受到的這個 reactor 內部所發生的一些事件，也許還有一點幫助，好！我講這幾個點。

台電林德福處長：主席，這邊台電回應一下後，等一下細部，核二廠在補充，第一個就是邱委員意見，我們電廠有 8 個量測地震的地震儀，有一個是弱震儀，就是微弱的時候它會觸發，有一個是比較強的時候才會觸發到，那觸發以後它就記錄，所以平常使用不到，這是地震儀的特性，那它在 1~50HZ，觸發式，有！有！有！這樣我報告一下，我們為了這個事情加強監測嘛後，這個 area 這個空間附近後，四個方位我們增加了八個加速規，這個就是剛剛提到的 continues，連續性監測，訊號直接拉到我們中央控制室來監控，哪裡有變動我隨時都可以知道，然後我採取應變，四個方位東西南北向，對，等一下那個會有詳細說明後，第一點，那第二點我要說明一下儀器的故障或者受損的情況，有時候訊號不是完成直線，所以初期是某一個量，然後突然變成某一個大的量，這邊我們可能就回加聯絡那個熊技正後，那提到說，耶那以前是一點點那這次怎麼那麼大，基本上假如說儀器在故障的時候它是時好時壞會變化，那第三點周委員意見就是說每次停機下來我們第一個動作，確定控制棒要插進去，所以我們會有一個力量，第一個，第二個我們 SRV 就是安全釋壓閥就是要當洩下的時候也要有一個力量，那這邊由中央控制室裡面有沒有感覺到，我們廠長等一下來做個報告，是這個是水平東西南北垂直，這是我們停機的過程後，控制棒一定要插進去，插到最後即使所有控制棒進入的情況我們還是有一個開關，就像我們開車一樣最後鑰匙要轉到最底的一個 off 就是停機的一個情況，確定所以控制棒的動作一次式，但是呢，爐心在裡面，只是呢這個抑壓的力量只衝一次，這個力量是垂直的力量，從底部衝上去，是這樣來的，那這邊補充說明周委員的。

核二廠劉增喜廠長：那我這裡補充說明一下後，那運轉員說有沒有干涉到後，事實上，我請教了這次它們停機過程，因為我們每次停機大修的時候，它開始是半個月就開始，慢慢從 100%的緩變量慢慢降載，到清晨大概五六點左右的時候大概就會轉那個 mode switch，白天八點就可以正式大修的工作，所以那清晨的時候一般來講那工作人員還沒有進去工作，所以人少，所以運轉人員它們的感受是說，都會有一點聲音，那是實上值班人員它們久了以後，它們長期就知道那個會有一個震動力，它們不只是聽會感受，但是，它們這一次沒有聽到有異常比較大的聲音，所以這是它們感受。那這個感受呢，事實上，很容易因人而異，比如說我們這次大修好了，喔不是螺栓修好了，修好了之後我們就是要轉動那個 mode switch，剛剛那個我們的長官熊博士呢，就跟我們曾經理兩個進去，去看看說感受說真的那麼大聲嗎，結果我們曾經理說它一點感覺都沒有，但是也許熊博士是地震靈敏，也是有一點感覺到在震動，所以這個你值班人員是在控制室，是要很仔細去聽還是有那個聲音但是，這一次並沒有感受比較大的聲音，在這邊做一個說明，那有關這一部份我們請曾經理說明。

核二廠曾文煌經理：剛剛有委員提到說那是不是做一個連續監測，我們新的震動加速規是做一個連續監測，那關於地震儀是不是讓它靈敏度，那舊的是在 0.16g 它才會出一個紀錄，那我們現在為了增加靈敏度讓它一有異常的時候我們就來記，我們把那個區隔值降低到 0.015g，所有量到這個震動值立刻去做一個記錄了，所以已經大概降低了 10 倍，那第二個剛剛委員提到說，是不是零點飄移或是不正常訊號，是不是可以把它知道它不正常訊號的地方或是飄移的地方把它做一個精確的計算，然後計算出地震值，其實這我們有做，我們是有把它極低頻數變成它的極低頻數在 0.1-0.2HZ，極低頻數我們有試著把它濾掉，濾掉不要計算，不是說濾掉，就是把 0.1~0.2HZ 那個地方就是比較不正常的地方，就是不要計算，可是不能當作真正的理論基礎所以我們今天拿出來講，如果說把那個不尋常的那一部分把它去除掉，那我們算出來在 0.04g，可是畢竟不可以把那個地方砍掉

然後把這個數值報出來，所以就沒有把這個事情報出來，那個剛剛熊博有提到說，那上次是 0.29g，這次是為什麼只剩下 0.1g，那是因為它已經不穩定了，那不穩定不能說你每次顯示都是相同的值，那剛剛周委員有提到說好像在 90 幾有 0.11g 的那個東西，那那個 0.11g 那個我剛剛有報告過就是它有收高頻進來，50HZ 它有收進來，因為有濾波所以會有 0.04g 的效應加進來，報告完畢。

核二廠劉增喜廠長：剛剛是有對於 96 年那個單委員，就是說 96 年 0.11 是有高頻對不對，但是它有一個很重要的問題就是說，這些儀器雖然有雜訊，但是似乎還有沒有代表有意義，那你剛剛是不是有說明說濾掉的話會怎樣，因為這個儀器你比較清楚，所以你是不是跟單委員做個說明。

核二廠曾文煌經理：因為儀器每次都蒐集一樣是向上的力量，那那個，因為如果說在 3/11 那個 0.22g 低頻，因為它我們剛剛可以追溯到 2 月 2 號，那個零點上下幅度這樣晃動，上下幅度這樣晃動，所以你如果把它，如果扣掉上下幅度然後再把它極低頻扣掉，那這個值不可以報出來，因為你沒有辦法確定它真正的值這樣。

邱委員：就是，剛剛就提了，剛剛的儀器，儀器喔零點喔絕對不會在零點，現在所有儀器喔，事實上它會隨溫度地震儀會上下飄移，那是就是說沒有一個瞬間會在零點，一般的話訊號我想有儀器的雜波還有環境的雜波，因為我一般大概事實上大概是 0.05g 上下我想，所以基本上那個我想前面那個噪音並不會影響，所以零點我想剛剛有幾位我想這個並不是，不過那個剛剛是說內部有問題裡面，它有大的飄動是不是，那飄動的話，有可能是也有可能是那個地方本來就會搖動，那邊是加上儀器的所以那個正常的訊號，我想還不能判定，我想有沒有辦法當我建立了事實上是連續觀測，就是說你連續把那些強震儀器錄，現在我想不用 trigger 吧，連續記錄有幾個好處啦，因為儀器後這是我們的經驗，我們以前是因為大地震，我們所以儀器

擺在野外 24 小時什麼時候故障都不曉得，而且，不過現在的觀點就是說儀器沒有說讓它即使沒有地震讓它在野外也在運作的話，耶一般我們的經驗是比較不容易故障，另外一方面，就是說你有連續記錄的話你可以看到連續的變化。假如是針對以前就都是連續記錄的話，出現問題你馬上就可以偵測出反應，不過等到發生這件事以後到底是儀器正常還可以在檢討

主席：委員你講的對喔！因為過去的話，確實是我們的地震儀後，它因為我們法規要求是說超過 10 個 gal、15 個 gal 以後，它才會有 special report 給我們，所以我們把它的設定點設在 15 個 gal，然後也許兩三年都等不到一個地震是超過 15 個 gal。等到超過 15 個 gal 之後那個地震儀壞了根本沒動，所以我們後來要求它就是說在儀器的誤差範圍內做兩個 gal 你就 trigger，然後你就看儀器是不是可以正常的運作，至於你不需要過來跟我報告你只要超過法規的這個要求的時候你再來跟我報告，就平常儀器是否正常運作，所以後來我們是把它改成是這個樣子，當然可能沒有像你們這個樣子，當然可能沒有向你們那樣就是讓它一直其實它也是繼續在運作啦，它只是到了那點之後它就開始要回溯。

邱委員：對我想連續記錄很有用喔，這事實上你也需要人力，你可以設計簡單的程式，就讓它到某一個值

單委員：我想補充一下。剛剛我可能講得不夠清楚，我的意思是說台電現在就是說台電現在就要回應說那個儀器對不對，你注意剛才那個，這個報告就是說建議應該要送回原廠檢測，那我就是說不應該請它只是說一個 yes or no 這個儀器能不能用，能不能一定程度判斷出來，假使是說，程度上能判斷出來，可以怎麼去利用那個數據的話對我們來講會比較有益，那我也不贊成說我們把這個低頻的去掉，那個就叫做把零點去掉等等，那個我想也不是正確的做法，很可能送原廠比較清楚，這樣個儀器怎麼去設計的怎麼運作的那個來去做。

台電林德福處長：謝謝，那我們就請張博士(核研所張中興博士)來替我們做簡單說明。

主席：還是要強調一下，張博做的只是這個，這個 bolt 金相檢查，但是它不代表是所謂的肇因分析喔，必須要講清楚喔，你們不能把這個張博的報告就當作是你們的肇因分析，因為所謂肇因分析的話你要找出來，那個力的來源是什麼這個包括你們材質的這個現象下有沒有發現什麼問題，這整個才是，它只是其中的一個部分金相檢查，看到的現象是什麼。譬如說是不是有 fatigue、是不是有 crack、是不是有 manufacture defects 它的 chemical composition 是不是正確，好不好。它的跟你講說那個是肇因分析，就我看的話不是肇因分析喔。

核研所張中興博士：我想各位委員手上拿到的是昨天那個中文版，它都是文字，那因為台電都是希望我說用照片，用照片來輔助說明，這樣讓各位委員知道說我們辨識的結果是怎麼一回事，不要只是文字。這邊補充一下，我們在熱室所檢驗 3 支受損螺栓，是 A2、C6、D14。其中呢 A2、C6 這兩個是完全的斷裂，也就是說送到我們核研所的時候呢它就已經是 open 的，可以清楚的看到斷面的。那 D14 這一支呢，它並沒有完全的貫穿，所以送到我們核研所的時候呢，它是一個斷裂，但是它的起始裂痕是在其中某個位置，那我們也貫穿，因此我們也要想辦法找到起點是哪打開之類的，那麼這三支相關的位移是這樣子的，A2 是發生在沒有螺牙，平行螺板這個位置 D14、C6 發生在下部螺牙區，這個是二廠檢驗發現到有 7 支的螺栓，它有裂縫或者是 indication，除了 A2 這支是在螺桿之外，其它所有的六支是發生在螺牙的部位，很抱歉！因為這個今天我這邊有些文字是英文，前幾天是因為我是跟 GE 這些專家討論說那個，好像在會裡面我們好像傳給會裡面我們熱室所有的檢驗的工作我們用中文的，這裡我們也全部翻成中文了，前些日子有傳給報會裡面。好！我們來看一下喔，這個是廠裡面送到我們核研所裡面的斷裂的，右邊這支是 A2，發生在螺桿的那個，這個是

