

核四廠一號機反應器爐心支撐結構
品質文件查證報告

吳毓秀

委託單位：行政院原子能委員會核能管制處

執行單位：行政院原子能委員會核能研究所

中華民國九十四年九月

目 錄

頁次

1、前 言	1
2、爐心支撐結構簡介.....	2
3、爐心支撐結構品質文件查證.....	7
4、爐心支撐結構銲接材料查證.....	44
5、資料報告(NCS-1 DATA REPORT) 相關部分.....	54
6、結論與建議.....	56
誌 謝.....	61
參考文獻.....	62

1. 前言

核研所核四建廠安全管制支援專案計畫(以下簡稱核四專案)配合原能會核管處政策指示與規劃，先後完成「核四廠一號機反應爐壓力容器品質文件查證報告」及「核四廠一號機安全釋壓閥洩放管路(SRVDL)系統查證研究報告」等數篇，藉由上述選定之重要安全設備之品質文件查證作業建立視察技術能力，深入查證該設備之製造品質是否符合相關法規規範，並將查證結果彙整為報告，陳報原能會核管處作為管制參考。

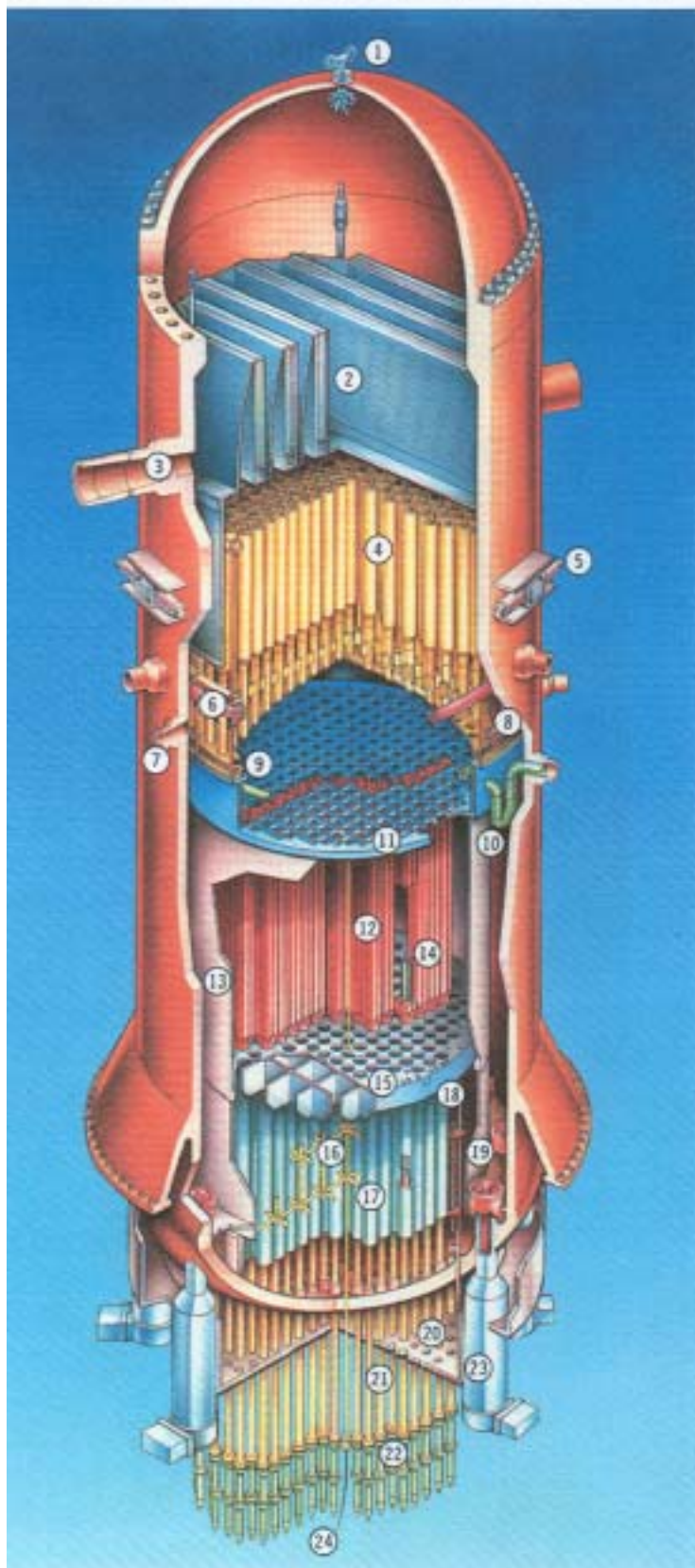
核四專案同仁藉由累積重要安全設備之品質文件查證作業，以及重要安全相關系統品質文件查證技術能力，查證範圍有泵浦、熱交換器、管路、閥類組件等之品質文件作為查證標的。此外，將系統相關之設計文件列入查證範圍，深入研究其設計與運轉功能，以期能持續精進核能電廠建廠期間之視察技術能力。重要安全相關系統查證視察能力之建立，其目的不僅對於確保建廠期間系統設計及組件品質有正面效益，亦期望能提供原能會日後電廠商業運轉後安全管制之參考。

接續前述安全釋壓閥洩放管路(SRVDL)系統查證研究報告，本報告選定一號機爐心支撐結構的爐心側鈹(Shroud)、爐心底鈹(Core Plate)、頂部導架(Top Guide)以及由 205 支控制棒驅動殼(Control Rod Driving Housing)選取 2 支作為品質文件研究查證作業目標。本報告亦將陳報原能會核管處參考。

2. 爐心支撐結構簡介

核四廠為進步型沸水式反應器 (Advanced Boiling Water Reactor, ABWR) 核能電廠，安裝兩部機組，每部機組有一座反應器壓力槽(Reactor Pressure Vessel, RPV) 如(附件一)，RPV 為奇異公司設計，額定熱功率輸出為 3926MWt，一號機反應器壓力槽為日本的 BHK 公司製造，二號機反應器壓力槽為日本的 TOSHIBA 公司製造，反應器壓力槽主要的功用是用來包封爐心、內部組件和反應器冷卻水，做為完整性的屏蔽，以防止壓力槽內放射性物質外洩到乾井，提供可以用來產生高乾度飽和蒸汽空間。

依據 ASME Sec. III Div. I Sub. NG 之規定，反應器壓力槽內部組件可分為爐心支撐結構(Core Support Structures)和爐內結構(Internal Structures)，爐心支撐結構為直接支撐核燃料組件，如爐心側板、爐心底板、頂部導架、控制棒導管及控制棒驅動殼上半部等。控制棒驅動殼下半部屬於 Class 1 之反應器冷卻水壓力邊界(Reactor Pressure Vessel Boundary, RCPB)，須依據 ASME Sec. III Div. I Sub. NB 規範設計、製造。RPV 內部組件均由日立公司製造，爐心支撐結構組件之外的組件，如核燃料組件、圍包組件(Blanket Assemblies)、控制棒組件(Control Assemblies)及儀器設備(Instrumentation)等均歸類為爐內結構。



進步型沸水式反應器 壓力槽內部組件

- 1.頂蓋排氣及噴灑
- 2.乾燥器
- 3.蒸汽出口流量限流器
- 4.汽水分離器
- 5.反應器壓力槽穩定器
- 6.飼水噴嘴
- 7.停機冷卻模式取水管
- 8.低壓爐心灌水及
停機冷卻模式噴嘴
- 9.高壓爐心灌水
- 10.高壓爐心灌水接頭
- 11.頂部導架
- 12.核燃料束
- 13.爐心側鈹
- 14.控制棒
- 15.爐心底鈹
- 16.爐心儀器導管
- 17.控制棒導管
- 18.爐心差壓管
- 19.反應爐內部再循環泵
- 20.隔熱
- 21.控制棒驅動殼
- 22.微調控制棒驅動系統
- 23.爐內泵馬 驅動殼
- 24.局部能階偵測系統

附件一

2.1 爐心支撐結構主要組件簡介

2.1.1 爐心側鈹(Core Shroud)

為一圓筒狀結構體，材料為 SA240 Type316L 不銹鋼。爐心側鈹總高約 6.9 公尺、外徑約 5.6 公尺，由上而下依序由上法蘭(Upper Flange)、上筒殼(Upper Shell)、中間筒殼(Middle Shell)、下法蘭(Lower Flange)及下筒殼(Low Shell)等五段筒身銲接而成，共有 4 條水平銲道，至於垂直銲道部分，上、下法蘭各有 6 條，而筒殼部分則各有 2 條垂直銲道。爐心側鈹下筒殼的下緣日後將銲接在壓力槽內部下方之側鈹支撐環(Support Cylinder)上，上法蘭將與頂部導架以螺栓接合，以承接上方側鈹頂蓋(Shroud Head)以及汽水分離器(Steam Separator)、乾燥器(Dryer)之重量，爐心側鈹之下法蘭將與爐心底鈹(Core Plate)以螺栓接合，控制棒導管(Control Rod Guide Tube)上方凸緣將與爐心底鈹接合，下方與控制棒驅動殼接合(Control Rod Driving Housing)，爐心燃料之重量即利用上述結構順利向下傳遞，由反應爐底蓋(RPV Bottom Head)承接。爐心側鈹主要提供下列功能：

- (a)提供爐心底鈹及頂部導架橫向支撐。
- (b)分隔降流區(Downcomer)與爐心主流(Core Flow)。

2.1.2 爐心底鈹(Core Plate)

爐心底板為一個不銹鋼圓板(SA240 Type316L)，板上有孔洞，用以容納 205 支控制棒導管、52 支外圍燃料支撐架(Peripheral Fuel Support)、定位銷(Alignment Pin)、62 支爐心導管(Incore Guide Tube)及 10 支中子源定位孔(Center Hole for Neutron Source)等元件，圓週有一框邊(Rim)，爐心底板下方銲接不銹鋼板衍樑，爐心底板以螺絲鎖在爐心側板的下法蘭，以提供下列功能：

(a)作為 52 支外圍燃料元件的垂直和橫向支持。

(b)作為控制棒導管之橫向支持，也提供了燃料元件和燃料墊塊之橫向支持。

(c)除了外圍燃料元件外，所有燃料之垂直支撐，均由燃料墊塊、控制棒導管、控制棒驅動殼和反應爐底蓋提供。

(d)強迫冷卻水流使其通過各燃料元件。

2.1.3 頂部導架(Top Guide)

頂部導架由柵格板(Grid Plate)、胴體(Shell)和小胴體(Small Shell)、頂部法蘭(Top Flange)、封環(Seal Ring)等銲接組合而成。柵格板和小胴體材質為鍛造(Forging)不銹鋼板(SA182M Gr. F316L)，其他為不銹鋼板(SA240 Type 316L)。柵格板內部為格子形結構，共有 205 格，每一中間方格可容納 4 支燃料元件及一支控制棒，亦稱燃料穴(Fuel Cell)，在外

圍有 52 個方格，各裝一支外圍燃料元件。頂部導架以螺絲鎖在爐心側板的上法蘭，以提供下列功能：

- (a)作為燃料元件上部之橫向支撐。
- (b)作為各中子偵測儀器(SRNM、LPRM)上部之橫向支持。
- (c)作為中子源上部之橫向支持。

2.1.4 控制棒驅動殼(Control Rod Driving Housing)

控制棒驅動殼為鍛造(Forging)不銹鋼(SA-336 Class F316)管共有 205 支，經俾製而成，並須依據 Sec III NB 規範執行水壓測試。控制棒驅動殼銲接於反應爐底蓋短管(Stub Tube)，所有控制棒驅動殼的上端都在同一高度。控制棒驅動殼銲道下方，位於反應器壓力槽外，依照 ASME Sec. III Div. I Sub. NB 規範設計為壓力邊界，銲道上方與爐水接觸依照 ASME Sec. III Div. I Sub. NG 規範設計，控制棒驅動殼提供下列功能：

- (a)由反應爐底蓋向下延伸的圓管，用以安裝控制棒驅動機構。
- (b)作為驅動機構橫向及縱向支持。
- (c)傳遞燃料、燃料墊塊及控制棒導管之重量至反應爐底蓋。

3. 爐心支撐結構品質文件查證

3.1 爐心側板品質文件查證

爐心側板為日立公司(HITACHI)接受 GE 公司委託，依據 ASME Sec. III Div I Subsection NG 規範承製。品質文件查證之依據主要為，PSAR 相關要求、ASME Code 規定、GE Purchase Specification 以及核能品保相關規範等。整體而言，爐心側板品質文件相當完整，文件正確性及可追溯性符合法規規範，查證內容及發現可能缺失部份敘述如下。

3.1.1 爐心側板材料品質文件

查證爐心側板材料試驗報告(CMTR)的機械性質(Mechanical Properties)、晶粒尺寸(Grain Size)、硬度(Hardness)、化學成份(Chemical Composition)、敏化測試(Sensitization Test)、晶間腐蝕(Examination for Intergranular Attack)、固溶熱處理(Solution Heat Treatment)、超音波檢驗(Ultrasonic Examination)等均符合 ASME Sec. II Part A 的 SA240 Type 316L 材料規範相關規定。

為預先抑制商轉後整廠背景劑量及工作人員安全暴露，核四廠初期安全分析報告(Preliminary Safety Analysis Report, PSAR)中對於材料內的鈷(Cobalt)含量有特殊限制。PSAR 12.3.1.1.2 Material Selection 內容如下：「In the Lungmen NPS design maintaining radiation exposure ALARA

has been considered in the material selection of systems and components exposed to reactor coolant. For example, radiation exposure potential has been reduced appreciably through the removal or reduction of cobalt from many components as compared to current BWR fleet. Much of the cobalt is removed from contact with reactor coolant by eliminating Stellite where practical and reducing cobalt in the core stainless steel components. The cost of using very low cobalt materials through out the plant is prohibitive with the cost of 0.02 wt percent cobalt stainless steel approximately 8 times that of 0.05 wt percent stainless steel. Therefore, the plant design has taken a graded approach by using the most expensive though lowest cobalt bearing materials in the most radiologically significant areas with increasing cobalt content in less sensitive areas. The standards for cobalt are: 0.02 wt percent for those items in the core; 0.03 wt percent for those items in the vessel internals; and 0.05 wt percent for all other components. Also, with the current materials, there are no proven substitutes for Stellite for many hard surface applications such as MSIV seats.」°

但是 GE 並未將上述核四廠初期安全分析報告承諾落實於其發行之材料採購規範中，依據 Materials Specification for Reactor Internal Components and Fine Motion Control Rod Drive, Project Drawing Number 24A5709 第 3.1.4 Cobalt Control 內容如下：「Cobalt content for all materials in the reactor shall be controlled to 0.05%, with an aim of 0.03% or less. For component materials inside the CRD housings that are not in direct contact with the core flow, the cobalt content shall be controlled to the

lowest level practicable.」。基本上，依據 GE 材料採購規範中僅要求鈷含量低於 0.05%，但希望承商能以 0.03%鈷含量為目標值，完全沒有強制力。另 PSAR 中爐心材料要求比其他爐內組件還嚴格之 graded approach 觀念亦不見落實於採購規範中。

由爐心側鈹材料特性查證表(附件二)得知，其鈷含量大致介於 0.010%~0.034%之間，雖然已符合 GE 採購規範，但仍無法完全達到 PSAR 要求。

依據 GE 材料規範 3.2.4.3Hardness 內容如下:「Type 316 or 316 L material shall have a hardness not exceeding Rockwell B-92 on the surface or in the cross section. -----」,由於爐心側鈹材料試驗報告(CMTR)的硬度值是以勃氏(Brinell)硬度試驗機測量，其值約相當於 H_B202 。而 ASME Sec. II Part A SA240 Type 316L 規範硬度的要求為 H_B217 ，因此 GE 材料規範的要求較 ASME Sec. II Part A 為嚴謹。

爐心側鈹材料特性查證表 (1/2)

31113.62.3420.1-11 VOL 1/2

名稱	QRP 頁數	材料分類	強度 70KSI	降伏點 25KIP	伸張率 ≥40%	晶粒尺寸 ≥2	硬度 H _B ≤202	晶間腐蝕 (敏化測試)≤5%	UT 檢測	鈷≤ 0.02%	化學 分析	固熔 處理
上法蘭	I-1-1-3	SA-240 Type 316L	72	29	72	6	136	Acc.	Acc.	0.022	Acc.	Acc.
上筒殼 (1/2)	I-1-2-3	SA -240 Type 316L	75	29	72	6	127	Acc.	Acc.	0.021	Acc.	Acc.
上筒殼 (2/2)	I-1-2-15	SA -240 Type 316L	75	29	72	6	127	Acc.	Acc.	0.021	Acc.	Acc.
下法蘭	I-1-4-3	SA -240 Type 316L	73	32	69	5	136	Acc.	Acc.	0.022	Acc.	Acc.
下筒殼 (1/2)	I-1-5-3	SA -240 Type 316L	76	34	64	6	137	Acc.	Acc.	0.034	Acc.	Acc.
下筒殼 (2/2)	I-1-5-13	SA -240 Type 316L	76	34	64	6	137	Acc.	Acc.	0.034	Acc.	Acc.
中間筒 殼(1/2)	I-1-3-3	SA -240 Type 316L	82	37	61.4	5.5	137	Acc.	Acc.	0.010	Acc.	Acc.

附件二 1/2

爐心側鈹材料特性查證表 (2/2)

31113.62.3420.1-11 VOL 1/2

名稱	QRP 頁數	材料分類	強度 70KSI	降伏點 25KIP	伸張率 ≥40%	晶粒尺寸 ≥2	硬度 H _B ≤202	晶間腐蝕 (敏化測試)≤5%	UT 檢測	鈷≤ 0.02%	化學 分析	固熔 處理
中間筒 殼(2/2)	I-1-3-4	SA-240 Type 316L	82	36	62	5.5	137	Acc.	Acc.	0.010	Acc.	Acc.
比對 材料 (Bench Mark)	I-1-6-3	SA-240 Type 316L	86	45	54.7	5	161	Acc.	Acc.	0.010	Acc.	Acc.

附件二 2/2

3.1.2 爐心側鈹鐸道非破壞檢測

爐心側鈹筒殼部分對接之垂直及水平鐸道，均依據 Sec III Table NG-3352-1 規定執行射線檢測，檢驗結果符合規定，且無重大修補(Major repair)發生。至於法蘭與胴體相接之鐸道，依據 NG-3350 規定，此類鐸道設計，分類屬於 Category C、開槽型態為 Type III。查證其設計圖面，Quality factor $n=0.9$ ，Fatigue factor $f=1$ 。依據 Sec III Table NG-3352-1 規定，此類鐸道檢驗可選用超音波和液滲或磁粒檢測(UT and PT or MT)或者是漸進式液滲或磁粒檢測 (Progressive PT or MT)。

針對法蘭與胴殼相接之鐸道，日立公司選擇以漸進式液滲執行其鐸接後之非破壞檢驗，符合法規要求，爐心側鈹鐸道非破壞檢驗表如(附件三)。但從非破壞檢測之特性著眼，日立公司執行之漸進式液滲檢測比法規還嚴謹，但也僅能確認鐸接時每一鐸層(Layer)表面之液滲檢測合格，無法提供鐸道全體積(Volumetric)檢測結果，基於爐心側鈹之重要性，如果台電公司能針對此類鐸道(共 3 條水平鐸道)，於安裝前再執行超音波檢測，應能提供鐸道品質更周全之保證。

依據 ASME Sec V, Article 6-Liquid Penetration Examination T-647.1 規定，液滲檢測溫度範圍應在 $60^{\circ}\text{F}(16^{\circ}\text{C})\sim 125^{\circ}\text{F}(52^{\circ}\text{C})$ 之間，當被測物件表面溫度超出上述範圍，必須以”quenched cracked aluminum block”驗證

其程序書後，該被測物件在驗證溫度之範圍執行之液滲檢測方能具備有效性。

原能會曾多次邀請日本各單位非破壞檢測專家參與核四定期視察，他們都不約而同的強調低溫執行液滲檢測溫度時，其程序書能力驗證之重要性。樂觀而言，日本方面非常重視低溫液滲檢測能力驗證，已是非破壞檢測從業人員共識；從較悲觀的角度著眼，忽略低溫液滲檢測溫度能力驗證，可能是日本非破壞檢測從業人員經常發生之缺失。

查證爐心側板非破壞檢測相關品質文件，其液滲檢測記錄表(Liquid Penetrant Examination Record)內的被測物溫度(Metal Temp.)欄位中，發現共有 19 份液滲檢測報告明顯低於規範的執行溫度，其中一份 IV-2-3-2 如(附件四)，其紀錄之金屬溫度低於 16°C，溫度紀錄為 48.2°F (9°C)，且所有液滲檢測均依據相同一份程序書。由日立公司提供之 QRP 文件中，並無法得知該公司液滲檢測程序書的驗證溫度範圍。依據法規規定在非標準溫度(16°C~52°C)範圍內執行液滲檢測，需要有檢測能力驗證合格文件證明，其檢測溫度範圍須涵蓋實際被測物的溫度，因此無法由現有品質文件中確認其低溫之液滲檢測符合 ASME Sec V 之規定。

爐心側鈹鐳道非破壞檢測表 31113.62.3420.1-11 VOL. 1/2

鐳道編號	說明	組件 項次	Progressive PT	鐳前 PT	鐳中 PT	背鏟 PT	鐳後 PT	目視 檢查	RT 檢查	PT 說明
SD001-1~6	Upper Flange	1		V			V	V	V	
SD006	Upper Flange & Upper Shell #1	2&1	V	V			V	V		
SD003-1~2	Upper Shell (Longi.)	2		V		V	V	V	V	
SD009	Upper Shell #1 & Middle Shell #2	2&3		V		V	V	V	V	
SD004-1~2	Middle Shell (Longi.)	3		v			v	V	V	
SD007	Middle Shell & Lower Flange	3&4	V	V		V		V		
SD002-1~6	Lower Flange	4		V			V	V	V	
SD008	Lower Flange & Lower Shell	5	V	V		V	V	V		
SD005-1~2	Lower Shell	5		V			V	V	V	
SD011	Lower Shell (Bottom)	5		V						
SD010-1~4	Middle Shell & Bech Mark	3&6					V	V		

附件三

HITACHI NUCLEAR SYSTEMS		検査記録試験成績書 LIQUID PENETRANT EXAMINATION RECORD		E415T039 RECORD No.	
顧客名 PURCHASER : General Electric Company プロジェクト名 PROJECT : Taiwan Power Company Lungmen Project 作業 WORK No. : Q4N0183 機器番号 EQUIPMENT No. : Not Applicable シリアル番号 SERIAL No. : Not Applicable 部品名 PART NAME : UPPER SHELL (SHROUD) 承認図番号 APP.DWG.No. : 310PB02-618 品番 ITEM No. : 2		製作図番号 SHOP DWG.No. : 310PB09-985 品(片)数 PART (PIECE) No. : 2 継手番号 JOINT No. : SD003-1, SD003-2 材質 MATERIAL : SA-240 Type316L 製造番号 PROCEDURE No. : 256A2012 生産管理番号 SHOP TRAVELER No. : 101021 手順番号 OPERATION No. : 01 試験年月日 DATE OF EXAMINATION : 03/27/2000		改訂 REV. 2 頁数 QTY. 4 改訂 REV. 1 改訂 REV. 全 改訂 REV. 2	
試験条件 EXAMINATION CONDITION 浸透剤 PENETRANT : Eishin Kagaku R-1A (NT) Special (LOT No. : 9C269) 洗淨剤 REMOVER : Eishin Kagaku R-1M (NT) Special (LOT No. : 9L403) 現像剤 DEVELOPER : Eishin Kagaku R-1S (NT) Special (LOT No. : 9J494) 表面状態 SURFACE CONDITION : ☐ AS-WELDED ☐ AS-GROUND ☒ MACHINED ☐ OTHERS() 試験時期 EXAMINATION STAGE : ☐ BEFORE PWHT ☐ AFTER PWHT ☒ OTHERS(No PWHT)					
浸透時間 PENETRANT TIME : 15 ~ 30 Min. 現像時間 DEVELOPING TIME : 10 Min. 試験温度 METAL TEMP. : 48.2 °F (9 °C) 計器番号 INSTRUMENT No. : 5150U983					
スケッチ図 / 注記 SKETCH / REMARKS EXAMINED AREA : (Check One) () In case of two side weldings, external and internal weld surfaces and adjacent base material for at least 1/2 in. (13 mm). () In case of one side welding, external weld surface and adjacent base material for at least 1/2 in. (13 mm). (✓) Weld edge preparation surfaces. () Others (describe): _____ 単位 UNIT : ☐ mm ☐ inch					
判定基準 ACCEPTANCE STANDARD : ASME Sec.III Division 1, ('89 edition without addenda) NG-5130					
試験結果 RESULT ☒ 合格 ACCEPTABLE ☐ 不合格 UNACCEPTABLE 添付資料 ATTACHMENT INCLUDED : ☐ YES ☒ NO					
EXAMINER (LEVEL II) R. Harimoto QC ENGINEER B. Kusabi B. Harabi		日付 DATE 3/23/2000 日付 DATE 3/29/2000 日付 DATE 3/21/2000		CUSTOMER GE 日付 DATE NOV. 1, 2001 日付 DATE 92 日付 DATE 3/26/03	
MANUFACTURE'S SERIAL No. consists of WORK NO. plus EQUIPMENT NO. plus SERIAL NO. IV - 2 - 3 - 2					

附件四

3.1.3 爐心側板成形後材料硬度測量及應變量(Strain)計算

依據 GE 之 Fabrication Specification – Reactor Internal Components and Fine Motion Control Rod Drive，5.1.4.3 Control of Cold Deformation 之規定，316L 之材料成形後，其表面硬度應不超過 Rockwell B92，且材料冷彎應變量(Cold Bending Strain)不可以超過 2.5%。

查證爐心側板品質文件，其 File Section Group VI-11 表面硬度檢查紀錄(Hardness Measurement Inspection records)僅有二份，頁數 VI-11-2 及 VI-11-3 如(附件五)，記錄編號為 E25JT006 及 E25JT007，分別是上法蘭、中間筒殼及下法蘭之表面硬度檢查紀錄。該檔案資料中並無上筒殼以及下筒殼之表面硬度檢查紀錄。至於材料冷彎應變量，亦無相關品質文件證明其應變量未超過 2.5%。