C6 原則上送過來之前呢？它這個上面呢，布滿了許多鏽垢，沉積物或者什麼東西，它會把表面呢會覆蓋，那麼因此我們對這兩張照片，其實是我們已經先用一些清潔液，不含鹵素的把它稍為清一下子喔，當然這個上面一些，一些氧化物或者是其它的，我們會進一步的用高倍顯微鏡看到它還存在那個上面，我們先看一看 A2 這張受損的，我們從檢驗結果可以確認，這個地方也只有這個位置，是一個起裂源，所謂的 crack indication 在這個位置，我們可以看得出來這個上面有輻射狀的這些我們叫做 radial mark，這些痕跡這是代表著這個裂縫呢從這邊起裂。以後呢，往這個方向成長，而且各位可以看得見，它是呢左右非常對稱的一個，一個軌跡，也就說明了這一個裂縫，它的成長呢，其實，基本上是一個我們可以說是一個，我們可以說是有了一個彎曲的應力讓它從這個地方往另一個地方起裂，當然這個地方我們看到的是一個最後的剪力唇，也就是一個最後拉斷的區域，那整個平面整個這個斷面，它非常的平坦，從這個地方到最後的剪力唇呢，它的這個高度只有兩個螺牙的高度，應該就是說這個斷面是只有一個螺牙的高度，那麼最後的剪力唇呢，是兩個螺牙的高度，好！我們來看 C6 這支螺栓，C6 這支螺栓我們可以知道，有兩個起裂的地方，一個在下緣，一個在它正好 180 度對面的位置，這個起裂源非常的小，這個起裂源非常的大，同樣的我們在這個地方可以看到，我剛剛提到的 radial mark，這是裂縫成長的軌跡，從這裂縫成長的軌跡以及從這裂縫的區域，我們可以知道很明顯看得出來，這個裂縫主要也是從這個地方起裂，到某一個程度的時候呢，這個地方也起裂了，所以這邊小的這些 marks 呢，是這個地方起裂過來的，可是可以看得到這個大的是從這個地方開始過去的，所以這個跟這個告訴我們兩件事情，一件事情就是說，這個我剛剛提到它是因為彎曲應力造成的，那麼它只有從單邊起裂而且它是左右對稱、非常漂亮的一個軌跡，這個告訴我們的是說，它呢是兩個起裂源，但是這一張告訴我們它是從這個地方起裂從，這邊起裂而且這個面也是很平的，所以說它呢它的起裂基本上它可能，它的這個彎曲的應力就不像它有這麼的嚴重，因為

它這個地方有起裂，如果說它是應該說完整的全部 100%的彎曲應力拉的話，它這個地方應該不會起裂，另外一個，這個呢跟它不一樣的是，這個看起來這個面它是平的，可是它事實上它這個面呢，它橫跨了大概 4~5 個螺牙面，它的分布情形是這樣子，起裂然後有一個斜坡式的中間這樣的坡降區，然後到了第二個起裂的地方，它也是有個斜度，那麼這個整個的從第一個起裂，到第二個起裂源之間呢，它含蓋了大概有 123456 個 6 個螺牙的高度，剛剛提到這個面是只有一個螺牙面，因為剪力唇，兩個螺牙的高度，可是這個面本身是平的，但是它是個斜坡的，你看得出來一個一個螺牙、2 個螺牙、3 個螺牙、4 個螺牙、5 個螺牙、6 個螺牙，這是兩個不一樣的，我們再看看這個 A2 剛才已經提到。

丁委員：能不能請教一下，我有一點看不懂，在整個螺栓位置上，南北方向在這個，在這個切面南北方向是哪個方向，東西南北，請你告訴我是哪個方向，垂直和水平，這個我希望能了解一下。

核二廠汪雅政課長：A2 這一支，因為斷裂面殘留在現場，0-180 度向著爐心這一條線，所以我們可以從斷裂面看到是朝下。

單委員：我想打個岔，請教清楚喔，我想 A2 它已經斷掉了，那剛剛看到的那個斷面的那個情形是，在地上撿起來的那個，還是說抽出來的那個，那抽出來的那個的話，那抽出來的過程中是不是有很小心保持它的方向性嗎，當時是不是非常小心的這個把它的這個 ORIENTANTION 這個維持這樣子出來呢，然後呢有記錄下來它是哪個方向，因為剛剛講到很明確的說那個感覺是 0 度或者是南北向這個是非常...。

核二廠汪雅政課長：C6 對著爐心這方向。

張中興博士：好我們看一下後，A2 這個這邊是起裂，所以我想看這個地方有什麼不一樣，A2 這邊這個起裂的地方，這邊這邊跟各位報告一下，這個不

是條裂縫這個同樣的位置我們以不同的入射光源，所做出來它這個是個陰影，那麼這邊可以看得出來起裂源與起裂源的區域的，有非常多的孔洞，而這些孔洞呢大小不一，像甚至在這個位置我們馬上可以看這個位置其實是由大洞包小洞，小洞再包更小的動。這張圖可以看得出來，這張是光學的，這張 SEM 的這是它的它的這個就是一個斷面，那麼是它的前視圖，它的上面是這個樣子，所以可以看得出來這個地方，起裂就從這個地方開始起裂的，那這個洞可以看得出來大小不一的洞，連結在一起，這邊也是一樣，像這個洞就跟這個洞，這邊可以看得出來，大洞包中號，中號的洞再包小號的洞，旁邊基本上也是這個樣子，這是 A6，那麼在這邊告訴我們另外什麼事情呢？這個紅色的是電廠這個螺栓後，它們所有的螺栓表面都塗一層保護漆，紅色的所以這個不是鏽，可是我們可以看到這個地方，在這個斷口的附近呢，這個漆已經被嚴重的磨損，甚至在這個螺桿面呢它的 machine mark 都看的見，這橫向的喔，這一條一條的喔所以這一根螺桿，我們就會認為說它呢已經跟旁邊的那個孔洞已經接觸了一陣子，然後就一直磨耗在那個地方。設計的圖的要求是這個螺栓呢？不可以跟旁邊的洞是接觸的，對！這個就是螺桿接觸造成的磨損。今天，剛才剛才肇因分析第一個，也就是說安裝不當，對，我們從安裝不當後，其實從這一支，還有從 EOC6 以及從最嚴重的一支，因為有一個那個受損面最嚴重的叫做 D14。就是我們會得出一個這樣子的一個判斷說安裝不當是這一件事情出來，這個理由不是，這個理由就是因為我們看到這個而且我剛剛有提過，設計的要求是這個螺桿不可以跟旁邊孔洞接觸，好！這邊這個 crack 的這個洞跟這了螺桿它是 0.25 吋的餘裕的空間，這個 crack 它跟這個之間有 0.5 吋的空間。

核二廠李清河副廠長：它要 equal 這個整個 space，但是它有它的這個難度，因為你 120 根在圓周上要 equal space 是太難了，所以它有一個 0.25 0.5 讓它可以同心來鎖，對！對！對！讓它可以 concentric。

主席：等一下喔。你們的施工次序曉不曉得，安裝的次序，譬如說吧，我們開車的人都曉得，安裝輪胎的話，是這樣子裝的，南裝一支、北裝一支、東裝一支、西裝一支，然後在南北你們安裝的次序曉不曉得

核二廠李清河副廠長：按照我們這個在現場裝機的時候呢，不管是什麼的一個螺栓的裝機或是這個平面的話，絕對是對角鎖，對角鎖。對！對角鎖，那所以我們現在的裝機記錄裡面已經沒有記錄哪一支開始鎖，但是我們合理的來判斷就是一個從 0 度開始，一個從這個象限來，一個從這個象限來，當對方呢你可以鎖，但是鎖的方式不是現在直接用拉伸器，那所用是液壓反鎖機式有用水平方式。所以才造成說等一下會有看到，螺牙有受損，我們先報告到這裡。

張中興博士：好那我們現在看，剛才說 A2 那麼現在是 C6，這是斷的，所以有兩個起裂點，那這兩個這兩張圖就是它就是 mention heart，非常對稱，那邊這邊看得出來，這個所謂的第一個起裂源，這個是下半部的，那麼這邊是上半部的，那麼這個呢？這個不是裂縫這個是兩個螺牙面一個錯位的一個痕跡，那麼在這個 C2 呢我們，我們環向 360 度我們都去確認喔，發覺就是說剛才 A2 各位應該有些印象，在那個起裂那個地方有很多的孔洞，那麼 C6 這支呢我們環向 360 度我們都去確認喔，似乎好像都 OK，沒有一些什麼可疑的孔洞阿或者是微裂縫這些東西，那這個是這張圖顯示的是，這是起裂源，第一個就下面那個主要起裂源它的一個測試，相關的位置看來就是似乎好像還 OK，那麼這是一個完整的我們核研所做的一個化學成分分析，原則上呢我們關注於兩個成分，一個是碳，還有一個是硫，那 C6 跟 D4 它的硫含量，它的 maximum 是 0.025 那麼它的值呢，接近它的上限，那至於這個的碳含量，這兩個碳含量都 0.4 幾，這邊它的 range 是 0.37~0.44 後，但是我們看這個 0.46 那我們去查了 ASTM 規範它呢，這個碳含量允許的 variation 的誤差。我這邊有寫喔，是百分之 0.02，是

主席：因為根據 CMTR 的結果的話呢，A2、C6 跟 D14 是同一個批次。假如說同一個批次的話，你就你的經驗來看，它的 chemical composition 可以有很大的 variation 嗎，所以並不是 uniform。

張中興博士：也就是說所以它們今天抽樣的話，今天運氣好譬如說這個鋼錠，那今天取這邊，取這邊運氣好也許成分差不多，可是運氣不好這個測出來的值會差很多。

主席：我以前是這個搞輻鋼的，輻鋼那個很清楚阿，一個射源掉到那個鍊鋼爐 25 噸，那 25 噸出來的東西裡面量到的 copper 的 composition 是完全一樣的阿，只有實驗的誤差，所以我就是不太清楚，就是說所以我們就不太清楚就是說你們為什麼在一個爐，一個爐室裡面怎麼會有那麼大的這個變化。