查閱日立公司自行簽發之 DDRs(Deviation Disposition Requests)，編號 DDR-62.3420.1-22 Attachment-2 (1/2)如(附件六)記錄上筒殼以及下筒殼之表面硬度。Attachment-4 如(附件七)記錄上筒殼、中間筒殼及下筒殼的應變量未超過 2.5%。因 DDRs 所附之紀錄表並非正式檢驗報告，缺少執执行程序書、傳票(Traveler)編號、執行者簽名、查核者簽名、檢驗日期等資料，此等資料應反應至正式的品質文件中。

HITACHI NUCLEAR SYSTEMS		硬さ測定検査記録 HARDNESS MEASUREMENT INSPECTION RECORD		E25JT007 RECORD No.																																																						
顧客名 PURCHASER : General Electric Company プロジェクト名 PROJECT : Taiwan Power Company Lungmen Project 作機 WORK No. : Q4N0183 機器番号 EQUIPMENT No. : N/A シリアル番号 SERIAL No. : N/A 部品名 NAME OF ITEM : MIDDLE SHELL, LOWER FLANGE 承認図番号 APP.DWG.No. : 310PB09-616 REV. 6 品番 ITEM No. : 3, 4 QTY. 1		製作図番号 SHOP DWG.No. : 310SB09-986 REV. 3 品番 ITEM No. : 1, 2 QTY. 1 継手番号 JOINT No. : N/A 材質 MATERIAL : SA-240 TYPE316L 要領書番号 PROCEDURE No. : 25EA2023 REV. 1 生産管理図番号 SHOP TRAVELER No. : 99002 REV. 2 手順書番号 OPERATION No. : 19 試験年月日 DATE OF EXAMINATION : 01/31/03																																																								
スケッチ図 / 図記 SKETCH / REMARKS Sampling Location of Middle shell and Lower Flange (SHROUD)																																																										
ON THE VERTICAL SURFACE OF LOWER FLANGE NEAR 0°, 180° AZIMUTH SAMPLE LOCATION No. 1, No. 8 SAMPLE LOCATION No. 3 AT 90° AZIMUTH SAMPLE LOCATION No. 4 AT 270° AZIMUTH SAMPLE LOCATION No. 5 AT 90° AZIMUTH SAMPLE LOCATION No. 6 AT 270° AZIMUTH LOWER FLANGE MIDDLE SHELL INSIDE ↑ OUTSIDE ↓ 0° 180° SHROUD																																																										
This test was performed in accordance with Procedure No.25EA2023 <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Measuring Point</th> <th colspan="4">Measuring Value (Rockwell B Scale)</th> <th rowspan="2">Acceptance Criteria</th> <th rowspan="2">Judgment</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>Average</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SAMPLE LOCATION NO.3 90° side</td> <td>81.9</td> <td>88.6</td> <td>87.8</td> <td>88.3</td> <td>Not Exceed Rockwell B92</td> <td>Acceptable</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE LOCATION NO.4 270° side</td> <td>85.3</td> <td>88.2</td> <td>87.8</td> <td>88.4</td> <td>Not Exceed Rockwell B92</td> <td>Acceptable</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE LOCATION NO.5 90° side</td> <td>82.1</td> <td>81.4</td> <td>79.4</td> <td>80.9</td> <td>Not Exceed Rockwell B92</td> <td>Acceptable</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE LOCATION NO.6 270° side</td> <td>81.7</td> <td>81.4</td> <td>82.3</td> <td>81.7</td> <td>Not Exceed Rockwell B92</td> <td>Acceptable</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE LOCATION NO.7 0° side</td> <td>87.9</td> <td>85.5</td> <td>85.6</td> <td>86.3</td> <td>Not Exceed Rockwell B92</td> <td>Acceptable</td> </tr> <tr> <td>SAMPLE LOCATION NO.8 180° side</td> <td>75.9</td> <td>75.9</td> <td>73.8</td> <td>75.8</td> <td>Not Exceed Rockwell B92</td> <td>Acceptable</td> </tr> </tbody> </table>						Measuring Point	Measuring Value (Rockwell B Scale)				Acceptance Criteria	Judgment	1	2	3	Average	SAMPLE LOCATION NO.3 90° side	81.9	88.6	87.8	88.3	Not Exceed Rockwell B92	Acceptable	SAMPLE LOCATION NO.4 270° side	85.3	88.2	87.8	88.4	Not Exceed Rockwell B92	Acceptable	SAMPLE LOCATION NO.5 90° side	82.1	81.4	79.4	80.9	Not Exceed Rockwell B92	Acceptable	SAMPLE LOCATION NO.6 270° side	81.7	81.4	82.3	81.7	Not Exceed Rockwell B92	Acceptable	SAMPLE LOCATION NO.7 0° side	87.9	85.5	85.6	86.3	Not Exceed Rockwell B92	Acceptable	SAMPLE LOCATION NO.8 180° side	75.9	75.9	73.8	75.8	Not Exceed Rockwell B92	Acceptable
Measuring Point	Measuring Value (Rockwell B Scale)				Acceptance Criteria		Judgment																																																			
	1	2	3	Average																																																						
SAMPLE LOCATION NO.3 90° side	81.9	88.6	87.8	88.3	Not Exceed Rockwell B92	Acceptable																																																				
SAMPLE LOCATION NO.4 270° side	85.3	88.2	87.8	88.4	Not Exceed Rockwell B92	Acceptable																																																				
SAMPLE LOCATION NO.5 90° side	82.1	81.4	79.4	80.9	Not Exceed Rockwell B92	Acceptable																																																				
SAMPLE LOCATION NO.6 270° side	81.7	81.4	82.3	81.7	Not Exceed Rockwell B92	Acceptable																																																				
SAMPLE LOCATION NO.7 0° side	87.9	85.5	85.6	86.3	Not Exceed Rockwell B92	Acceptable																																																				
SAMPLE LOCATION NO.8 180° side	75.9	75.9	73.8	75.8	Not Exceed Rockwell B92	Acceptable																																																				
M & TE Name Hardness tester Standard test block		Identification 5151E451 5151E453		単位 UNIT : ☒ mm ☐ inch																																																						
判定基準 ACCEPTANCE STANDARD: GE Nuclear Energy, Reactor Internal Components Fabrication Specification, 24A5710 Sec. 5.1.4.3																																																										
測定結果 INSPECTION RESULT ☒ 合格 ACCEPTABLE ☐ 不合格 UNACCEPTABLE																																																										
添付資料 ATTACHMENT INCLUDED : ☐ YES (No.) ☐ NO																																																										
EXAMINER (LABEL) <i>M. Yoshida</i> QC技師 QC ENGINEER <i>V. Tzumi</i>		日付 DATE 1/31/03 日付 DATE 2/6/03 日付 DATE		顧客 CUSTOMER <i>S & W W I C</i> 日付 DATE <i>2/6/03</i> 日付 DATE <i>2/6/03</i> 日付 DATE																																																						
公認原子力検査官 ANI		日付 DATE																																																								

"MANUFACTURE'S SERIAL No." CONSISTS OF "WORK No." plus "EQUIPMENT No." plus "SERIAL No."

VI - 11 - 3

附件五

Hardness Measurement Record of Shroud Shells

Shroud Upper Shell (Rockwell B scale*)					
location	azimuth	measured value		average	
①	75°	80.0	80.0	80.7	80.2
②	120°	80.0	79.4	79.8	79.7
③	165°	82.3	81.4	81.4	81.7
④	255°	78.1	78.1	78.1	78.1
⑤	300°	77.6	77.4	79.6	78.2
⑥	345°	76.6	77.4	77.6	77.2

measured with echo chip

Shroud Middle Shell (Rockwell B scale*)					
location	azimuth	measured value		average	
①	30°	88.6	87.1	87.1	87.8
②	75°	89.3	88.1	88.4	88.6
③	180°	90.6	89.5	89.0	89.7
④	225°	86.3	88.4	87.3	87.3
⑤	270°	85.2	85.2	86.5	85.6
⑥	345°	89.7	88.6	88.2	88.8

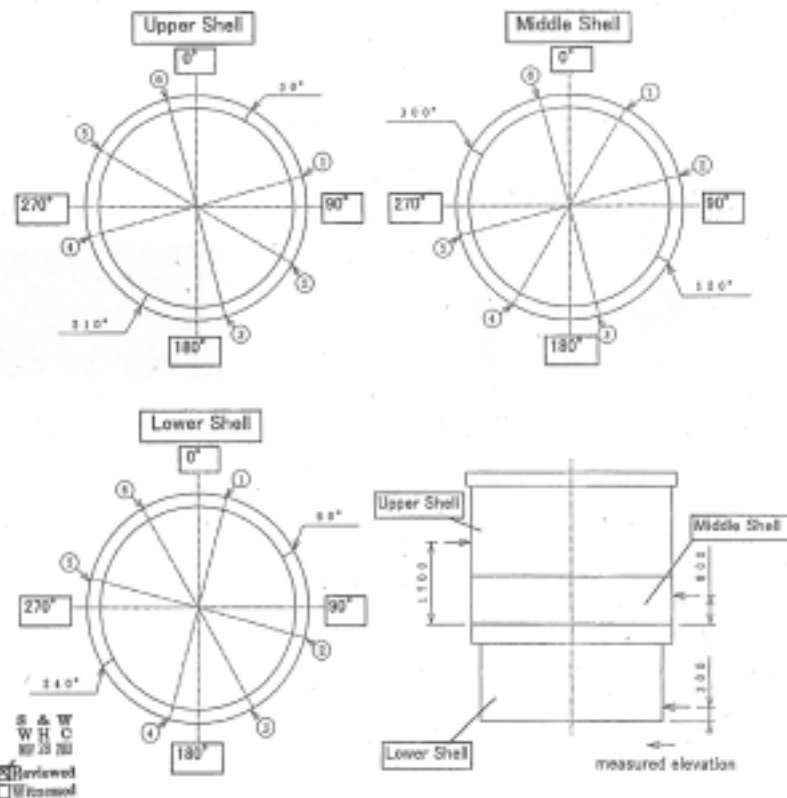
measured with echo chip

Shroud Lower Shell (Rockwell B scale*)					
location	azimuth	measured value		average	
①	15°	81.6	80.7	81.6	81.3
②	105°	80.5	82.5	81.2	81.4
③	150°	82.5	82.7	81.6	82.3
④	195°	80.7	81.2	80.7	80.9
⑤	285°	79.4	80.0	80.7	80.0
⑥	330°	80.5	82.3	81.2	81.3

measured with echo chip

*) conversion of measured value to Rockwell B scale is shown in attachment-3

Measured Location Azimuth and Elevation



附件六

Bending Strain evaluation

The bending strain is calculated as follows:
(please refer to the right sketch.)

Original length of plate is $2\pi(R-t/2)$ (the length of neutral axis).
After bending, the length of the outer surface is elongated to $2\pi R$.
The elongation is $2\pi R - 2\pi(R-t/2) = \pi t$.

The strain is defined as (elongation) / (original length) $\times 100$ (%).
Therefore, the strain by the bending is:
 $\epsilon = \pi t / (2\pi(R-t/2)) \times 100 = t / (2R-t) \times 100(\%)$



The strains are calculated as below table. All of the plates satisfy the strain limit, 2.5% maximum.

	outside Radius, R(mm)	thickness, t	strain $t/(2R-t) \times 100(\%)$
Top Guide RIM	2968.8 (=5943.6/2)	42	0.71
Top Guide Seal Ring	2870.2 (=5740.4/2)	8.4	0.11
Shroud Upper Shell	2794 (=2743.2+50.8)	50.8	0.92
Shroud Middle Shell	2794 (=2743.2+50.8)	50.8	0.92
Shroud Lower Shell	2774.75 (=5549.5/2)	63.5	1.16



S & W
W H C
00 30 00

Reviewed
Checked

附件七

3.1.4 爐心側板成品尺寸偏差

查閱日立公司自行簽發之 DDRs，發現可能因爐心側板筒身銲接產生之變形，導致上法蘭上 46 個螺栓孔中共有 26 個位置偏差量大於施工圖面要求(1.5mm)，其最大偏差量為編號第 41 之 2.55mm。下法蘭上 81 個螺栓孔中共有 59 個位置偏差量超過接受標準。20 個地震定位銷孔 (Seismic Pin Holes) 中，亦有 17 個位置偏差量超過接受標準。

雖然上述偏差經日立公司評估，對於後續頂部導架及爐心底板之安裝均無實質影響，日立公司之建議為依現況使用，且此建議亦經 GE 評估後認為可以接受。個人認為，台電公司應再加以評估，並將此類資訊提供中鼎公司參考，以確保日後爐內組件之安裝能完全符合相關設計與規範。

3.1.5 爐心側板營運前檢查記錄(Pre-Service Inspection Record)

爐心側板品質文件 File Section Group VI-4-③ PSI VT 為爐心側板成品之使用前檢查紀錄，其目視檢驗方法為 VT-3，並依據 ASME Sec XI IWB-3520 作為其檢驗合格標準。爐心側板之營運前檢查(Pre-Service Inspection, PSI)紀錄除文件之外，另附有十幾張彩色照片，只可惜其影像品質並不十分理想。

依據 Installation Specification for Reactor Assembly, Project Drawing

Number 26A5271, Appendix D: As-built Record and Photograph Requirements.等章節亦要求存留影像，尤其對於高輻射區或因環境限制而無法接近之位置，應於安裝階段提供高品質影像、適當尺寸、日期、組件及機組編號等。