張中興博士：我們在今天早上，又完成了至少這三支的成分分析我們又重做了，這一支 C6 得出來的值是 0.44，我們的成分分析是用兩個方法，一個是用那個 IPC 就是那個感應式的耦合豆漿，喔！對不起！對不起，電漿拉。ok，另外一個這個分析儀後，我們去問分析的負責人後，它說全處理的工作是完全一樣的。那麼它當初第一次再測它覺得偏高的時候呢，它們也是想說會不會是儀器啦，或者是人為的誤差，因此它們就重新去做它們儀器的 calibration，用標準規，結果測出來的值真的就是像這個樣子，那今天早上我最新得到的這個值就是我剛剛跟各位審查委員跟各位同仁報告的話，那個值的確是 0.44。今晚重測的，測的 4 個值，然後這邊這個值如果我印象沒有記錯的話，這邊這個值好像是 0.023 或者是低一點，因為我早上收 email 但是我來不及印出來，因為我早上在家裡面，所以我覺得就是說我們實驗室有它自然的一套的標準測量方式，所以我會相信它測量的值，那麼這個呢，剛才主席馬上講到這個是 imply 那個那個，不當的安裝。那現在我們在這邊想跟各位報告的就是說，另外它的延展性比較低的延展性或者是孔

洞啦這些淬火裂紋，反正是跟你製程有關的，跟你熱處理有關的這些照片那我們怎麼會做出那些結論後，那麼這張圖這個不同的倍率後這個兩百500 1000 這個 SEM 的圖後，這邊很明顯可以看到，這個起裂源的區域也就是這個地方就是螺牙的根部到這邊，我們往上看，這個就是我們剛才講的那個起裂源的那個區域，這邊很明顯的看到雖然這邊上面有一些，**deposit** 會 **mask** 你的這個材料的表面；可是你這邊很清楚的看到它都是沿晶的均裂，什麼叫沿晶，就是你可以看到晶粒是一顆一顆的，我們在這邊可以很明顯的看得到它是一顆一顆的，所以說它是沿晶。有什麼意義呢？這個材料是 340，它基本上它的受損如果我們去做它實驗，它是一個非常 **tough** 的材料，延展性非常好，它的拉伸斷裂，是 **dimple**，也就是延性破壞，是一種塑性變形，為什麼會跟這裡不一樣，岩晶代表什麼意思，代表這個材料在這個區域是 **embrittle**，也就是在這個區域延性不好，**ductility** 這個是不符合它材料本身應該有的特性，它應該是延性的，怎麼會穿晶呢？怎麼會塑性呢？再看這是遠離就是這個區域再往上面移，你只要去遠離這個起裂源，我們就看到它材料的特色，這邊是不是跟剛剛完全不一樣，很明顯看到它這邊就很像橡皮糖阿！軟綿綿的，這個叫做塑性變形，我剛剛提到的 **dimple** 各位仔細看，這個是很大的，這個裏面是有一些就是有一些或者什麼東西這邊你仔細去看有很多的 **micro-dimple**，就是一顆一顆像我們臉上那個麻子臉，這個就是我們講的它這個材料的基本特性，它受力的反應，**dimple** 就是延性破壞，一個材料如果受到的 **condition** 是一致的，為什麼它在其它地區是好的，顯現它的本色-沿晶破壞，為什麼再起裂的地方它是沿晶的脆性破壞呢？這邊剛才是涉及到你的延性不是那麼的好，不是我所謂的延性不是那麼好，我不是說這個材料的延性絕對也不好，我是說在那個區域起裂的區域，它的延性不如它其它位置的延性，這張圖這邊一樣 500 倍 1000 倍 200 倍，這張圖我想各位看得很清楚喔，這個這上面呢有沿晶，也有很多 **micro dimple**，但是我這張圖我想秀的是什麼，裏面有好多的洞，而且這些洞呢？像這邊你可以看得到，這個洞它已

經是它被它這個兩側，上下兩側已經 crack 了。這邊也是一樣，這個洞呢，好端端的洞在這個地方這裡怎麼有 crack，這邊也有 crack 喔，這邊這張放大在這邊，我這邊照片是很清楚，這邊看到好像不大一樣，好這邊很多這邊也是洞，裂縫，這邊是這個樣子好幾個洞合成一個裂縫，好端端的洞為什麼產生裂縫。因此我們在這邊，這個是靠近起裂的地區，所以這張照片就可以告訴我們，那個地方為什麼會脆，那個地方為什麼會有洞，那邊為什麼會有洞連結成 micro-crack，合理的解釋是說因為這個材料，它在做完螺栓之後它一定要經過一個淬火，讓它有一個很好的強度，可是因為淬火之後它體內會產生許多應力，因此它一定要做回火處理，如果今天處理的程序如果做的不是那麼的恰當，譬如說，按照規範的要求你的回火時間，一定要某一個時間已上，溫度一定要在某一個溫度已上，這樣子才能確保說它的強度是 ok 同時也保有它很好的一個 ductility，就是韌性。可是我們可以看得今天這個洞呢？是它在製作的過程當中它產生的，好！然後呢然後為什麼會形成這個 microcrack 會連結呢？唯一的理由能夠說明的就是說它是在 quench，quench 的時候呢一個內應力的形成讓這些相鄰的洞呢變成了 microcrack，這個涉及到它的熱處理的問題，因為你有這些洞，加上你們熱處理的條件不是這麼好，所以它的延性就相對的沒有達到它的預期，也就是說它會相對為低。好！我們再看，除了這個之外，有沒有其它會影響到它的 low ductility 就是較低的延性呢，有，我們在材料的到處不管是螺牙，我們會看到這些 1 條 1 條的，這一條代表什麼意思，這邊的倍率後我這邊是 100 倍，這個方向就是加工的方向，這一條，這是什麼，成分分析一打，它是硫化物，而且還可以看到很多的孔洞，剛剛提到這些孔洞應該是任意分布，為什麼它會這個樣子成這個方向，就是因為它在這個加工的時候它斷了。這些東西順著你的加工方向會形成這樣的長條形狀出現，那這些東西的出現是代表什麼意思呢，這些東西硫化物，它本身是延性的，可是它這個硫化物本身跟你旁邊的基材，很容易順這個位置可以看得形成這些 void，這些 void 如果夠多，這些 void 會形成裂縫，讓這個

夾雜物跟著基材，在我們處理叫做 **debonding**，就是根本就是分離。結果是什麼，結果是當它承受這樣子的一個應力，應該有這樣子的延展性的時候，它這個變成一個斷點，它無法傳遞應力，所以只要材料面有這個東西，則會折損它的延展性，這個例子在 **RPV** 這個材料非常明顯，所以 **RPV** 的那個硫含量非常的要求，高一點這個呢，這個現象可能就很明顯，不是絕對說你硫很高它就會有這麼多，但是肯定的是你這個東西因為它是硫的這個夾雜物，所以說很自然的說如果你的硫含量比較高的話，就會提供這麼多的機會。

主席：你從這個 **ingot** 怎麼做成 **bolt** 你試不是可以講一下。它的生產過程，它是怎麼拉的，車呢，最後怎麼樣把它車成、攻這個螺牙什麼時候 **heat treatment**。

張中興博士：因為齣！是，報告主席後，我可以去想像，但是那個是想像因為這個上面它不會告訴我它之前遇到哪些事情，我只能說它最後的結果是這個樣子，即便今天廠商跟我說，我已經跟你講說 **CMTR** 它你面講得很清楚，它就是這樣子 **OK**，但是它這個東西這個是事實，這個夾雜物我們看到的是 **every where** 很多是這個樣子。也許，所以我沒有辦法去說它之前到底受了哪一些東西，只是法規裡面有要求，這種，它那個法規是 **NUREG 1.65** 就是針對 **RPV bolting material** 就是這個材料，**B23** 它就明白的要求，如果你的材料是這樣子的情形時候你一定要經過，先經過回火，先經過奧斯田鐵的溫度加熱，然後再 **quench** 下來然後再去回火，它這裡面所有的過程都有規定，你最少要什麼溫度最少要什麼時間，是這樣子，例如說：像這種 **quench** 的我就基本上我就不太相信說它是。

單委員：我想這樣子後，還是先給這個張博士先報告完，因為基本上來講它報告完，我們把它一些整體的回應，可能這樣子會比較好喔！

張中興博士：好！那這個這個是剛才我說它是硫化物後，什麼證據後，我們去打能譜儀，裝在 **SEM** 上，用來做測量定性分析的後，它是半定量它沒有辦

法告訴你說它的含量有多少，但是我們可以說它裡面是含了哪些的成分，那麼這張圖呢，我們這個地方的 **peak** 就是代表說，我們做這個分析的時候呢，在這個就是我們剛剛講的那個 **inclusion** 長條形的後它有哪些成分。各位可以看得到，這個白色的是鉬，那沒有問題就是第 23 等級的它這個多少它那個錳會跟那個 **inclusion** 會合在一塊，另外一個是什麼，我們剛剛最關心的就是的確你看這個粉紅色的，它在這個基材後，它的量是這麼多，可是到了這個地方它整個量跑出來了，還有這個紅色的是硫，所以從這個 **index** 的能譜，我們可以確認這裡的夾雜物的確是我們不願意見到的硫化物。再來我們呢，這是什麼這是那個斷面，我們看到的起裂源，這個是斷面，我們把它這個樣子切下去，然後從側邊去看看，這個這邊是螺牙面，那麼這邊看的目的是什麼，我們想看它一些氧化的情形拉，或者是說有沒有腐蝕拉，或者有沒有其它的應力腐蝕均裂，也就是 **SCC** 的一些證據，像 **SCC** 的一些證據就是 2 次裂紋結果呢我們這個看後，這邊是逐步的放大 500 倍 1000 倍，我們從這個的話我們可以看得出來，它的氧化層的厚度呢，基本上最高不會超過 10 個 **micron**，其實我們看這邊這再一半，那這個是母材，因為我們可以看這個試片來的時候，是那個電木因為鑲來以後，所以某一個時候有一點不平，這個會誤導，但是我們仔細看一下，**microstructure** 這個顯微結構可以看得出來，這個厚度，它是一個氧化層，而且從這個圖可以看出來，這個純粹是一般金屬表面和大氣接觸形成的，那個三鉻化鐵啦，或者三氧化二硫...等等，它並不是那個真的鐵容性物質裏面的侵蝕到 **material** 裏面。這個是從這邊開始哦，因為我們這個照片放大了，所以我們可以看這邊可以看到虛影，那麼這張特定圖側面我們可以看下面這張圖，就是下面這張圖哦，就是這個地方，這個地方也是一樣，就是氧化層的地方，這個大概就是 5**micro**。好，這邊我們看到另一個，裂縫，剛剛有提到說，就是 **SCC** 有沒有可能，**SCC** 就是電廠在用腐蝕環境裏面，有時也會我們常常見到的應力腐蝕龜裂。它有一個很明顯的特色就是說，它在主裂附近，它會有一個二次裂紋，就是 **secondary crack**，而且

二次裂紋在裂紋的面可以看到，和腐蝕有關的，所以在很多的二次裂紋的破裂面，你可以看到氧化物，所以呢，所們費了千辛萬苦，在這個地方找到一個小小的 crack 哦！結果你把它放大來看，這個倍率是三千倍，可以看得出來，在這個裏面完全沒有 Oxide，它代表什麼意思？這裂縫就是一個完全由機械力造成的，沒有任何的腐蝕證據。所以我們可以從這個地方去認為說它不會是 SCC，而且你可以看到這裏有一個夾雜物，它的裂縫成長會往夾雜的地方長過去，所以這是 A2 和 C6 這二個的肇因分析，各位手上應該是有一個中文版本哦！那我們先看另一支好了，因為時間寶貴哦！這一支送到我們所裏來的時候就是這個樣子。它的斷裂呢？在這個位置，在廠裏面用 UT 檢測說它的位置是多少多少，那麼 20 吋的時候呢，講的是這個斷面，我們把這個螺栓呢，順時針方向來轉，我們照它 360° 來看哦，這個 A，在這個地方 B 在這個地方，我們繞了一圈，這張圖讓我們非常 shock 的看到，這是螺牙的 damage 呢，後來這個 damage，我們經過和電廠確認，這個 damage 是它們在拆卸的時候，撞到的，好這個沒有關係，重點是螺牙面，剛剛提到這個是主要的環向裂縫，我們仔細的去看嘛，這個環向裂縫涵蓋的範圍，大概是從二點鐘方向一直到十點鐘方向這樣穿過，各位請記這些螺牙面也全部都是環向裂縫，有趣的是，這個面呢，有這麼多環向裂縫，在它的對面，環向繞一圈又回來了，再看 180° 的那個面，完全看不到這樣，這個除了剪裂之外，我們看不到這個，你今天如果說是塑造一個彎曲的，不管什麼原因，譬如說 mis-alignment 這就有可能造成這樣的效果，如果是拉壞的，那麼它的受損應該就是環向受損，它不會只有是單面，而且各位我們可以再看，我們先看這張圖，剛才講到環向的裂縫，這個位置，怎麼樣，這是螺牙面，從螺牙這個地方已經造成了這個 crack，正常來講，如果今天它是受機械力造成的話，那怎麼會，這裏的確有一條微裂縫，有應力集中的微裂是這個樣子，那麼為什麼這個地方有這樣子的裂縫，在螺牙面，大家有看到螺牙面的確有這樣環向的裂縫，就是我們剛才提到的，就是它 mis-alignment 二個螺牙互相這樣頂到在這個地方，這

個呢，因為它沒有完全斷裂，因此我們要想辦法去找它的起裂點來看，我們最後的研判會在這個位置，所以我們從這裏開始，我們先是從中間這樣子剖下去，然後再從這個地方一刀。剛剛講過的這張圖，在這個面呢環向裂縫，在 5 個螺牙面造成，可以在它的背面，你看，我們就從這邊切一刀下去，我們看看這邊是不是起裂源，來挑戰我們自己的判斷，結果發覺，切下來之後，這是一個 1/4 的西瓜，的確剛才 A2，C6 是完全一致的，這個地方是，新月型的一個起裂地方，因為這個地方，全部都是這樣的，所謂輻射狀的 mark，從這個地方出去，這個地方到那個地方。我們下一張再來看這二個位置，這是二個缺陷，這邊是一個洞，旁邊是一個裂縫，那我們再看，剛才 A2 和 C6 斜面的地方都是沿晶斷裂，那這一次會不會也是呢，假設也是和它的熱處理有關的話，我們基本上也會認為它是沿晶嗎？所以我們來看它起裂的地方，我們看對這是起裂的地方，這個是離起裂大概一公分以後的位置，我們看起裂，是這邊是不是可以看到一顆一顆的，這邊比較暗，顏色比較暗，但是它的形狀的確是一顆一顆的，所以的確是沿晶斷裂，反過來說，這個位置呢，達離了起裂的地方，我們看到放大圖，這二個比較這個完全就不一樣，這個就是我們剛才說的，它以本是沿晶破壞，所以這一支 D14 也是告訴我們，它的熱處理是不是受到了同樣的問題，今天又提到它們是同一批的，是不是它們真的出了同樣的問題，熱處理讓它們在局部的地方的邊緣變得比較脆，然後又加上可能應力的關係，在安裝的時候不管什麼原因，這個導力非預期的這種 tension 力量，因此它會從某一個地方的面起裂，讓它造成嚴重的受損，好，我們再看，這是更高倍率的，這個是 54 倍，這個是 5 千倍，這個是 2 萬倍，這張照片告訴我們什麼？它熱處理，我們其實不大希望這個材料分析出一些東西出來，可是這些東西看起來，我們很難去鑑別是什麼，這麼高倍率，我們看到的一顆一顆的，我們懷疑它是析出相，析出相是我剛剛提到的跟它的前面熱處理是有關的，這些析出物如果不幸，它是某種碳化物的話，的確會讓它的延性大大降低，所以會看到看到很多不利的敏感性東西會跑出來，

所以我們有這樣一個動作，我們認為這個材料的延展性的確不如它的預期，為什麼會這樣，就是因為它的熱處理，包括它的熱處理，出了一些想不到的意外，哦！這也是一樣，這一個如果你看到倍率，你會嚇一跳，50倍你可以看到這麼長的這麼大的 inclusion，那個分子洞，空洞哦！這邊倍率是100倍，這邊是 inclusion，是剛剛提到的硫化物，這裏面有洞，而且有什麼？有那個矽酸鋁、鈦酸鋁是什麼東西，矽酸鋁它不應該殘留，因為它是這個材料在熔煉過程當中，它為了要脫氧這個目的，所加進去的，它的存在是合理的應該有，可是它在最後的時候，它要做除渣的動作，那麼有這種矽酸鋁的成份在那邊，它自然的對材料的材質也是不好的，大家可以很清楚的看到，void 在那邊形成了，這個地方好多個洞，你們可以看到矽酸鋁，所以從我們熱室所看到的東西，從看到的東西我就可以來分析說，因為呢，它先天不良材質的問題，然後加上非預期的這些力，就讓它在特定的位置，因為…不足，就起裂了，這就是我們從熱室的角度，如實的反應給到這個地方來。

蔡委員：我想先針對剛剛的一些報告有一些提出來，基本上我們去分析這個 4340 材料哦，那用 ICP 去分析這個材料，基本上來讓那第一個就是你一定要有一個 standard 試片，那碳硫分析基本上來講，就是說因為碳硫是鋼材裏面的主要元素，那以我們目前來講，煉鋼的技術呢？硫含量你說差不多都在 300ppm，那是 acceptable 哦！那碳基本上來講使用 ICP 分析，所是事實上它會 fluctuation，那你一定要取樣品做碳硫分析，那才會準。那我第一個，先做個說明，第二個呢，基本上做一個 bolt，事實上它是從一個 Round Bar 來做，所以 Round Bar 呢，像那個熔鋼，基本上它們是專門做棒材，它煉鋼它行，drawing，那 drawing 到某一個尺寸後，它才會去做淬火用退火，所以呢，你那個基本上有看到那個 particle 的資料，它的溫度差不多是一千六百度 F，差不多 900°C，Tempering 差不多是一千度 C，這個材料事實上是，那我 Predict 哦！它應該是 oil quench，Tempering 後 RC 應該是 39.6，39 到 40 之間，所以它的強度應該是可以到，因為那我們如果查一下，Hand

book，那你剛剛從你報告過程裏面，你針對這個材料有幾個，首先第一個哦！我提出來，就是說你說你看到沿晶破裂，那沿晶破裂當然就是說你做金相，但是在這裏你沒有顯示出來，你是說拉力是不是？不是不是，是說你有磨金相，那以一般來講，如果你的熱處理，如果是到 1600°F，你要有一個 10um Size grain size 或那個 grain size 是 10 個 um 或是 20 個 um，在這個 order 之下，你看到你這個裏面的 SEM 上面的比例，你告訴我那個 grain size 是 10 um，我不知道你的比例，你說你那個 microbar 來看，你這是 100 個 um，如果 100 個 um，如果你要告訴我 grain size 是 10 um，你一定要有一張有金相，這個金相是看到我們的 oxide 的 grain size 是 10 um，這樣我才能告訴你，你上面一大堆 cover corrosion product，這是第一個，第二個呢，就是說你剛才講說我的 sulfur 到處都是 sulfur，那這個 sulfur 確實是非常嚴重影響材料的，這個我絕對同意，尤其 sulfur，但是你剛才報告有一個很大問題，這個材料絕對是 Quench Temper 你不管怎麼做，它有 crown morning 的話，它有 carbon 它 Quench Temper 後，絕對是百分之百，所以不可能是這種 carbide 形成，導致它的下降，這個我必須要做一個澄清，這種材料，只要是鋼，你淬火後，包括鋼它一定都是 precipitation，所以這個 precipitation 是正常的，所以不會影響它的 Reliability 如果會影響它的 Reliability，應該是你的 sulfur。另外，就是說回到你剛剛的那個巨觀的破裂面，我們先看個 A2 就好，這個 A2 的面哦，它的 pattern 全部只到這裏，OK，所以這是 initiation side，之後這個 Crack Growth 長大長到非常大，Cover 90% Crack Surface，那一般來講，如果我們做過，或做過測試，我想張老師也是做過這方面的實驗，這個材料假如，assume 100 個 Mpa，就是 100 個 Mpa，我們的螺栓哦，它 drive 680 kips 個在這上面，相當於什麼相當於它的 stress，是 700 個 Mpa，所以它等於是 100 個 Mpa，它的 normal stress 是 700 個，Why 它的 crack 可以長這麼大，而不是瞬間的 frustration，也就是說所以我們估計來講，你從來看，它應該是 1.2 個 mm，馬上就 frustration 而不會因為這個正破裂面回答了地震的問題，這個破裂面已經存在非常的

久，不是跟 0.29g 有關，這個破裂面已經存在非常久，所以 cover corrosion product 也非常的厚，事實上你根本沒有辦法 remove，那現在我問你一個問題，你做這個分析，單老師也專門做疲勞，我也做一些應力腐蝕，SCC 晶脆，所以我們假設它 100 個 Mpa 的話，它裂這麼深沒有力量，沒有瞬間的斷裂，我不知道你的看法是什麼？

張中興博士：委員的問題是為什麼沒有瞬間斷裂嗎？

蔡委員：對！你的 fracture power 我們假設是 100 個 Mpa，那裂縫 suppose 1.2 個 mm 哦！它就應該瞬間超過它的 KC 值，那為什麼會長這麼長？

張中興博士：我想我大概知道老師的意思哦！那第一個這個剛才在肇因分析裏面，也提到這個這一點，剛才蔡委員說的，這個破裂面其實已經成型一段時間了，其實老師剛才也說了，跟這次的 0.29g 沒有關係，這一點已經澄清了，那這個蔡委員就是說，那怎麼會說它破裂這麼久就怎麼樣，我們呢，在這個位置哦，估且不論那個是沿晶或怎麼樣，老師剛才說過…，旁邊起裂以後，你只要離開起裂源 5mm 或 10mm 以後，我們看這個片子它…，老師一直說…，這一個非常 special 的 case