依據 ASME Boiler and Pressure Vessel Code Sec XI—Rules for In-Service Inspection of Nuclear Power Plant Components，核能電廠商轉後須依規定執行營運期間檢查(In-Service Inspection, ISI)。反應器爐內組件(Core Internals)目視檢查為此重要項目之一，也就是運轉中電廠所謂的爐內組件目視檢查(In-Vessel Visual Inspection, IVVI)。另法規亦規定，核能電廠商轉前須先執行營運前檢查，以建立營運期間檢查後之基礎資料(Base-line Information)，作為日後營運期間檢查之基礎，且日後營運期間檢查如果有缺陷發現，營運前檢查之基礎資料可以提供評估缺陷產生肇因之重要參考。

法規中並未要求目視檢查項目須於營運前檢查，且必須有影像紀錄，自然爐內組件目視檢查並無建立運轉前檢查影像紀錄之法規強制性，然而鑒於以往核一、核二廠沸水式反應器電廠爐內組件目視檢查之經驗，其檢測之完整性、目視檢驗位置之正確性及檢驗結果之可讀性，一直是爐內組件目視檢查主辦課及參與之品管人員(包括原能會視察人

員)相當難以掌握之檢驗項目。不同於其他目視檢驗項目，爐內組件目視檢查執行過程中具有必須建立影像紀錄之特殊性，核四廠目前尚處於興建階段，無論廠製銲道、現場施工銲道或其他重要目視檢查項目，均可在現階段中，以最小成本得到最佳影像品質的目視檢驗紀錄，足以作為商轉後爐內組件目視檢查最佳參考、比對之原始資料。

反應器爐內組件如爐心底板、頂部導架、控制棒驅動殼、控制棒導管、汽水分離器及乾燥器等，台電亦應在核四廠施工階段建立最佳影像品質，以作為商轉參考、比對之原始資料。

3.2 爐心底板品質文件查證(31113.62.3420.1-10)

爐心底板由日立公司接受 GE 公司委託，依據 ASME Div I ,Sec III Subsection NG 規範承製，依規定使用不銹鋼 SA240 Type316L 材料，組件有底板(Core Plate)、框圓(Rim)、長桁樑(Long Beam)、短桁樑(Short Beam)及一些組件等銲接成型。底板由兩塊不銹鋼板銲接，框圓亦由兩塊半圓銲接而成，以射線或液滲檢測，經過粗俤製加工，穩定熱處理，精密俤製加工，拋光等手續製作。品質文件查證之主要依據為，PSAR 相關要求、ASME Code 規定、GE 採購規範、製造規範以及核能品保相關規範等。整體而言，爐心底板品質文件相當完整，文件正確性及可追溯性符合法規要求，查證內容及發現可能缺失部份敘述如下。

3.2.1 爐心底鈹材料品質文件

爐心底鈹以 SA240 Type316L 不銹鋼材料製製作，材料符合採購規範 (Purchase Specification Reactor Internals Package 1) 31113.62.3420 規定。材料試驗報告的機械性質、晶粒尺寸、硬度、化學成份、敏化測試、晶間腐蝕、固熔熱處理、超音波檢驗等均符合 ASME Sec. II Part A 的 SA240 Type 316L 材料規範相關規定。

由爐心底鈹特性查證表(附件八)得知，其 Co 含量大致介於 0.010%~0.034%之間，雖然已符合 GE 採購規範，但仍無法完全達到 PSAR 對於材料內的鈷(Cobalt)含量有特殊限制要求，有關鈷含量的特殊限制要求請參照第 3.1.1 爐心側鈹材料品質文件。

依據 GE 材料規範 3.2.4.3 Hardness 內容如下:「Type 316 or 316 L material shall have a hardness not exceeding Rockwell B-92 on the surface or in the cross section. -----」,由於爐心底鈹材料試驗報告(CMTR)的硬度值是以勃氏(Brinell)硬度試驗機測量，其值約相當於 H_B202 。而 ASME Sec. II Part A SA240 Type 316L 規範硬度的要求為 H_B217 ，因此 GE 材料規範的要求較 ASME Sec. II Part A 為嚴謹。

爐心底鈹材料特性查證表

31113.62.3420.1-10 VOL 1/2

名稱	QRP 頁數	材料分類	強度 70KSI	降伏點 25KIP	伸張率 ≥40%	晶粒尺寸 ≥2	硬度 H _B ≤202	晶間腐蝕 (敏化測試)≤5%	UT 檢測	鈷≤ 0.02%	化學 分析	固熔 處理
底鈹(1)	I-1-1-3	SA-240 Type 316L	75	30	66	6	132	Acc.	Acc.	0.034	Acc.	Acc.
底鈹(1)	I-1-1-12	A-240 Type 316L	75	30	66	6	132	Acc.	Acc.	0.034	Acc.	Acc.
框圓	I-1-2-3	A-240 Type 316	73	30	67	6	128	Acc.	Acc.	0.020	Acc.	Acc.
桁樑	I-1-3-3	A-240 Type 316	87	41	55	7.5	153	Acc.	Acc.	0.010	Acc.	Acc.
桁樑	I-1-3-4	A-240 Type 316	87	41	55.5	7.5	144	Acc.	Acc.	0.010	Acc.	Acc.
桁樑	I-1-3-5	A-240 Type 316	87	39	56.5	7.5	146	Acc.	Acc.	0.010	Acc.	Acc.

附件八

3.2.2 爐心底鈹銲道及熱影響區的機械拋光品質文件

(a)依據製造規範, Project Drawing Number 24A5710 第 5.1.7 Mechanical Polishing of Major Welds 規定:

All major welds in the reactor internal components and their heat affected zones (HAZ) shall be mechanically polished ----- . The polishing operation shall include the entire weld heat affected zone to a minimum distance of 40mm from the edge of the weld.

(b)根據日立公司製造圖 310PB05-388 的 Notes 27.

As for welds CP001, CP002, CP003, CP004, CP020-1~10, (Excluding the portion where figure of component does not allow using the tools), Heat affected zone shall be polished in accordance with 24A5710.

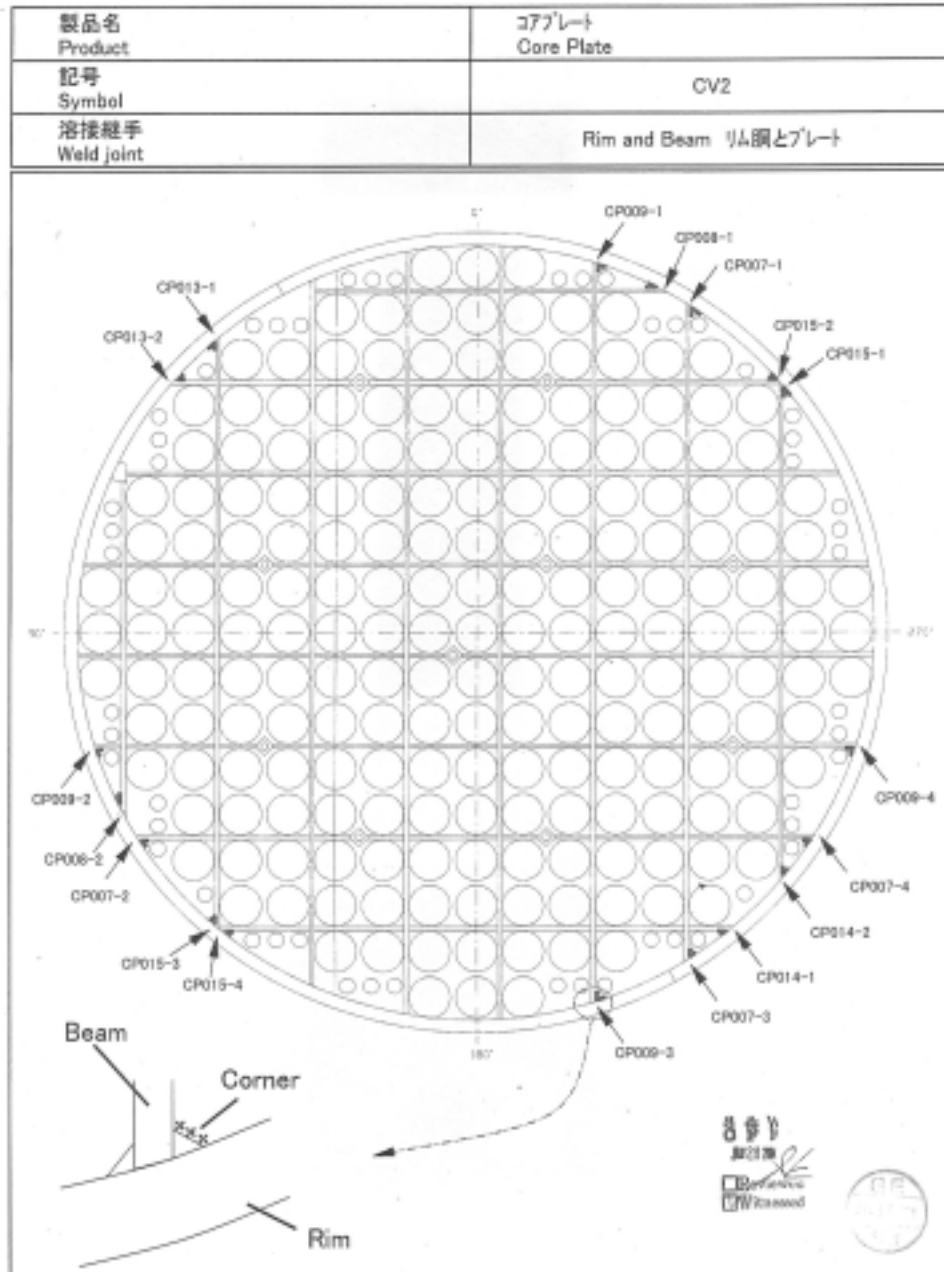
(c)爐心底鈹的主要銲道(Major Welds)及其熱影響區(Heat Affected Zone)

均需以機械拋光，但在日立公司提供的 QRP 第 VI-4-1-10、13~18、37~41 和 59~67 等 21 頁如(附件九)，在銲道與銲道的交會處或銲道轉角處，研磨工具無法到 處，該部份的銲道或熱影響區無法符合機械拋光之要求，GE 及台電是否有評估，認為其可接受。

(d)銲道或熱影響區以機械拋光的目的何在，部份未 到機械拋光的銲道或熱影響區是否有需要再進一步執行其他的改善措施。

Attachment-1 (9/9)
~~PG2-GS-XLM1-190 Rev.0 添付-1~~
 4 - minus Jan. 25 '09

研磨不可能部
 Impossible polishing areas



PG2-GS-XLM1-190

VI-4-1-18

附件九

3.2.3 爐心底鈹鐸道的非破壞檢驗

爐心底鈹由兩塊底鈹水平鐸接，框圓亦由兩片垂直鐸接而成，均依據 Sec III Table NG-3352-1 規定執行射線檢測，檢驗結果符合規定，至於桁樑與底鈹及框圓相接之鐸道，依據 NG-3350 規定，此類鐸道設計，分類屬於 Category E、開槽型態為 Type III。查證其設計圖面，Quality factor $n=0.9$ ，Fatigue factor $f=1$ 。依據 Sec III Table NG-3352-1 規定，此類鐸道檢驗可選用超音波和液滲或磁粒檢測(UT and PT or MT)或者是漸進式液滲或磁粒檢測 (Progressive PT or MT)，爐心底鈹鐸道非破壞檢驗表如(附件十)。

查閱爐心底鈹鐸道液滲檢測記錄 (Liquid Penetrant Examination Record)，日立公司採用漸進式液滲執行檢測，依照 Sec III Table NG-5231 規定逐步實施，檢測項目非常詳實，從母材鐸道準備、每層鐸道後的檢測、缺陷鏟修檢測、背鏟檢測、凹陷處檢測、機械加工後檢測、拋光後檢測、珠擊(Pinging)後檢測、鐸道完成後及鐸道週邊 1/2" 內之母材檢測等，每一條鐸道各有不同之檢測時機都清楚標明。但仍可發現 QRP 第 IV-2-1-4、6~68 等頁數如(附件十一)共 64 頁，被測物表面溫度部份低於 16°C，相關法規規定請參照 3.1.2 爐心側鈹鐸道非破壞檢測。

爐心底鈹鐸道非破壞檢驗表 (1/3) 31113.62.3420.1-10 VOL. 2/2

鐸道編號	說 明	Progressive PT	鐸前 PT	鐸中 PT	背鏟 PT	鐸後 PT	目視 檢查	RT 檢查	說明
CP001	Core plate to Core plate		V		V		V	V	
CP002-1, 2	Rim to Rim		V				V	V	
CP003	Rim to Core Plate	V	V	V	V	V	V		
CP004	Rim to Block	V	V	V		V	V		
CP005	Rim to Block	V	V	V		V	V		
CP006	Core Plate to Block						V		封鐸
C0007-1~4	Rim to (Full, End Beam)	V	V	V	V	V	V		
CP008-1~2	Rim to (Full, End Beam)	V	V	V	V	V	V		
CP009-1~4	Rim to (Full, End Beam)	V	V	V		V	V		
CP010-1~4	Rim to (Full, End Beam)	V	V	V	V	V	V		
CP011-1~4	Rim to (Full, End Beam)	V	V	V		V	V		
CP012-1~3	Rim to (Full, End Beam)	V	V	V		V	V		