蔡委員：我們的材料 suppose 去做拉伸試片的話，如果我們就資料來看的話，它應該會有 10 幾個 percent 我預估它有 15 個 percent 的 elongation，它斷裂之前一定有 neck。這個材料你如果說它全部都形成這一點都不意外，因為 carbide 那麼多，這個材料 carbide 本身就是它形成的位置，所以這個我也不懷疑，那我的懷疑就是說你們為什麼都沒有想到這個材料，如果這 100 個 Mpa，這麼大的 fracture toughness，它裂縫長這麼長有辦法長這麼長，你如果有做過 FCG 的實驗，你一定會知道我做完這個實驗後，瞬間它就斷掉了，因為超過它的 KC 值，這一個如果你們沒有想到，我提一個想法你們請看看，OK！在我們做 preloading 實驗的時候它們首先就拉到 340 個 kip，之後呢，你去看它的 elongation，超音波的 data 是 0.026 個 inch 之後，你又

拉到 510 個 kip 的時候呢，它的 senser 的值哦，是 0.08 個 inch，之後你拉到 680 的時候，它就 0.051 inch，這就是台電給我們的報告，但有沒有想到，當它如果產生一個 crack，產生一個 open，你的 deformation，譬像我們的螺絲試驗的時候，做扭力測試的時候，也許在做螺絲 SCG 測試的時候，我們 torque wrench，先把它鎖一個假如說是 10 牛頓-米的 torque 好了，鎖八分緊它 24 小時後，如果有 crack 它是怎麼樣？它會鬆掉，也就是說這一個螺絲，如果螺栓產生裂縫的話裂一點點之後，crack open 所以基本上它的 loading 就減少就沒有這麼大，也就是說，我算了一下，我們如果本來預訂 680 個 kip 的時候呢，它如果裂了 0.33 mm，就是說你的軸向拉上來鬆掉了 0.33 個 mm，這時候的負載理論上用倒去做的話，負載是在 510 個 kip，如果再裂到 0.33mm 的時候呢？它的負載就降到 340 個 kip，再繼續總共裂了 1.29 個 mm 的時候，它的負載就非常低，這個就告訴我們，第一個為什麼它的裂縫會長這麼長，它一直在裂之後，它鎖上的 loading 一直減少，一直減少然後兩片 supporting 住。所以其基本上如果不是全斷雖然說我做 SCC，我做疲勞，但我還不敢講說這一定不是疲勞，或是不是 SCC，但是從這個 pattern 告訴我們，這個裂縫已經長得非常非常的久，而且它旁邊的兩支 bolt takes most of the loading in these area 所以它才能長得這麼長，這是我的推斷哦！所以有一些報告我是不認同，但是 A2 可以解決這個問題，我不知道你是不是同意，或是我們大家沒有其它的意見，或是不同的看法，這是第一個，第二個你分析 C6 理論上可能有一點問題，雖說它的本身來講前端是平的，後面是有一段是斜的，就是斜出去的，希望也是斜的不是不是，因為我的看到你 report 的側邊嘛，這一個側邊，suppose 總有一個剛開始 growth 之後是不是要，你那邊可以放大嗎？這邊有不同的螺牙啊！這邊有一個、二個、三個、四個、五個啊！橫跨兩個螺牙面 OK，你可能沒有聽懂我的意思，對我來講我看這個哦，pattern 這是比較 smooth 的區域，一般來講我們只有 growth 比較快或者它本身是…的，pattern 的 holding 比較大的時候呢！它才有比較粗的，所以是比較後期，這邊反而是比較前期。suppose 你去做

分析的時候，應該先做這個區域後邊這一個應該是比較 minor

張中興博士：事實上我的報告分析的這邊啊。

蔡委員：對對，但是剛開始你兩個 crack initial site，但是基本上這才是 major

張中興博士：對，但這個 major 裏面，你看這個顏色不太一樣，這個顏色不太一樣，並不是說基本上它是有 SCC 或腐蝕力，因為可能你在這麼久的過程裏面，只要有水稍微滴一下，這個區域它的 waiting ability 很好的話，它就跑進去了，就會變成這一個區域，但是這一個區域可以看起來跟這個區域一模一樣。我傾向於就像剛才所講就是它還是 stress dominate 我是說我不知道，這二個有一個非常重要的特質，它們指的都是單軸向一直過去，就是它主要是主方向是固定的，這個也告訴我們，就是同過程，但是細部去觀察，從這個裂縫長的過程裏面，它告訴我們，所謂地震啦，起動啦，那一些可能都只是觀察，最主要因素還是有一個存在的應力，只是 always 在那邊

我想在我的報告裏面，也是這樣寫啊，我們完全沒有否認 Fatigue 啊好然後，我們不敢說 yes or no，另外老師你說你提到，的確這邊你看到像這邊的 mark 我們叫 ridge，的確反應到這個地方，它受到的 shear 或是怎麼樣，在我們的報告裏，也是這麼寫啊！這邊有一張照片，這個放大來看，這個地方看起來這二個好像是一樣，但是這個地方進一步去看的話，其實這邊的變形要比那邊來得嚴重，這個報告裏都是這樣寫的啊，

單委員：我想針對這個報告部份，我覺得目前我們這個分析好像還沒有 identify 裂縫生長的微觀機制，甚至它是因為這個快速斷裂，還是受到持續增加的力，還是疲勞斷裂、SCC 或是其它的可能性，我覺得目前，我們好像重點應該放在起裂的這個地方，有什麼原因引起，那這個地方我想結果也滿充份的 initial 的一些 defect 也跑不掉。那個 defect 怎麼來啊，也許還可以，像剛才講到的那個 IGSCC 部份，也許還可以做表面的那個 chemical nalysis

哦，看看它的成份是什麼東西。那怎麼長上去的，長的話，是一個 **fast fracture**，還有是一個 **subcritical** 的慢慢長等等，我想這地方有需要釐清，沒有釐清的東西我們的肇因分析沒辦法得到結論，這表示肇因分析會影響到目前的機率的 **special report**，機率的 **special report** 開始分析到這個完整的螺栓，完全完整的螺栓分析出來後大概應是多少多少，那假設我們這一個 **fast crack**，當作猜到 **fast crack** 水平是多少，這種螺栓裂縫的成長，基本上是位移控制的事情，不是持續加一個負載的事，除了 **fellow** 之外，其它因為與距離是固定的，假如有額外的----等等，否則它是位移控制，位移控制的內部成長是非常穩定的，---機制，也沒有長的，這個內部成長的 **driving force** 會降低，它會越長越慢，不容易斬斷，但這邊的話，確實以這種方式來長的話，萬一剩下的那些螺栓，目前的話超音波檢查是完整的，但超音波有一點 **resolution** 的限制，我們在這裡可看到真正區別的部分，那個大小，大小小於 3 公分的大小，大小檢查不出來，那就變成有潛在的風險。某一根有這些缺陷的話，那力量來了，它可能會有 **fast factor**，那就長、長、長，長大成部份斷裂或者是完全的斷裂，這一部份應該去想辦法把這個生長的機制找出來。那再來的話，就是有關這個剛才講到的台電總報告裡面，針對它這個分析，認為是疲勞的話，那目前疲勞的壽命分析出來，應該是遠低於螺栓壽命成長的壽命等等，意思是說，安全是剩下一個週期的話，絕對是不會長到斷掉，但這邊的分析，我不曉得裂縫起始 **crack initiation** 的分析，**ASME** 方式來的分析，還是說 **crack load**，那這一個部份假如是裂縫成長的機制，有進一步跡象那可能是疲勞的話，那可能這個分析就可能須修正裂縫成長的本來的傷，而不是針對 **ASME code**，它已經快 **initial** 出來了，我們再修 **ASME code**，把它的疲勞的壽命的週期還有很多已經沒什麼意義了。再來的話，剛剛講到同一批次的話，我不曉得同一批次的話是追溯到什麼樣子的地步，就是廠商送來的材料同一批次 **iso** 的反應爐材料，剛才主持人問到過二根同一批次的東西，化學成份會有差別，我想這一部份我不大確定追溯到那裡，這追溯到反應爐的材料的話，

那就比較習慣，那同意 *nastrual*，*nastrual* 廠商那當初來競標的情形也許或者其它的因素，這個我們也要追查清楚。那再來的話，除了這個 *fracture* 的部份，我想材料的部份能夠找到大概的數據可能有幫助，幫我們判斷它安全性如何，那 GE 的 *stress* 分析，我們看到螺栓的應力它其實已經可以高到 110 ksi，110 ksi 的話它這部份分析我相信可以假設到一根圓棒，那沒有考慮螺紋造成的應力集中等的問題，它螺紋看起來蠻尖銳的，其實加上應力集中的話，110 再乘上 100 factor，對於它的這個材料 110~150，這個 *safety margin* 看起來其實沒有很多，這個部份我想 GE 的部份的分析應針對這問題去強化，解釋清楚，那不光還不要考慮斷面的問題，問題強度方面可能安全因子已經沒有很高，我想就這幾點。

台電林德福處長：我們這邊來回應一下，看看各委員。

丁委員：這個材料不管斷的也好，壞的也好，都是 6136 或者是 6176，對不對，它的含碳量事實上有偏高，雖然都是 ASTM，其實我再做一次也是偏高，材料雖滿足 ASTM，但材質比例不是很好，所以有很多 *inclusion*，所以留點力量，時間到了 20 年，差不多可以 *take open*，可以如何保證其它那些同樣的批號沒有問題，因同樣的一批沒處理好，同樣的一批東西做出來不是很好嘛！那怎麼辦。第二個問題，*preload*，看到貝泰報告，當時當初它說要 714，然後貝泰又說 714 太低會讓它產生---，所以把它掉到 610，但是貝泰又說 688，688 還是會產生---，這都是問題，為何是 688，既然設計是 610，產生後防止它產生 *moment* 或什麼東西，然後乘上 1.46 的 *factor*，但是---這很奇怪，這些問題可能還要考慮一下。

康委員：我問二個問題，就是在那個 A-2 螺栓剪力叢地方有無發現氧化物，又剛開始我們的想像，前面二位教授講的，你 *fatigue* 也好，剪力也好，斷到一個程度，然後有一個 0.29g 的整個還斷掉，現在根據剛才的簡報 0.29g 好像就沒有這回事了，所以怎麼去解釋這個。

張中興博士：的確有氧化物，氧化物厚度跟這個是相當。

康委員：所以就是斷很久。

張中興博士：對。

台電林德福處長：謝謝各委員的指教，基本上分成好幾個問題，preload 請電廠解釋，破壞力學這一塊我們請核安處翁博士說明，CMTR 請電廠答覆，是一個爐子或一個 batch。

核二廠李清河副廠長：我們來探討一下，所謂的 heat number，在我們的檢討 CMTR 裡面，一共有三批，load 三批，那 note 也是有三個爐號，那麼在 heat number 就我們在 ASME 法規裡面昨天作探討的話，雖然 heat number 就是剛併出來，整個一個爐子出來，那麼這個爐子出來以後，就是原始材料，原始材料出來以後會作一個裁製，然後也許是新車牙，再作熱處理。所以一個 heat number 裡面是一萬磅，---，出來後就分好幾支在作熱處理的，換句話說，譬如說，如 heat number 636 我們在內圈裡面，現在找到是有 23 支是同一個 heat number，但是熱處理不是同時間在做熱處理的，我想向各位報告一下，就是這樣子。

主席：你的問題，你是負責 crack，繼續運轉一個週期成長會怎麼樣，然後你有一套 model 對不對，我的意思假如你要證明一個 model 是對的話，你要能否證明給我看，你可以肯定那七根會斷？

台電林德福處長：謝謝主席，它有很多的簡報，---會很快很快。

主席：這是要可靠的，你可以要有 predict 的破裂。

主席：你算出來 A2 會斷掉？不會

台電翁炯立組長：如果是安裝時，若 initial crack 超過 10 幾個 mm 有可能會斷掉，是。

主席：你 model 可以算出來會斷掉？

台電翁炯立組長：是。

台電翁炯立組長：台電就螺栓破壞力學議題“核二廠反應爐支撐板錨定螺栓破壞及疲勞評估報告”作文字性之口頭簡報。

主席：你算出來 A2 會斷掉？

台電翁炯立組長：如果是它的原本在安裝時，若 initial crack 超過 11 個 mm 有可能會斷掉。

主席：所以你的 model 可以算出來會斷掉？

台電翁炯立組長：對！對！對！~是！是！是！

台電翁炯立組長：主席，各位委員接下來我來報告一下，我針對這個螺栓破壞力學方面的問題喔，耶同時跟蔣委員還有單委員丁委員回答一些問題，那因為時間的關係，那我就報告各位那個我們手上都有了，針對詳細的報告，那我在這裡是做比較簡要的簡報，我大概分成五個部分，一個是前言，一

個是我做這個分析我的裂縫假設是什麼，以及我的 stress intensity factor 怎麼算，還有螺栓斷裂的分析，還有另外這個 predict crack lost 怎麼來 predict，最後一個是結論，現在當然我們 7 支有瑕疵螺絲，我們現在會把它修好，照理講是回到 design basis 但是哩，就是說因為有剛剛有，若有一個 initial crack 在那裡的話那你的螺栓能不能 survive，所以我們再做這個分析，那如果可以 survive 那你的螺栓到底，如果因為 fatigue 近來的話你大概多久你會壞掉喔，那我假設第一個我們 assume 說我的螺栓內部有 ut 沒有檢驗出來 2.5mm 的 crack 在那哩，這是經過 ut 的那個專業人員，如果是 2.5mm 以上測不出來那就不叫 ut 檢測的合格人員，所以我們 assume 我的螺栓內部有 2.5 個 mm 的裂縫深度了那我把它 assume 這個裂縫是長在螺牙根部，那個你只要螺牙根部有裂縫長進去了，那你的裂縫邊緣就伸到你的外徑來了，我把螺牙的那個溝槽也列為裂縫的一部分，所以我雖然是 ut 是 2.5mm 的 uncertainty 但是我再加上螺牙的深度，螺牙深度是 1.95 個 mm，所以我這個分析是 assume 我的 initial crack 就是 4.45 個 mm，那一個 4.45mm 的螺栓它能夠受多少力，我們來看看喔，你要做破壞力學分析當然要第一個，你要算它的 stress intensity factor K1 就應力強度因子喔，那應力強度因子勒我們用一個應力強度手冊有針對這個一個研究議題，它有一個裂縫是 360 度的裂縫，那當然我們的裂縫，不會是 360 度但是我們螺牙部分是 360 度，那我們根部長進去的裂縫當然不會是圓周，因為是一個半橢圓形的表面裂縫，可是我們因為應力裂縫有兩個形狀應力強度你沒有辦法去算，所以我就 assume 保守 assume 只要有裂縫漲出來就是 360 度的裂縫，這樣才有辦法算到 stress intensity factor 好那那所以這個 K1 喔，照這個喔形狀受這種力量這個 axial loading 的話它的 K1 是 $\sigma \sqrt{\pi a} / \sqrt{D}$ ，那麼這個比較特殊還有一個 d over 這個小 d over 大 D ， A 就是裂縫長度那 $\sigma \sqrt{\pi a}$ 也就是說我這個裂裂裂裂那沒有裂的部分，我真正受到的 net 的這個的應力後，那麼這個是因為這個形狀修復係數，幾何形狀修復係數，它是 function of λ 還有 function of 這個裂縫的這個深度後， λ 是小

d over 大 D，就是這個樣子後真正還存活的這個部分所受的應力，好那因為時間的關係我就不講太囉唆，好 k1 我們這邊就可以算，好那我們要判定你這個材料能不能那個 sustain 某一個 loading 我們當然要一個叫做斷裂體的 fracture criterion 那我們現在比較成熟的 fracture criterion 就是脆性斷裂，就是把這個材料當作脆性，那是實上我們基礎材料是不是脆性，當然不是脆性，它有彈塑性，可是彈塑性的破壞力學又不是很成熟，所以勒比較成熟就是脆性破壞力學，把這個材料當作是脆性，那脆性斷裂的主因是什麼，就是說如果我的應力強度因子 K1 大於我的 K_{ic}，K_{ic} 就是我們材料所謂的 fracture toughness 就是斷裂應力剛剛那個蔣委員跟那個單委員就是這個材料斷裂韌度，如果我們 K1 大於 K_{ic} 那當然會斷，那我們剛剛看到我們是我們螺栓是一個圓周沿著那個圓軸狀然後 360 度裂縫那這個它要斷裂的條件是什麼，剛剛我們知道應力強度因子怎麼算了，還有這個 fracture criterion 在這裡所以我們馬上就可以知道說我們這個錨定螺栓，我斷裂的組合是這個樣子，我應力大到某一個程度我一定會斷，我的裂縫裂到某一個程度我一定會斷，因為它這個算起來你的 k1 會大於 K_{ic}，那我們核二場錨定螺栓我們到底 fracture toughness 是多少，那我們現在沒辦法知道詳細的數據，但是勒我們從 CMTR 我們知道我們螺栓哩，我們這一批螺栓它的 charpy impact energy 是 48~54 磅之間，那我們因為你要做那個 K_{ic} 沒有那麼容易可能設備要很大，一般來講很多種方式，那其中一種方式是我們做了 charpy energy 然後把它換算成我們 K_{ic}，那這個 charpy energy 換成 K_{ic} 有一個 Rolfe-Novak-Barsom correlation，這個東西就這個式子，我們知道 charpy energy 的這個值，然後我們知道材料的 yield stress 然後我們可以得到 K_{ic}，那麼我們要利用這個 correlation 我們有一個要求就是說，你這個 correlation 是像這個你的 yield stress 再 110 到 246ksi 後然後你的 charpy energy 46 到 89 磅那我們錨定螺栓的特性剛好就符合這個東西所以我們由這個來轉換，我們知道我們的材料哩，這個材料的 fracture toughness 在 174 到 186ksi 根號 inch 之間，那這個換算成剛剛那個蔣委員講的那個那個 MPa

根號 m 這個大概 180 幾，所以這麼沒有像 assume 的這個 100MPa 根號 m 那個低拉，那我們採用最低的 fracture toughness 是 174 後，由這來看我們這個螺栓會不會斷，那我們這個當時我們這個有一個 A2 螺栓還沒有修的時候，我們有用 finite element 去算它如果受到 SSE+LOCA 的情況下，它螺栓受力大概 672Kips，承受之軸向拉伸應力為 103Ksi，那由這個 loading 然後去戴入我們剛剛那個斷裂條件我們發現，我們錨定螺栓它發生斷裂的臨界裂縫深度是 0.46inch，大概是 11.68mm 所以剛剛就是說如果我們的螺栓剛剛你在安裝的時候如果是受力很大那如果你的那個 initial value 超過這個數值的話，那照這個算法一定會斷，那再來就是我們 predict crack 怎麼算，又是剛剛有提到就是說我們不適用 SN curve 算拉，當然你裂縫在那邊的話你要算它裂縫成長當然適用 Paris law 那 Paris law 這疲勞裂縫成長只要有裂縫的話你要疲勞機制就會疲勞成長，那疲勞成長有兩個階段，一個是如果你的 ΔK_I 就是你的應力變動，會疲勞就是因為你承受一個交變應力，應力是反覆變動的後反覆變動剛剛講的應力強度因子如果是達到某一個值，這實驗可以做出來，這個我們叫 ΔK_{th} 你的 ΔK_I 如果大於 ΔK_{th} 就會成長，那成長以後你就會 follow 我們一般 Paris law，也就是說我每一個 cycle 每一個應力循環的裂縫所成長的量呢是等於跟你的 ΔK_I 有關係就是你的應力強度因子的變化量跟它有關係的，那這個是有兩個常數，那我們現在看這個圖，這個是一般材料的疲勞裂縫成長它的那個線圖喔，這邊疲勞量對這裡的 ΔK_I 那跟這個圖看起來一樣裂縫成長量如果是小於你那個值的話你就不會再長，那這一點我們叫做 ΔK_{th} 就是有了裂縫以後你所受的交變應力你的 ΔK 有一個值，你如果超過這個值你裂縫就會因疲勞而成長那如果超過這個的話就會成長如果沒有超過這個一般來講我們是定義它不會成長，那超過這個的話要怎樣算它裂縫成長，就是 follow 這個曲線這個叫 Paris law，這個也就是說我的 ΔK 我的應力強度因子的變化量，跟我的裂縫成長量如果畫在一個 log log 的圖表上，我們可以發現它是一個直線，所以我們可以寫成一個這樣的式子，