附件十 1/3

爐心底鈹鐳道非破壞檢驗表 (2/3)

31113.62.3420.1-10 VOL. 2/2

鐳道編號	說明	Progressive PT	鐳前 PT	鐳中 PT	背鏟 PT	鐳後 PT	目視 檢查	RT 檢查	說明
CP013-1~2	Rim to (Full, End Beam)	V	V	V	V	V	V		
CP014-1~2	Rim to (Full, End Beam)	V	V	V	V	V	V		
CP015-1~4	Rim to (Full, End Beam)	V	V	V	V	V	V		
CP016	Block to Short Beam	V	V	V	V	V	V		
CP017	Block to Full Beam	V	V	V	V	V	V		
CP018-1~105	Full Beam to (Short, End Beam)	V	V	V	V	V	V		
CP019-1~78	Core Plate to (Full, Short, End Beam)	V	V	V		V	V		
CP020-1~10	Short Beam (2) to Guide Block	V	V	V	V	V	V		

附件十 2/3

爐心底鈹鐸道非破壞檢驗表 (3/3)

31113.62.3420.1-10 VOL. 2/2

鐸道編號	說明	Progressive PT	鐸前 PT	鐸中 PT	背鏟 PT	鐸後 PT	目視 檢查	RT 檢查	說明
CP021-1~10	Short Beam (2) to Guide Block		V	V			V		封鐸
CP022-1~10	Core Plate to Short Beam (2)		V			V	V		
CP023-1~10	Short Beam (2) to Guide Block		V				V		封鐸
CP024-1~11	Rim to (Full, End Beam)		V				V		封鐸
CP025-1~52	Core Plate to Peripheral Fuel Support		V			V	V		
CP025-53~104	Core Plate to Peripheral Fuel Support						V		封鐸
CP026-1~205	Pin to Nut						V		點鐸

附件十 3/3

LIQUID PENETRANT EXAMINATION RECORD

Attachment : AG4457294 (7/7)

PURCHASER : General Electric Company, GE Nuclear Energy		COMPONENT : CORE PLATE		ASME CLASS : Core Support structures		HITACHI WORK No. : D484653			
PROJECT : Taiwan Power Company Nuclear Generating Plant Luongshan and 1		MPL No. : ELL0886 6V7V M.Y. Adh. 0000		ASME STAMP : 90		APPROVAL DRAWING No. : 118P005 388 No 239 C.V.P. No. 8711 008 81 to 83			
REVISIONS : *1. MATERIAL : 304L-SSS PREPARED EXAMINATION PROCEDURE : EN 12556-10 V10 No. 8711-008 81									
*2. ACCEPTANCE STANDARD : ASME SEC III Division 1 (1989 edition without addenda) 40-14.30 or 40-14.32									
*3. METHOD : 1. Surface Inspection (LPI) General, 2. Surface Inspection (LPI) Special, 3. Surface Inspection (LPI) Special									
WELD JOINT No.	EXAMINATION AREA	CONTROLOGY #12 (Time of Examination)	WELD NAME	MATERIAL	EXAMINATION DATE	EXAMINATION CONDITION	SURFACE CONDITION	RESULT	REMARKS
CP009-4	Material and Field	1st stage Progress	SEN & END BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	R. Takahashi	28.80 13402 13505 16 10 18	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	2nd stage Progress	SEN & END BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	R. Takahashi	28.80 13402 13505 16 10 18	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	3rd stage Progress	SEN & END BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	C. Shuoh	31.20 13402 13505 16 10 18	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	3rd stage Progress / After Penning	SEN & END BEAM	SA-240 Type13L	04/03/2004	R. Takahashi	31.20 13402 13505 16 10 18	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	Final	SEN & END BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	T. Kishimoto	31.20 13402 13505 16 10 18	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	Polishing (NAC) Finishing (FAC) Final	SEN & END BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	T. Kishimoto	31.20 13402 13505 16 10 18	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
CP010-1	As Material	Edge Preparation	SEN	SA-240 Type13L	01/03/2004	K. Kawanishi	10.70 01007 5384 11 10 22	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	As Material	Edge Preparation	FULL BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	K. Kawanishi	10.70 01007 5384 11 10 24	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	Back chip	SEN & FULL BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	T. Kishimoto	10.70 01007 5384 11 10 23	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	1st stage Progress	SEN & FULL BEAM	SA-240 Type13L	11/03/2004	S. Takahashi	10.70 01007 5384 11 10 23	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	2nd stage Progress	SEN & FULL BEAM	SA-240 Type13L	11/03/2004	S. Takahashi	10.70 01007 5384 11 10 23	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	3rd stage Progress	SEN & FULL BEAM	SA-240 Type13L	06/03/2004	K. Kawanishi	20.80 31404 31505 16 10 20	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	1st / 2nd stage Progress / After Penning	SEN & FULL BEAM	SA-240 Type13L	06/03/2004	T. Kishimoto	20.80 31404 31505 16 10 21	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	1st stage Progress / After Penning	SEN & FULL BEAM	SA-240 Type13L	06/03/2004	T. Kishimoto	20.80 31404 31505 16 10 21	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	After penning	SEN & FULL BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	S. Takahashi	20.80 31404 31505 16 10 24	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	Final	SEN & FULL BEAM	SA-240 Type13L	06/03/2004	S. Takahashi	20.80 31404 31505 16 10 25	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	Material and Field	Polishing (NAC) Final	SEN & FULL BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	T. Kishimoto	20.80 31404 31505 16 10 18	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
	CP010-2	As Material	Edge Preparation	SEN	SA-240 Type13L	01/03/2004	R. Takahashi	28.80 13402 13505 16 10 18	0
As Material		Edge Preparation	SEN	SA-240 Type13L	01/03/2004	R. Takahashi	28.80 13402 13505 16 10 14	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
Material and Field		1st stage Progress	SEN & END BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	R. Takahashi	28.80 13402 13505 16 10 9	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
Material and Field		Back chip	SEN & END BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	R. Takahashi	28.80 13402 13505 16 10 9	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
Material and Field		2nd stage Progress	SEN & END BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	R. Takahashi	28.80 13402 13505 16 10 12	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
Material and Field		3rd stage Progress / After Penning	SEN & END BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	R. Takahashi	28.80 13402 13505 16 10 16	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
Material and Field		3rd / 4th stage Progress / After Penning	SEN & END BEAM	SA-240 Type13L	04/03/2004	R. Takahashi	31.20 13402 13505 16 10 18	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
Material and Field		Final	SEN & END BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	S. Takahashi	31.20 13402 13505 16 10 26	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
Material and Field		Polishing (NAC) Final	SEN & END BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	T. Kishimoto	31.20 13402 13505 16 10 18	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
As Material		Edge Preparation	SEN	SA-240 Type13L	01/03/2004	K. Kawanishi	10.70 01007 5384 11 10 22	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
As Material		Edge Preparation	FULL BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	K. Kawanishi	10.70 01007 5384 11 10 24	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE
Material and Field		Back chip	SEN & FULL BEAM	SA-240 Type13L	01/03/2004	T. Kishimoto	10.70 01007 5384 11 10 23	0	NO-5103 No indication / ACCEPTABLE

SIGNATURE / DATE (TFC)

ACK
Reviewed
Witnessed

SIGNATURE / DATE (SGH)

QE
JUL 2 2004
90

SIGNATURE / DATE (HITACHI NOE LEVEL 1)

5/9/2004
T. Kishimoto

3.3 頂部導架品質文件(31113.62.3420.1-9)查證:

頂部導架為日立公司(HITACHI)接受 GE 公司委託，於 GE 採購規範中將頂部導架的柵格板(Grid Plate) SA-182M Gr. F316L 分類為 ASME Sec. III Div. I Subsection NG 規範。其他組件如筒體(Shell) SA-240 Type 316L、小筒體(Small Shell) SA-182M Gr. F316L、頂部法蘭(Top Flange) SA-240 Type 316L、封環(Seal Ring) SA-240 Type 316L、導塊(Guide Block) SA-240 Type 316L 及側板(Side Plate) SA-240 Type 316L 等分類為非 ASME 法規範圍。品質文件查證之依據主要為，PSAR 相關要求、ASME Code 規定、GE 採購規範、製造規範以及核能品保相關規範等。整體而言，爐心側板品質文件相當完整，文件正確性及可追溯性符合法規規範，查証內容及發現可能缺失部份敘述如下。

3.3.1 頂部導架組件分類

(a)依據核四廠初期安全分析報告 3.9.5.1 Design Arrangements 內容說明

「The core support structures and reactor vessel internals (exclusive of fuel, control rods, and incore nuclear instrumentation) are : (1) Core Support Structures 包括 Shroud, Shroud Support (including the internal pump deck), Core Plate (and core plate hardware), Top Guide (and Top Guide hardware), Fuel Supports (orificed fuel supports and peripheral fuel supports), Control Rod Guide Tubes, Non-pressure Boundary

Portion of Control Rod Drive Housings」。由此可知 Top Guide 應為一完整組件，屬於爐心支撐結構。

(b)依據 GE 採購規範(Purchase Specification Reactor Internals Package 1, 31113.62.3420)，6.1.c. Top Guide Assembly (Top Guide Grid only.-----)。GE 只將柵格鈹分類為爐心支撐結構，材料、製造、檢驗及品質文件依照 NG 之規定執行。而筒體、小筒體、頂部法蘭及封環則分類為非 ASME 管轄範圍。

(c)依據核四廠初期安全分析報告 3.9.5.1 分類，頂部導架應視為一完整組件(由柵格鈹、筒體、小筒體、頂部法蘭及封環組成，均應歸屬於爐心支撐結構)。而 GE 的設計只將柵格鈹視為爐心支撐結構，其他組件分類為非 ASME 管轄範圍。

(d)由以上之陳述，可知 GE 並未落實核四廠初期安全分析報告承諾於其發行之採購規範中。

3.3.2 頂部導架材料品質文件

由頂部導架材料特性查証表如(附件十二)得知，其中柵格鈹 SA-182M Gr. F316L L 屬於爐心支撐結構，符合採購規範規定，材料試驗報告的機械性質、晶粒尺寸、硬度、化學成份、敏化測試、晶界腐蝕、固熔熱處理、超音波檢驗等均符合 ASME Sec. II Part A 的 SA-182M Gr. F316L

材料規範相關規定，非爐心支撐結構規範材料，GE 亦要求使用 ASME Sec. II Part A 規範材料，但規範並未特別要求執行超音波檢驗。

查證爐心側鈹材料特性查證表，其鈹含量為 0.010%~0.044%，雖然已符合 GE 採購規範，但仍無法完全達到核四廠初期安全分析報告對於材料內的鈹含量有特殊限制要求，有關鈹含量的特殊限制要求請參照 3.1.1 爐心側鈹材料品質文件。

依據 GE 材料規範 3.2.4.3 Hardness 內容如下:「Type 316 or 316 L material shall have a hardness not exceeding Rockwell B-92 on the surface or in the cross section. -----」,由於頂部導架材料試驗報告(CMTR)的硬度值是以勃氏(Brinell)硬度試驗機測量，其值約相當於 H_B202 。而 ASME Sec. II Part A SA240 Type 316L 規範硬度的要求為 H_B217 ，因此 GE 材料規範的要求較 ASME Sec. II Part A 為嚴謹。

頂部導架材料特性查證表

31113.62.3420.1-9 VOL 1/2

名稱	QRP 頁數	材料分類	強度 485Mpa	降伏點 170Mpa	伸張率 ≥30%	晶粒尺寸 ≥2	硬度 HB	晶間腐蝕 (敏化測試)≤5%	UT 檢測	鈷≤ 0.02%	化學 分析	固熔 處理
柵格板	I-1-1-5	SA-182M Gr. F316L	487	203	63.2	1.2	126	Acc.	Acc.	0.030	Acc.	Acc.
小胴體	I-1-3-3	SA-182M Gr. F316L	513	220	64.2	3.3	73 RW B	Acc.	無	0.044	Acc	Acc.
名稱	QRP 頁數	材料分類	強度 70KSI	降伏點 25KIP	伸張率 ≥40%	晶粒尺寸 ≥2	硬度 HB ≤202	晶間腐蝕 (敏化測試)≤5%	UT 檢測	鈷≤ 0.02%	化學 分析	固熔 處理
胴體	I-1-2-3	SA-240 Type 316L	83	37	61	4.5	143	Acc.	無	0.010	Acc.	Acc.
頂部 法蘭	I-1-4-3	SA-240 Type 316L	73	33	64	6	142	Acc.	無	0.020	Acc	Acc.
封環	I-1-5-3	SA-240 Type 316L	85	44	56.3	7	163	Acc	無	0.010	Acc	Acc.
側板	I-1-6-3	SA-240 Type 316L	76	32	63	6	138	Acc.	無	0.034	Acc.	Acc.