在這個圖表上一個直線就是指數的關係所以這是 Paris law 那我們，好這個兩個階段，那我們來看看我們是落在哪個量，這個裂縫會怎麼成長，那我們疲勞裂縫怎麼成長怎麼算哩，剛剛講的我們 ΔK_I 我們由剛剛裂縫成長因子的那個應力強度因子我們知道，我們 ΔK_I 是剛剛那個應力換成是 Δ 應力，應力變化量那其它是一樣的，那我們要算它的那個應力的循環數，就是它的壽命我們是把它的這個 DA 我們要算這個 n 多少我們就把這個 A 掉過來然後積分，積分後發現 n 就等於這個積分式，那積分是看來如果 A 是 2 的話那就是變成 $\log$ 那如果 A 不是 2 的話那就會可以得到這樣的一個式子，所以你的疲勞的壽命就是可以用這個式子來算，那這個式子裡面就是說 A_c 就是說我們會發生斷裂的臨界的裂縫尺寸這個是 $a_{initial}$ 的裂縫尺寸 $a_{initial}$ 的裂縫尺寸就是長長長到你的臨界裂縫就斷掉了，所以你的疲勞壽命就這斷而已，那這一斷就是用這個式子來算，那這個式子來算那這個 F 勒是循環幾何形狀係數是 a 的函數那麼 $\Delta \sigma$ 也是 A 的函數所以這個是你如過要算的精確你要算的很細很細很細，因為你才能夠反應某一個裂縫長度所對應的長度幾何形狀係數，所以一般你要分的很細才行，那我這個算法我把它分成 400 份去算那當然寫一個小程序來算馬，那我們現在來看你材料有裂縫以後你會發生疲勞裂縫成長你當然要有一個交變應力，你一個反應爐好好的在那邊你沒有受交變應力，你受的 $preload$ 那個都是 $steady loading$ 那對疲勞不會影響那到底你反應爐坐在那邊我們螺栓到底會受到什麼交變應力，那我們想到的就是說，有兩個應力一個是 $thermal moment$ 就是說我們每一次我們反應爐要起機的時候我們那個反應爐的 $skirt$ 那個裙部的，我們會網外伸張，網外伸張因為你的 $anchor bolt$ 是把它卡進去，所以網外它會有個 $thermal moment$ ，那你運轉後這個 $thermal moment$ 就瞞大的當你停機下來後，它就會回來了，所以你每一次停起機，它會有一個這樣子的交變應力，那這個應力算起來是蠻大的，那我們來看看這個會不會產生對我們的裂縫我們就 $assume$ 說 UT 有 2.5mm 的裂縫檢測不出來那我們現在都檢查過了馬，那我們可以假設說我這個檢

查過的裂縫這個螺栓內部沒有存在 2.5mm 以上的裂縫那從這個裂縫，我們會不會繼續疲勞裂縫成長，來我們來看看，到底 loading 多少，那 loading 我們有算了我們有用 finite element 算，大概 thermal moment 大概你的應力為 19.22Ksi，那當然所以你的 ΔK_{th} 是 19.22Ksi 這樣一個交變應力，那應力循環的頻率就是每次起停機，每一次起停機的時候都會承受這麼一次應力循環，那另外一個可能就是說大家一直懷疑說妳 XE105 你那個強震儀是不是測到了一個不正常的那個垂直的地震力，那這個垂直的地震力我們 assume 保守的說那個是真的 0.29g 那這個 0.29g 在這裡我們的 OBE，也就是運轉基礎地震，還有我們安全停機地震，所以 OBE 跟 SSE 之間 0.2 到 0.4 之間，那我們保守假設那一個事件，我們發生這個強震儀所紀錄到那個事件我們 assume 它是 SSE 加 LOCA 最嚴重的情況之下所發生的 Loading 那這個 loading 我們有算它在這個垂直力勒是 1083 磅那我們去算它螺栓所受的軸向應力是大概 10.48 個 kips，那應力是 1.61ksi 就你每一個螺栓受到垂直的向上應力是 1.61 個 ksi 所以勒我們那它的應力循環怎麼算應力循環就是說好我們看整個事件大概持續 1.7 秒那我們 assume 說那個強震來的時候我們是整個反應爐在抖那我們反應爐有 fundamental 的那個 frequency 是 8.29 個 Hz 所以我們 assume 1.7 秒都用 8.29Hz 來震，那每一個事件交變應力循環是 14 個 cycle，好那我們來看疲勞的結果是怎麼樣，一個是 thermal moment，我們剛剛講 $\Delta stress$ 19.22 然後，看會不會達到 ΔK_{th} ，可以說你這樣受一個應力，受一個交變應力，你一個裂縫在那邊 4.45mm 的 initial crack 在那裡，你會不會 ΔK 超過 ΔK_{th} 結果你的裂縫會不會產生疲勞裂縫成長，0.8mm 它要超過，就是說你這個大 loading 你如果不發生疲勞裂縫成長你的裂縫要小到 0.8mm，現在我們 assume 4.45mm 所以呢，如果有這個一個 4.45 的 initial crack 在那裡你受 thermal moment 會疲勞裂縫成長，絕對會裂縫成長後，所以這個會成長，那我們來算一下剛剛那個 paris law 把它積分完後它的疲勞壽命由 A_0 就是 initial crack 長到 critical crack 受力多少那我把它分成 400 段來分析那分析的結果，那它的

疲勞壽命可以承受 8.2×10^4 的 4 次方 cycle，我們在報告裡面有個附件那也是遠小於 allowable stress cycle，所以這個交變應力對於錨定螺栓來講事實上沒有疲勞的威脅。即便說有些 UT 檢測都有 2.5mm initial crack 在那裏，也是沒問題。所以我作個小小結論：假定錨定螺栓仍有可能存在 UT 檢測無法判讀的 2.5mm 之裂縫深度，加上螺紋深度大概 4.45mm，假設這個裂縫沿著全周 360 度全部裂，此時我們進行破壞力學分析還有成長分析，我們發現，這樣一個 initial crack 要讓螺栓斷掉，crack 至少要 11.684mm 才會斷掉。現在 0...mm，加上螺紋 4.45mm，在這種狀況不會有立即斷裂之疑慮。要 11.684 才有可能斷裂，當然若有其它原因讓它 initial crack 長到 11.684mm 就會斷裂，但如果純粹 initial crack 在那裏是沒有問題的。疲勞劣化的這二個邏輯也許螺栓有受到交變應力，第一個 thermal moment 大概它可承受 4.5×10^5 的 5 次方，100 cycle 小於 allowable 應力循環，如果承受懷疑的交變應力/垂直應力我們算出來為 2.6×10^7 cycle 時，才會讓它由 initial crack 長到 hot fracture，我們整個 40 年承受之應力循環大概保守估計為 1400 次，所以也遠遠小於我們可以承受的應力循環數，所以整個結論是承受可能的交變應力包括 thermal moment 與垂直變道等等，40 年所發生的應力循環數都遠低於裂縫的成長壽命，而且這個大很多，另外我們評估是用最近發生的例子，事實上材料會有彈塑性，所以是保守的分析，裂縫假設也是保守的。所以我們判斷核二廠一號機應該只有汽機安全運轉一個週期以上，應該沒有什麼安全上的疑慮。我先簡單報告到這裏，看大家有沒有什麼需要提出來討論。

主席：委員問問題之前，我先請問一下，你們現在還有什麼東西還沒有做完，譬如說材料還有沒有什麼實驗沒作完，如：inertia test machine 有沒在作？基本材料特性有沒有作，這是第一個；第二個，你現在只作三根，另外四根作不作，你要清楚告訴我們，因為你現在講說都是個案不是通案，每一個理論上你就要講出來一個理由，如這個 bolt 是靠邊，那個是原來就有 crack，第三個又是什麼原因，第四個、第五個、第六個、第七個每一個都

是個案，同一個批次都是巧合？是不是先告訴我們一下。

台電林德福處長：看委員指示的事項，我們再做個回應。第一個我們報告就是 0.29g，經過我們內部診斷，我們認為它是極低頻這邊造成的信號變化量，當然委員提的意見蠻好，我們會帶回去遵照辦理，怎樣把儀器送到中央研究院地球研究所也好，進一步校驗做我們要做的，委員也提到儀器監測這一部份，我們也會遵照辦理，除了 8 個加速規以外，這一部份我先回應。肇因部份，蔡委員、單委員、丁委員幾位專家大家共同的看法的確是說一定有一個 initial cracking，這個 cracking growth 到最後這個 crack 時間很長，這部份是大家的共識。大家提到 initial cracking 主要有三個原因同時存在才會造成，我們一直在說明的一點是說，早期的安裝施工過程，當然主席有提到怎麼樣的工具工法，早期是人工、液態、液壓的方式板手施作，剛剛金相分析也顯示螺牙螺紋這邊有些受傷，所以這部份顯示人工在施作的過程中有一部份的確有這方面的瑕疵，加上製程、加上熱處理這部份，當然主席所述的部份?等等我們會進一步來作整理。在這種情況之下我們就衍生到怎樣做一個安全評估。剛剛翁博士也好，單委員或者蔡委員提到用最保守的情況假況。假如 UT 目前檢查不到的不準度為 2.5mm 當作一個基礎，螺牙的螺紋深度是 1.9mm 加在一起為 4.4mm 當作一個 initial cracking 的量，經過這麼一個複雜方式算出來，我們認為在整個 growth 部份可以見到未來至少一個週期的運轉，當然下一個週期大修的時候，我們當然把所有部份作一個 UT 全面性檢查，然後在此期間我們就是用一個嚴密監測系統來看看邱委員所提到振動等各方面的情況，以上就是我們電力公司這方面的 summary，主席提到的這部份，檢驗我們是委託核能研究所，然後完成後又送到工研院做拉伸試驗，這部份我們是持續在做，資料部份可能要在做整理之後再來跟會裏作一個報告。

主席：有關拉伸試驗，不知委員有什麼意見，譬如說試驗還有不足的地方，如一般的材料就需要做一些判定，我只知它們還要做拉伸試驗，是否還有其它試驗?第二就是，另外還有 4 根，這 4 根是否也要做肇因分析，確認它也是

一個個案而不是一個通案。

核二廠汪雅政課長：報告處長，那 4 支是有 indication 超音波判斷它的深度都是接近 2.5mm，只是很淺的，對它金相實驗來講，它如何從完整的螺栓去看那很淺的裂紋，它怎樣去把那個面剝開，現在都有一個困難度。

單委員：針對剛剛才的地方稍微請教一下，首先 $K1=K1C$ 那部份，我沒拿到 hard copy 報告，好像之前那個分析版本和剛剛報告版本不一樣，之前分析版本比較保守一點，現在的看起來沒那麼保守的樣子，從這二個地方比較，我想關鍵的東西有二個， $K1=K1C$ ，第一個 $K1C$ 準不準確，一個是 $K1$ 準不準確這二個關鍵。先看 $K1C$ ， $K1C$ 剛才用的公式它是用 CVN 去推出來，推出來的數值 170 幾，非常非常大，pressure …, Rx pressure water.. pressure.. 比它高很多，所以我是有一點懷疑那個數據那麼大合不合理，這懷疑也不是沒有根據，因為假如我們跟在之前核研所…去比較一下，假如是那麼高的韌性，它破壞的時候基本上就分為剛才所講的其實不是彈性脆性的破壞，它應該是彈塑性的成份很高。在這種情形之下，好像跟我們剖斷面所呈現的邊脆狀況不太吻合，這是從剖斷面那一部份去看，174 數字也許不是那麼保守。第二個當然是從原來紙本報告裏面引用到第一篇論文同樣的 steel，裏面的數字是 98，我們假如看論文題目它就是寫 VAR 書來，我想請教一點，你們螺栓的製程跟 VAR 比較起來，那一個比較乾淨，因為假如你的雜質成份比較多，譬如油等，恐怕 $K1C$ 掉很多，所以高標準做出來的 VAR 是 98，所以這是第二個旁證據用 174 我覺得有一點太不保守，再來 $K1$ 應力部份，今早我收到 GE 新的 report，它的應力 upset 狀況，應力受力最高的螺栓差不多 110 個 KSI，這一部份我不知道它有沒有包括剛剛講到起停機的時候可能引起額外的應力，那邊還有差不多有 20，假如有的話，可能 130，這 130 假設螺栓是垂直安裝，沒有 bending 的情形，假如安裝有什麼不當等，可能它都有一點垂直受力可能還有 bending 等還會加上去，所以 $K1$ 的計算部份夠不夠保守值得商榷，我想這幾個地方提出這幾個方向讓台電可以參考一下。