附件十二

3.3.3 頂部導架鐸道的非破壞檢驗

頂部導架鐸道非破壞檢驗表如(附件十三)，頂部法蘭由四片鋼鈹對接鐸，均依照 Sec III Table NG-3352-1 規定執行射線檢測，檢驗結果符合 NG-5321 規定。法蘭與胴體，胴體與柵格鈹鐸接之鐸道，依據 NG-3350 規定，此類鐸道設計，分類屬於 Category C、開槽型態為 Type I，查閱頂部導架鐸道液滲檢測記錄，日立公司依照 Sec III Table NG-5231 規定，採用漸進式液滲執行檢測，檢測項目非常詳實，從母材鐸道準備、每層鐸道後的檢測、缺陷鏟修檢測、背鏟檢測、凹陷處檢測、機械加工後檢測、拋光後檢測、珠擊後檢測、鐸道完成後及鐸道週邊 1/2”內之母材檢測等，每一條鐸道各有不同之檢測時機都清楚標明，並以簡圖標示鐸接位置，接受標準依照 NG-5352 規定。但仍可發現 QRP 液滲檢查記錄表第 IV-2-4-2 頁如(附件十四)，液滲執行檢測資料記錄不完全，該文件紀錄欠缺滲透時間(Penetrant Time)、顯像時間(Developing Time)及被測物溫度(Metal Temp.)等。

頂部導架鐸道非破壞檢驗表

31113.62.3420.1-9 VOL. 1/2

鐸道編號	說明	組件 項次	Progressive PT	鐸前 PT	鐸中 PT	背鏟 PT	鐸後 PT	目視 檢查	RT 檢查	PT 說明
TG004-1~2	Grid Plate	1&2-1	V	V	V	V	V	V		
TG007-1~2	Grid Plate	1	V	V	V		V	V		
TG002-1~2-4	Shell & Small Shell	2-1&2-2	V	V	V	V	V	V		
TG002-2	Shell & Small Shell	2-1&2-2		V				V		缺陷鏟除
TG002-1~4	Shell & Small Shell	2-1&2-2		V				V		表面檢查
TG005-1~2	Shell & Top Flange	3&2-1	V	V	V	V	V	V		
TG006-1~2	Top Flange & Small Shell	3&2-2	V	V	V	V	V	V		
TG001-1~4	Top Flange	3		V		V		V	V	機械加工
TG010-1~4	Top Flange & Side Plate	3&6		V			V	V		
TG009-1~4	Guide Block	5&6		V			V	V		切割面
TG003-1~4	Seal Ring	4		V				V		
TG011-1~4	Seal Ring	4		V		V		V		
TG003-1~4 TG008-1~2 TG011-1~4	Top Flange & Seal Ring	3&4					V			

(附件十三)

HITACHI NUCLEAR SYSTEMS		浸透探傷試験成績書 LIQUID PENETRANT EXAMINATION RECORD		E415T041 RECORD No.	
顧客名 PURCHASER : General Electric Company プロジェクト名 PROJECT : Taiwan Power Company Lanyuan Project 作業 WORK No. : Q4N0183 機器番号 EQUIPMENT No. : Not Applicable シリアル番号 SERIAL No. : Not Applicable 部品名 PART NAME : TOP FLANGE 承認図番号 (TOP GUIDE) APP.DWG.No. : 310PB02-627 REV. 2 品番 ITEM No. : 3 QTY. 4		製作図番号 SHOP DWG.No. : 310PB09-991 REV. 0 品(片)番 PART (PIECE) No. : 2, 3 QTY. 4 組立番号 JOINT No. : TG001-1~TG001-4 材質 MATERIAL : SA-240 Type316L 試験番号 PROCEDURE No. : 25EA2017 REV. 2 生産管理番号 SHOP TRAVELER No. : 100021 REV. 0 手順番号 OPERATION No. : 02 試験年月日 DATE OF EXAMINATION : 03/31/2009			
試験条件 EXAMINATION CONDITION 浸透液 PENETRANT : Eishin Kagaku R-1A (NT) Special (LOT No. : 9C269) 洗淨液 REMOVER : Eishin Kagaku R-1M (NT) Special (LOT No. : 9L403) 現像液 DEVELOPER : Eishin Kagaku R-1S (NT) Special (LOT No. : 9J494) 表面状態 SURFACE CONDITION : ☐ AS-WELDED ☐ AS-GROUND ☒ MACHINED ☐ OTHERS() 試験時期 EXAMINATION STAGE : ☐ BEFORE PWHT ☐ AFTER PWHT ☐ OTHERS(No PWHT)					
スケッチ図 / 添記 SKETCH / REMARKS EXAMINED AREA : (Check One) () In case of two side weldings, external and internal weld surfaces and adjacent base material for at least 1/2 in. (13 mm). () In case of one side welding, external weld surface and adjacent base material for at least 1/2 in. (13 mm). (✓) Weld edge preparation surfaces. () Others (describe): 単位 UNIT : ☐ mm ☐ inch					
判定基準 ACCEPTANCE STANDARD : ASME Sec.Ⅲ Division 1,(89 edition without addenda) NG-5130					
試験結果 RESULT ☒ 合格 ACCEPTABLE ☐ 不合格 UNACCEPTABLE 添付資料 ATTACHMENT INCLUDED : ☐ YES ☒ NO					
EXAMINER (LEVEL II) <i>[Signature]</i> QC ENGINEER <i>[Signature]</i>		日付 DATE 3/31/2009 日付 DATE 4/7/2009 日付 DATE		顧客 CUSTOMER 審査 Reviewed 承認 Approved 公認原子力検査官 ANI 日付 DATE 日付 DATE 日付 DATE	

MANUFACTURE'S SERIAL No. consists of WORK NO. plus EQUIPMENT NO. plus SERIAL NO.

IV-2-4-2

附件十四

3.3.4 頂部導架銲道及熱影響區的機械拋光品質文件

(a)銲道及熱影響區的機械拋光相關規定請參照 3.2.2.(a)爐心底板銲道及熱影響區的機械拋光品質文件。

(b)依據日立公司頂部導架製造圖 310PB02-624 的 Notes 23:

As for welds TG001, TG002, TG004 and TG005, TG006, TG007, weld heat affected zone shall be polished in accordance with 24A5710.

(c)依據 GE 製造規範，頂部導架的主要銲道(Major Welds)及其熱影響區(Heat Affected Zone)均需以機械拋光，但是日立公司只規定依照 3.2.2.(b)提及的銲道才需拋光。

(d)根據製造圖尚有 TG003、TG008、TG009、TG010、TG011 等銲道及熱影響區是否需要執行拋光。

(e)日立公司提供的 QRP 第 VI-4-1-7 如(附件十五)、8、9 等頁尚有部份未依規定拋光，研磨工具是否無法到 處，GE 及台電是否有評估，認為其可接受。

(f)銲道或熱影響區以機械拋光的目的何在，部份未 到機械拋光的銲道或熱影響區是否有需要再進一步執行其他的改善措施。

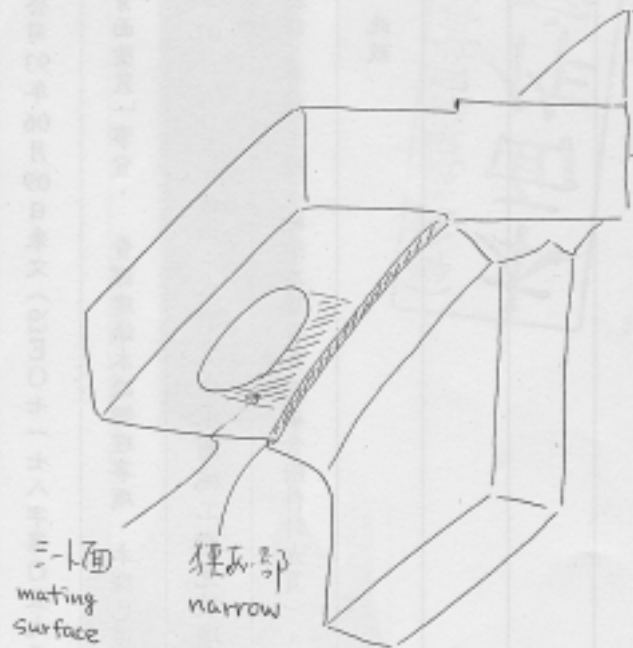
attachment-1c1

PC2-TG-XLM1-160 Rev.1 添付-1

研磨不可能部

impossible polishing areas

製品名 Product	トップガイド Top guide
記号 Symbol	TH1
溶接継手 Weld joint	胴とフランジ body and flange



W H C
W H C

Reviewed
Witnessed



PCTG160A.xls

M-4-1-7

附件十五

3.4 控制棒驅動殼品質文件(31113.62.3422-21)查證

控制棒驅動殼共有 205 支，直接由 GE 公司核能部門(General Electric Company Nuclear Energy, GE-NE)製造，此次品質文件查證，僅選擇編號 X001 及 X100 兩支作為查證標的。控制棒驅動殼日後將穿過反應爐底蓋與底蓋上之短管(Stub Tube) 銲接，依據 PSAR 3.9.5.1，控制棒驅動殼在反應器爐體內之部分，屬於爐心支撐結構之一部分，設計、製造、檢驗須依據 ASME Sec. III Div. I Sub. NG，歸類為 Class CS。控制棒驅動殼在反應器爐體外之部分，則為反應器冷卻水壓力邊界(Reactor Coolant Pressure Boundary, RCPB)之一部分，歸類為 Class 1，設計、製造、檢驗須依據 ASME Sec. III Div. I Sub. NB。查證控制棒驅動殼之 N-2 Data Report，其 Class 標示為 1&CS，代表其能符合 NB 及 NG 相關規定。

控制棒驅動殼材料為 SA-336 CLASS F316，整體(含爐心支撐結構、壓力邊界)為一鍛造(Forging)件，除 Name Plate 銲接在本體之外，並無其他銲接作業。查證 SA-336 CLASS F316 之材料測試證明，確認其化學成分、機械性質、熱處理條件等均符合 ASME Sec II SA-336/336M 相關規定。

查證編號 X001 及 X100 兩支控制棒驅動殼之非破壞檢測作業，外表面均依規定執行 PT 檢測並合格，UT 檢測除執行直束(Straight Beam)超音波檢驗，另於控制棒驅動殼軸向作 45° 斜束(Angle Beam)、以及周向作

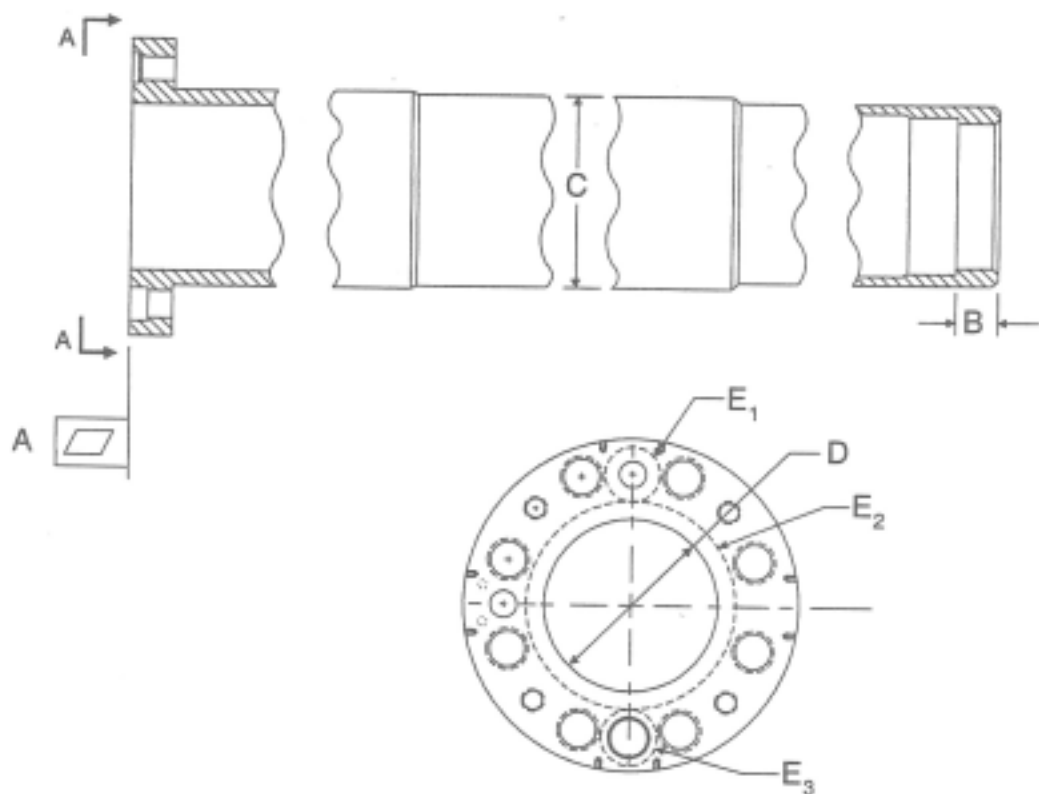
30° 斜束超音波掃描，UT 檢驗結果符合 NB-2500 要求。

控制棒驅動殼在反應器爐體外之部分，為 Class 1 壓力邊界之一部分，須依據 NB-6000 相關規定執行壓力測試。控制棒驅動殼設計壓力為 1250psi(8.62MPa)，依據 NB-6221 Minimum Hydrostatic Test Pressure，水壓測試時，最低測試壓力應為最低設計壓力之 1.25 倍 ($1250 \times 1.25 = 1562.5$)，另依據 NB-3226 Testing Limits 相關規定，最高測試壓力須小於最低測試壓力之 1.06 倍 ($1562.5 \times 1.06 = 1656.25$)。查證控制棒驅動殼之水壓測試壓力為 1600 psi (11MPa)，符合上述法規要求。此外，測試時壓力持續時間為 10 分鐘，符合 NB-6223 Hydrostatic Test Pressure Holding Time 之規定。