康委員：我想請教一下，fatigue 計算那一部份，沒錯考慮 alternative stress，但 mean stress 沒考慮，因為你的 preload 很大。

周委員：在算交變應力時，現在只考慮 thermal moment 跟 shutdown upward，嚴格來說，相較於 SRV blow down 或者地震力，這才是真正 alternate stress 的來源，你完全沒有考量。第二，你現在所算的 fatigue load 在我來看，基本上是 high cycle fatigue，如果你把地震力考慮進去，是 low cycle fatigue，那些公式就不見得適用，這東西可能使這整個說法不通了，再回過頭來，你要說服我們，如處長所說，你要 benchmark 你用什麼破壞力學方法、數據、檢核目前已經斷了，你可算出來，在這樣一個 cycle 數確實會斷，這樣子來算，還有，有委員提到你現在用 AISI 4340 still 去反推 K1，這是不是 equivalent. 還有 charpy test，你現在原來 CMTR 有 charpy test，跟你現在新做的也有 charpy test，不曉得如果已經斷的或 existing 113 根，這些材質如果現在可以做的話，如果你做 charpy test，它的值會不會因為你使用在 30 年的環境狀況下會有所改變，如果不會，當然可以用新的或 CMTR 值來作，我只是說你用別的 AISI 4340 材料是不是 equivalent to 目前材料，還有你目前所用的 pressure loss 是不是合你現在所作的 thermal mode shutdown upset，這都是屬於 high thermal fatigue，因為 $\Delta \sigma$ 太小，你這樣考慮的 SRV blow down，faulted condition，甚至 upset condition，OBE/SSE 這種 alternate stress 你完全沒有在這上面提。

丁委員：做 fracture mechanics 怎麼做都可以，你 loading 太小，就像周鼎剛剛講的，還有時候材料本身是 random 的，你材料本身已經不好了，你 random 的，你上次 60 根壞了 7 根，我們用統計的 prediction 預測，下面會有多少根，然後你給我的信心度是 95% 的信心度呢，那你會壞多少根？這是第一個問題。你的問題你能否告訴我？因為你現在做 fatigue analysis 事實上 uncertainty 太多了，因為你剛剛假設每一根螺栓它的破壞都是獨立的，都沒有 couple 的現象，你怎樣 couple 法，你是 random 的，你是怎樣這根與這根之間，然後它的力量你不是光有現在的力量，你有 unbalanced 力量出來，你有新的

load 產生，不是當初 square design 設計的 load，因為你的 unbalance，因為你根本不曉得會斷多少根，這個 unbalance load 你都不知道，這是第二個問題。材料測試當中你只測試一根能代表所有都好嗎？請問你信心度多少度，你的 reliability 到底多少，這是問題，因為你同樣一批材料進去做，它出來的材料本身含碳量都很高，它本身雖然符合 ASTM，但是它事實上你再做熱處理的不好，然後你在安裝的時候 misalignment 情況也有可能，這都是設計分析都沒有考慮到，你只有 tensile 的力量，沒有 bending 到 load，alternate 交換應力你用 high cycle fatigue 公式去算 low cycle fatigue 現象，這好像不能 apply，力量也不夠，所以等等問題，材料不是 perfect。

台電翁炯立組長：針對單教授講說當時我們第一版破壞力學分析時用的是 95MPa，是因為那個 paper 我們引用它也是用 ESM，可是它 ESM 非常高它是 1200 多 MPa，我們 ESM 沒那麼高，所以我們…率比它好，所以我們後來才想說用我們的 CMTR 比較反應實際的東西。周委員提到有沒有考慮到 SRV blow down，我們當初假設說垂直力與 SSE 加入 LOCA 情況一樣，原來貝泰設計時 LOCA 沒有 SRV 這一項，可是後來 GE 有加進去，所以後來垂直向上力 SSE 加 LOCA 是用 GE 的數值 1083 kips。

周委員：只有 Low cycle 沒有考慮地震 bending？

台電翁炯立組長：全部放在一起全部放進去， $\Delta \sigma$ 很低。另外，在算 fatigue crack growth，事實上 Paris law 它沒有說只用在 high cycle fatigue，因為 $\Delta \sigma$ 很大，但還是落在那一條線上，也就是並不是只限於用在 high cycle fatigue，它 low cycle 照樣可以用，…它落在很右邊，所以 $\Delta \sigma$ 很大，所以裂縫成長非常快，所以 low cycle fatigue Paris law 可以用。另外，康委員說 stress ratio，我們用的 fatigue crack growth 的 stress ratio 是 0.8，0.8 很高，我們 case 是在 0.84 所以很接近，我們找不到 0.84 但是我們分析出來 fatigue crack growth margin 非常大，所以我們在 0.84 情況下我們只能找到 0.8，所以我們用很接近的數字

來採用，我先答覆到這裏。

主席：各位委員還有什麼問題？

丁委員：Fatigue model，事實上還有 bending，bending 要考慮進去，你把它的力量都換成拉力，不是這樣子，事實上沒有 bending 力量，也要把 bending 效應考慮進去，你不能全部把它轉換成拉伸，是不是。

台電翁炯立組長：我再補充有委員問說沒有考慮到應力集中的問題，GE 報告是跟設計 criteria 去比。我們設計一個核能組件是依照 ASME code，ASME code 中對於應力集中應力叫做 peak stress，peak stress 是在算 fatigue 或 SCA 用到，可是你在 design 時候是用在評估結構會不會遭到 whole section yielding，它主要在防止 whole section yielding 所以它是整個結構來看，它沒有看 local 地方。所以應力集中在 ASME code 來講是不考慮的，但是 peak stress 什麼時候要考慮呢？你如果要算 fatigue life 時，譬如這個結構有應力集中，你要算它的 fatigue life s-n curve，你要把應力集中放進來，因為 fatigue 它是 local 的效應，可是你要算 whole section yielding 時就不用考慮。

周委員：那是螺牙或螺桿的？

台電翁炯立組長：螺牙的

周委員：螺牙 K 值在設計時要考慮進去，你看那 anchor bolt handbook 上面，螺牙 K 值當然在設計時要考慮進去它的強度。

台電翁炯立組長：K 值當然要考慮，但是要算 whole section yielding 時，你就不用考慮，因為那是 local stress，local stress 是不用考慮的，那是屬於 secondary stress 一部份，考慮 whole section yielding 時，應力集中效應就沒有了，所以照 ASME code 設計時，這一段不考慮。

主席：是不是今天答覆討論就到這裏，也麻煩各位審查委員，由於有些真的不是我們的專長，所以麻煩把你們的意見寫下來。當然我們會有記錄，然後再寄給各委員，各位委員麻煩你們再做個修訂，修訂完以後我們把它作個會議紀錄，然後要求台電公司盡快回答。當然我們有 proposal 一個 schedule，假如你們能夠快回答，當然我們可以把後續的審查會提前，假如你們回答慢，譬如有些實驗可能需要花比較長的時間，假如審查會延誤，當然最後我們的審核與安全評估報告出來的時間也會延後，雖然我們目前暫定是在 5 月底 6 月初，但還是看你們的進度，你們進度快，我們進度也快，你們進度慢，我們進度也慢。所以這一部份請你們時間上一定要把握，我還是提醒你，總是大家還是有一個疑慮，同一個 batch 你要怎麼去解釋，同一個區域你怎麼解釋，每一個人都會很困惑，所有的偶然都發生在同一個區域，有時候人家會覺得很奇怪，就跟我以前去查輻射鋼筋一樣，那怎麼是偶然，所有的證據就是化學兵學校，那跟本不是偶然，是直接也對，掉的射源也對，地域關係也對，那怎麼可能是偶然，不可能是偶然的事情，就一定是它。從 probability 來看也是，區域也對，batch 也對，什麼都對，那你們一定要講說是單一個案，每一個都是單一一個案，你們需要提出來強而有力的證據，當然，另外，假如你們認為每一個都是個案的話，你還是要 prove 另外的 113 根不會也落入個案，譬如：它也沒有安裝不良，它也沒有咬牙不好，這些你們可能也要證明，有沒有咬牙把螺牙咬壞，有沒有合理去懷疑說其它也會有螺牙咬壞，也有裝置不當，已經靠邊，持續以後就會有 crack growth 等等，這些可能你們都需要回答。

丁委員：initial fuel loading 時，看貝泰報告，你們告訴我的答案不 qualified，因為你們講的四個條件都不滿足，然後就說 682，最好給我一份完整的報告，貝泰的。

主席：那就是說它的 preloading sequence?

丁委員：preloading 是 700 多，然後它突然變成 510，510 然後它們怎麼算出 688，

希望再補充答案給我，你們給我的答案講的不太清楚，為什麼它從 700 多突然變成 680，貝泰報告，這個很重要，因為當初設計是講 700 多，怎麼突然變成 680。

主席：當初設計是貝泰還是 GE？

丁委員：貝泰。

主席：賴科長。

核管處賴科長：行政組報告，今天所有簡報資料全部都要留下來，因為我們在網頁上開了一個專區，第二個，因為我們今天有一個議題就是審查意見回覆，並沒有討論到，所以，我們有 E(email)給委員，委員如果覺得答覆你可以接受的話，麻煩在同意欄上勾個同意，再 E 回來給我們，第三個跟委員抱歉一下，因為台電給的資料太晚了，有些是昨天才來，或是今天早上才來，所以 E 給你們太慢了，以後我們在開審查會以前我們會提前要求台電提供這些資料，謝謝。

主席：什麼時候可以上網，資料應該明天可以上網。

賴科長：我們要紀錄出來以後才會上網。

主席：你是說會議紀錄出來，也許簡報資料可以上網，會議紀錄可能需要點時間跟委員確認…，影像檔與文字檔可能更慢一點。