查證控制棒驅動殼整套品質文件，於目錄(Table of Content)的 F Section, Final Dimensional Inspection Record 說明於該章節附有控制棒驅動殼完成圖(As Build Drawing)，查閱該圖如(附件十六)只是記錄重要的製造尺寸，尚有許多的內、外徑向尺寸、軸向尺寸、管厚及倒角尺寸等都未在圖中標示清楚，可知該圖並非完成圖，依規定日立公司控制棒驅動殼整套品質文件中應附一份完成圖。

Control Rod Drive Housing (177D3556)

A. $\frac{.001}{[.003]}$	B. $1.738 \pm .01$ [44.1 $\pm$ 0.3]	C. $\varnothing 5.990 \pm .000/-0.005$ [$\varnothing 152.15 \pm 0/-0.13$]	D. $\varnothing 4.921 \pm .004$ [$\varnothing 124.99 \pm 0.1$]
E1. $\frac{.32}{.08} \sqrt{c}$ [$\frac{.32}{.08} \sqrt{c}$]	E2. $\frac{.32}{.08} \sqrt{c}$ [$\frac{.32}{.08} \sqrt{c}$]	E3. $\frac{.32}{.08} \sqrt{c}$ [$\frac{.32}{.08} \sqrt{c}$]	



VIEW A-A

Reviewed: *[Signature]* 10/6/00
QA Representative / Date

4. 爐心支撐結構銲接材料

核四廠爐心支撐結構銲接材料規範依據 GE Fabrication Specification for Reactor Internal Components and Fine Motion Control Rod Drive, Project Drawing Number 24A5710, 第 4 節 Material Requirements，主要的規範是依照 ASME Sec II Part C 規定，查閱爐心側板銲接材料特性查證表如(附件十七)、爐心底板銲接材料特性查證表如(附件十八)及頂部導架銲接材料特性查證表如(附件十九)，其強度、化學分析、伸張率、銲條尺寸等均符合 SFA-5.4 及 5.9 規範規定，規範中對鈷含量有特殊要求內容如說明：

4.1 鈷含量限制：

依照 Project Drawing Number 24A5710, 4.1.5.1 Allowed Filler Metals. Filler metals and electrodes for welding austenitic stainless steel shall be selected to be compatible with the base metals to be welded. All electrodes, filler wire, and inserts shall have a maximum cobalt content of 0.050% by weight.----- In addition, for the shroud, core plate, and top guide, it shall be the aim to limit the cobalt content to 0.030% or less. 由此可知，GE 材料規範對銲接材料僅要求鈷含量低於 0.050%，但希望承商能以 0.030%鈷含量為目標值，完全沒有強制力。另 PSAR 中爐心材料要求比其他爐內組件還嚴格之 graded approach 觀念亦不見落實於採購規範中，PSAR 的規定請參照 3.1.1 爐心側板材料品質文件。

查閱爐心側鈑、爐心底鈑及頂部導架銲接材料特性查證表如，其鈷含量介於 0.007%~0.027%之間，尚符合 PSAR 12.3.1.1.2 Material Selection 之規定。但在銲材品質文件中，有三份製造批號(Production Lot No. T9904074)、爐號(Internal Heat No. WS130-98)相同，但其鈷含量分別為 0.0027%和 0.027%，顯然有一份是錯誤，相關頁數為爐心側鈑 III-2-23 如(附件二十)及爐心導架 III-2-41 鈷含量為 0.0027%，爐心底鈑 III-2-37 鈷含量為 0.027%如(附件二十一)。

4.2 Delta Ferrite 數量:

依照 Project Drawing Number 24A5710, 4.1.5.2 Delta Ferrite. The delta ferrite content of all austenitic stainless steel electrodes, filler metal and consumable inserts shall be an average 8 FN minimum and 20 FN maximum, with a target 13 FN maximum. no value shall be less than 5 FN.

查閱爐心側鈑、爐心底鈑及頂部導架銲接材料特性查證表，Delta Ferrite 數量界於 8~12.7 間均符合規定。

爐心側鈹銲接材料特性查證表 (1/2)

31113.62.3420.1-11 VOL 1/2

製造廠商	銲材商標	QRP 頁數	規範 SFA	銲材 分類	尺寸 mm	化學 分析	鈷 $\leq$ 0.02%	強度 $\geq$ 520Mpa	降伏點 205Mpa	伸張率 $\geq 35\%$	F N 8-15	製造批號 爐 號
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-2	5.4	E316L-16	3.2	Acc	0.022	543	412	54	12	905296
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-5	5.4	E316L-16	4.0	Acc	0.022	537	420	45	11.9	905297
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-8	5.4	E316L-16	4.8	Acc	0.023	537	417	46	12.5	905298
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-11	5.4	E316L-16	4.0	Acc	0.027	537	428	47	10.3	001315
NIKKO YOZAI	SMW-316ULC	III-2-16	5.9	ER316L	1.2	Acc.	0.010	528		54	12	0221-051 P03009
NIPPON Welding Rod	TIG316ULC	III-2-20	5.9	ER316L	1.2	Acc	0.025	540		52	9.2	NW480
TASETO Welding Material	TG316ULC	III-2-23	5.9	ER316L	1.6	Acc	0.0027	658		44.5	11.2	T9904074 WS130-98

說明：1. SFA-5.4 及 5.9 規定強度 490 Mpa。

2. SFA-5.4 及 5.9 規定伸張率 30 %

附件十七 1/2

爐心側鈹銲接材料特性查證表 (2/2)

31113.62.3420.1-11 VOL 1/2

製造廠商	銲材商標	QRP 頁數	規範 SFA	銲材 分類	尺寸 mm	化學 分析	鈷≤ 0.02%	強度 520Mpa	降伏點 205Mpa	伸張率 ≥35%	F N 8-15	製造批號 爐 號
TASETO Welding Material	TG316ULC	III-2-24	5.9	ER316L	1.6	Acc	0.027	685		44.5	11.2	T9903019 WS130-98
KOBE STEEL	US-316ULC	III-2-25	5.9	ER316L	4.0 3.2	Acc	0.014	561		44	9	BHA9397 ID816884
KOBE STEEL	US-316ULC	III-2-31	5.9	ER316L	4.0 3.2	Acc	0.007	540		46	8/9	BHA79396957 9A616884
TASETO Welding Material	TG316ULC	III-2-37	5.9	ER316L	2.4	Acc	0.027	658		44.5	11.2	T9903020 WS130-98

附件十七 2/2

爐心底鈹銲接材料特性查證表 (1/2)

31113.62.3420.1-10 VOL 1/2

製造廠商	銲材商標	QRP 頁數	規範 SFA	銲材 分類	尺寸 mm	化學 分析	鈷 $\leq$ 0.02%	強度 520Mpa	降伏點 205Mpa	伸張率 $\geq 35\%$	F N 8-15	製造批號 爐 號
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-14	5.4	E316L-16	4.0	Acc	0.022	537	420	45	11.9	905297
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-17	5.4	E316L-16	4.8	Acc	0.023	537	417	46	12.5	905298
NIPPON Welding Rod	TIG316ULC	III-2-20	5.9	ER316L	1.2	Acc	0.025	540		52	9.2	NW480
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-23	5.4	E316L-16	3.2	Acc	0.026	548	398	57	11.2	001314
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-26	5.4	E316L-16	4.0	Acc	0.027	537	428	47	10.3	001315
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-29	5.4	E316L-16	3.2	Acc	0.010	538	400	53	11.0	103333
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-32	5.4	E316L-16	4.0	Acc	0.010	530	424	49	10.5	103334

附件十八 1/2

爐心底鈹銲接材料特性查證表 (2/2)

31113.62.3420.1-10 VOL 1/2

製造廠商	銲材商標	QRP 頁數	規範 SFA	銲材 分類	尺寸 mm	化學 分析	鈷 $\leq$ 0.02%	強度 520Mpa	降伏點 205Mpa	伸張率 $\geq 35\%$	F N 8-15	製造批號 爐 號
TASETO Welding Material	TG316ULC	III-2-35	5.9	ER316L	1.6	Acc	0.027	685		44.5	11.2	T9903019 WS130-98
TASETO Welding Material	TG316ULC	III-2-36	5.9	ER316L	2.4	Acc	0.027	658		44.5	11.2	T9903020 WS130-98
TASETO Welding Material	TG316ULC	III-2-37	5.9	ER316L	1.6	Acc	0.027	658		44.5	11.2	T9904074 WS130-98
TASETO Welding Material	TG316ULC	III-2-38	5.9	ER316L	1.6	Acc	0.027	658		44.5	8.2	T9904073 WS130-98
TASETO Welding Material	TG316ULC	III-2-39	5.9	ER316L	2.0	Acc	0.027	604		46	9.0	T0301351 WS062-00
TASETO Welding Material	TG316ULC	III-2-40	5.9	ER316L	2.4	Acc	0.027	604		46	9.0	T0302359 WS062-00

附件十八 2/2

頂部導架銲接材料特性查證表 (1/2)

31113.62.3420.1-9 VOL 1/2

製造廠商	銲材商標	QRP 頁數	規範 SFA	銲材 分類	尺寸 mm	化學 分析	鈷 $\leq$ 0.02%	強度 520Mpa	降伏點 205Mpa	伸張率 $\geq 35\%$	F N 8-15	製造批號 爐 號
KOBE STEEL	US-316ULC	III-2-2	5.9	ER316L	4.0	Acc.	0.009	557		40	9/9	BHA79396957 9E616884
KOBE STEEL	US-316ULC	III-2-8	5.9	ER316L	4.0 3.2	Acc	0.007	540		46	8/9	BHA79396957 9A616884
KOBE STEEL	US-316ULC	III-2-8	5.9	ER316L	4.0 3.2	Acc	0.007	540		46	8/9	BHA79396957 9A61688
TASETO Welding Material	TG316ULC	III-2-14	5.9	ER316L	2.4	Acc	0.027	658		44.5	11.2	T9903020 WS130-98
TASETO Welding Material	TG316ULC	III-2-15	5.9	ER316L	1.6	Acc	0.027	685		44.5	11.2	T9903019 WS130-98
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-16	5.4	E316L-16	3.2	Acc	0.022	543	412	54	12	905296
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-19	5.4	E316L-16	4.0	Acc	0.022	537	420	45	11.9	905297

附件十九 1/2

頂部導架銲接材料特性查證表 (2/2)

31113.62.3420.1-9 VOL 1/2

製造廠商	銲材商標	QRP 頁數	規範 SFA	銲材 分類	尺寸 mm	化學 分析	鈷 $\leq$ 0.02%	強度 520Mpa	降伏點 205Mpa	伸張率 $\geq 35\%$	F N 8-15	製造批號 爐 號
TASETO Welding Material	TG316ULC	III-2-22	5.9	ER316L	2.0	Acc	0.027	604		46	9.0	T0301351 WS062-00
NIKKO YOZAI	SMW-316ULC	III-2-24	5.9	ER316L	1.2	Acc	0.010	528		54	12	0221-051 P03009
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-29	5.4	E316L-16	4.8	Acc	0.023	537	417	46	12.5	905298
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-32	5.4	E316L-16	4.0	Acc	0.027	537	428	47	10.3	001315
NIPPON Welding Rod	TIG316ULC	III-2-35	5.9	ER316L	1.2	Acc	0.025	540		52	9.2	NW480
NIPPON Welding Rod	WEL-316ULC	III-2-38	5.4	E316L-16	4.8	Acc	0.010	553	429	43	12.7	006322
TASETO Welding Material	TG316ULC	III-2-41	5.9	ER316L	1.6	Acc	0.0027	658		44.5	11.2	T9904074 WS130-98

附件十九 2/2

CERTIFIED MATERIAL TEST REPORT

TASETO WELDING MATERIAL

NOF CORPORATION
 WELDING MATERIAL DIVISION
 1-44, Shinmei-cho, Saiwai-ku,
 Kawasaki 212-0022, Japan

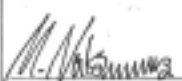
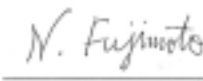
CMTR No.	P0002026	Applicable Code	ASME CODE Section III Division 1 Subsection NG (1989 Edition without Addenda)	
Issued Date	February 24, 2000		ASME CODE Section II Part C SFA-5.9 (1989 Edition without Addenda)	
Customer	HITACHI, Ltd. Nuclear Systems Division (Rinkai Factory)	Classification	ER316L	
Customer's Specification No.	HWS-296 (Rev.1)	Trade Designation	TG316ULC	
Customer's Order No.	5C3588	Size	1.6mm	
Work No. & Order Slip No.	1Q12453, 65001	Production Lot No.	T9904074	
NOF's Specification No.	NOF1450 (Rev.1)	Manufacturing Date	Apr. 30, 1999	

This product was produced in accordance with NOF's quality assurance manual (SQA3 Rev.5) issued at Mar. 31, 1997.

Chemical Composition of Filler Metal (%)															
Specification	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	N	Cu	Cb	Cb+Ta	V	Ti	Co
	max.	18.0	11.0	2.0	1.00	0.30	max.	max.	-	max.	-	-	-	-	max.
	0.020	20.0	14.0	3.0	2.50	0.60	0.030	0.030	-	0.75	-	-	-	-	0.050
Result	0.006	19.81	11.61	2.31	1.74	0.44	0.007	0.005	0.10	0.009	0.009	0.01	0.0068	0.0036	0.0027

Test Item	All Weld Metal Tension Test		Ferrite Content (FN)		Production Lot No.: T9904074 Internal Heat No.: WS130-98
	Tensile Strength	Elongation	Filler Metal	All Weld Metal	
Specification	min. 520 MPa	min. 35 %	Fig. NG-2433.1-1 8 - 13	Magne Gage Ave.: 8 - 13 (each ≥ 5)	
Result	658	44.5	11.2	Ave.: 8.2 (7.7 - 8.6)	

Welding Conditions	DCEN, Current: 120A, Voltage: 12V, Speed: 8cm/min, Shielding Gas: 100%Ar (15L/min) Position: Flt, Preheat: None, Interpass Temp.: 20-150°C
--------------------	---

We certify that the contents of this report are correct and accurate, and that all test results and operations are in compliance with the requirements of the material specifications and the customer's specification. Issued by Technical Department	 Reviewed Witnessed	Approved by TDM	Prepared by QAGL
		 M. Nakamura	 N. Fujimoto



Accepted by Hitachi NNA
 4/22/2000

附件二十



CERTIFIED MATERIAL TEST REPORT

TASETO WELDING MATERIAL

NOF CORPORATION
WELDING MATERIAL DIVISION
1-44, Shinmei-cho, Saiwai-ku,
Kawasaki 210-0922, Japan

CMTR No.	P9905012	Applicable Code	ASME CODE Section III Division 1 NCA-3800, Subsection NG (1999 Edition without Addenda)
Issued Date	May 17, 1999		ASME CODE Section II Part C SFA-5.9 (1999 Edition without Addenda)
Customer	HITACHI, Ltd. Hitachi Works (Rinkai Factory)	Classification	ER316L
Customer's Specification No.	HWS-296 (Rev.0) CP-GN-0001 (Rev.1)	Trade Designation	TG316ULC
Customer's Order No.	5N4790	Size	1/16 in. (1.6mm)
Work No. & Order Slip No.	Q4N0183, M35200	Production Lot No.	T9904074
NOF's Specification No.	NOF1450 (Rev.0)	Manufacturing Date	Apr. 30, 1999

This product was produced in accordance with NOF's quality assurance manual (SQA3 Rev.5) issued at Mar. 31, 1997.

Chemical Composition of Filler Metal (%)															
Specification	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	N	Cu	Cb	Cb+Ta	V	Ti	Co
	max.	18.0	11.0	2.0	1.00	0.30	max.	max.	-	max.	-	-	-	-	max.
	0.020	-20.0	-14.0	-3.0	-2.50	-0.60	0.030	0.030	-	0.75	-	-	-	-	0.050
Result	0.006	19.81	11.61	2.31	1.74	0.44	0.007	0.005	0.10	0.009	0.009	0.01	0.0068	0.0036	0.027

Test Item	All Weld Metal Tension Test		Ferrite Content (FN)		RECEIVED JUNE 1999 Reviewed Witnessed	Production Lot No.: T9904074 Internal Heat No.: WS130-98
	Tensile Strength	Elongation	Filler Metal	All Weld Metal		
Specification	min. 75.4 ksi (520MPa)	min. 35 %	Fig. NG-2433.1-1 8-13	Magne Gage Ave.: 8-13 (each ≥ 5)		
Result	95.9 (658)	44.5	11.2	Ave.: 8.2 (7.7-8.6)		

Welding Conditions	DCEN, Current: 120A, Voltage: 12V, Speed: 8cm/min, Shielding Gas: 100%Ar (15L/min) Position: Flat, Preheat: None, Interpass Temp.: 20-150°C
--------------------	--

We certify that the contents of this report are correct and accurate, and that all test results and operations by us or our subcontractors are in compliance with the requirements of the material specifications, applicable material requirements of Section III of the ASME CODE as designated by the customer, and the customer's specification.  ANL	Issued by Technical Department		Approved by TDM	Prepared by QAGL
			May 17, 1999  M. Nakamura	May 17, 1999  N. Fujimoto



2.2/18/99
T. NISHIMURA No. 10334

Accepted by Hitachi, NOA
N. Terumi 6/10/99

5. 資料報告(NCS-1 DATA REPORT) 相關部分

依據 ASME Sec III Table NCA-8100-1 Authorizations and Core Symbol Stamps Issued by The Society for Construction of Nuclear Power Plants，其 Note (2)全文轉載於下：「A Data Report shall be fill out on Form NCS-1 by the Certificate Holder assuming overall responsibility. If this Certificate Holder also performs the fabrication, the Form NCS-1 shall be completed by this Certificate Holder and shall be certified by the Inspector for the core support structure to be stamped with the Code N Symbol and no N-2 Form is required. When a Certificate Holder is responsible for fabrication only, the Form N-2 shall be completed by that Certificate Holder and certified by the Inspector for core support structures, appurtenances, or parts which are to be stamped with the Code NPT Symbol.」。上述法規內容簡單摘要如下：其一、「整體爐心支撐結構」必須有一承擔整體責任之 N Certificate Holder 簽證 NCS-1；其二、如果負責簽證 NCS-1 之 N Certificate Holder 也負責個別爐心支撐結構製造，則個別爐心支撐結構之 N-2 Form 並不需要；其三、如果 Certificate Holder 僅負責個別爐心支撐結構之製造，則必須簽證 N-2 Form 並負責取得個別爐心支撐結構組件之 NPT Stamp。

爐心側板、爐心底板及頂部導架等爐心結構組件，日立公司僅負責個別爐心支撐結構製造，經查證其品質文件中均有 ASME N-2 Data Report，並經核能授權監察員(Authorized Nuclear Inspector, ANI)見證後授予 NPT-CS

Stamp。日立公司負責之部分完全符合 ASME Sec III NCA-8000 相關要求，日後爐心結構組件將由中鼎公司負責安裝，但是中鼎公司僅是 NA Certificate Holder，依據 Sec III NCA-8000 相關規定，「整體爐心支撐結構」必須有 NCS-1 Data Report 簽證，但是中鼎公司責任範圍僅限於爐心支撐結構之組裝及安裝相關 ASME 法規要求。

視察發現，目前核四廠建廠制度中，GE 公司負責設計、日立公司負責個別爐心支撐結構之製造、中鼎公司責任範圍僅限於爐心支撐結構之組裝及安裝相關 ASME 法規要求。目前核四廠建廠品保制度中，可能並無明確應承擔「整體爐心支撐結構」責任之 N Certificate Holder 可以負責簽證 NCS-1，亦即目前並無 N Certificate Holder 依據 NCA-3520 Categories of the N Certificate Holder's Responsibilities, (c) achievement of structure integrity，負責「整體爐心支撐結構」N-CS Stamp 之取得。

整體而言，「整體爐心支撐結構」可能無法符合 Sec. III NCA-8000 相關 Data Report 及 Stamp 之規定，且從責任分工角度著眼，沒有 N Certificate Holder 負責簽證 NCS-1 Data Report，以承擔「整體爐心支撐結構」結構完整性之責任，可能無法符合 ASME 法規要求。

6. 結論與建議

整體而言，日立公司為 ASME 認證合格廠商，負責一號機反應器爐心支撐結構製造，品質文件以組件分類，檔案目錄清楚易查，記錄表格均以電腦填寫，少部份以人工撰寫，字跡清晰確實。難能可貴之處，所有銲道的銲接位置及銲接型式均以彩色立體顯示，「液滲檢測記錄表」詳實的記錄銲道表面的準備、銲道位置圖及銲道型式、每層銲道的檢驗圖及結果、背鏟位置(Back Chipped Area)，每一層銲道均依法規規定的厚度(13mm)執行檢驗，爐心支撐結構品質文件大致上均足以證明其製造測試過程符合法規規範要求，查證作業中發現之缺失及相關管制建議分類列舉於下。核四專案計畫另將依規定填報視察發現通報表，呈報原能會核管處依程序執行管制措施。

6.1 建立核四商轉後 IVVI(In Vessel Visual Inspection)之 Base-line Information 之重要性：

依據 ASME Boiler and Pressure Vessel Code Sec XI—Rules for In-Service Inspection of Nuclear Power Plant Components，核能電廠商轉後須依規定執行運轉期間檢查(In-Service Inspection, ISI)。反應器爐內組件(Core Internals)目視檢查為 ISI 重要檢查項目之一，也就是運轉中電廠所謂的 IVVI。另法規亦規定，核能電廠商轉前須先執行運轉前檢查(Pre-Service Inspection, PSI)，建立商轉後運轉期間檢查之 Base-line Information，作為日後運轉期間

檢查之基礎，且日後運轉期間檢查中如果有缺陷發現，運轉前檢查可以提供評估缺陷產生肇因之重要參考。

法規中並未要求目視檢查項目須執行運轉前檢查，自然 IVVI 並無執行運轉前目視檢查之法規強制性，然而鑒於以往核一、核二沸水式反應器電廠 IVVI 之經驗，其檢測之完整性、目視檢驗位置之正確性及檢驗結果之可讀性，一直是 IVVI 主辦課及參與之品管人員(包括原能會視察人員)相當難以掌握之檢驗項目。不同於其他目視檢驗項目，IVVI 執行過程中具有必須建立影像紀錄之特殊性，核四廠目前尚處於興建階段，無論廠製鐸道、現場施工鐸道或其他重要目視檢查項目，均可在現階段中，以最小成本得到最佳影像品質的目視檢驗紀錄，足以作為商轉後 IVVI 最佳參考、比對之原始資料。

基於上述陳述，建議台電公司審慎考量預先執行爐內組件目視檢驗之必要性，並錄影存留影像，作為 IVVI 比對之原始資料。

6.1 品質文件查證部分

(a)爐心支撐結構組件爐心側鈹、爐心底鈹及頂部導架材料鈹含量高於核四廠初期安全分析報告 12.3.1.1.2 中對於材料內的鈹含量特殊限制，建議要求台電公司督促 GE 盡速澄清。

(b)ASME Sec V, Article 6-Liquid Penetration Examination T-647.1 規定，液

滲檢測溫度範圍應在 60°F(16°C)~125°F(52°C)之間，爐心側鈹液滲檢測溫度低於 60°F(16°C)共 19 份，建議應予以澄清。

(c)建議日立公司自行簽發之 DDR-62.3420.1-22，有關各組件冷彎後之硬度及應變測量值應反應至正式的品質文件中。

(d)爐心側鈹成品尺寸偏差，建議台電公司應再加以評估，並將此類資訊提供中鼎公司參考，以確保日後爐內組件之安裝能完全符合相關設計與規範。

(e)建議台電應在核四廠尚處於興建階段，無論廠製銲道、現場施工銲道或其他重要目視檢查項目，留下最佳影像品質的目視檢驗紀錄，作為商轉後爐內組件目視檢查參考、比對之原始資料。

(f)爐心底鈹的主要銲道及其熱影響區依規定需以機械拋光，但在 QRP 第 VI-4-1-10、13~18、37~41 和 59~67 等 21 頁，部份未拋光，GE 及台電是否評估認為可接受，建議應予以澄清並說明拋光的目的何在。

(g)ASME Sec V, Article 6-Liquid Penetration Examination T-647.1 規定，液滲檢測溫度範圍應在 60°F(16°C)~125°F(52°C)之間，爐心底鈹液滲檢測溫度低於 60°F(16°C)共 64 份，其中頁數為 IV-2-1-4、6~68，建議應予以澄清。

(h)GE 未將頂部導架整體組件視為爐心支撐結構，而將部份組件分類為非

ASME Code 明顯與核四廠初期安全分析報告 3.9.5.1 Design Arrangements 的分類不一致，建議要求台電公司督促 GE 盡速澄清。

(i)頂部導架「液滲檢查記錄表」頁數 IV-2-4-2，該記錄表欠缺滲透時間、顯像時間及被測物溫度，建議應予以修正。

(j)頂部導架的主要銲道及其熱影響區依規定需以機械拋光，但在 QRP VI-4-1-7、8、9 等頁尚有部份未依規定拋光，研磨工具是否無法到，GE 及台電是否評估認為可接受，建議應予以澄清並說明拋光的目的何在。

(k)日立公司送交的控制棒驅動殼整套品質文件，卻未附該組件的完成圖 (As-built Drawing)，日立公司應有義務補送控制棒驅動殼完成圖，以使品質文件完備。

(l)爐心支撐結構銲接材料製造批號(Production Lot No. T9904074)爐號 (Internal Heat No. WS130-98)相同但其鈷含量分別為 0.0027%和 0.027%，顯然有一份是錯誤，相關頁數為爐心側板 III-2-23 及爐心導架 III-2-41 鈷含量為 0.0027%，爐心底板 III-2-37 鈷含量為 0.027%，建議應予以修正。

(m)核四廠建廠制度中，GE 公司負責設計、日立公司負責個別爐心支撐結構之製造、中鼎公司責任範圍僅限於爐心支撐結構之組裝及安裝相關

ASME 法規要求。依據 NCA-3520 Categories of the N Certificate Holder's Responsibilities, (c) achievement of structure integrity，負責「整體爐心支撐結構」N-CS Stamp 之取得。在核四廠建廠品保制度中，並無明確應承擔「整體爐心支撐結構」責任之 N Certificate Holder 可以負責簽證 NCS-1，亦即目前並無 N Certificate Holder。「整體爐心支撐結構」可能無法符合 Sec. III NCA-8000 相關 Data Report 及 Stamp 之規定，且從責任分工角度著眼，沒有 N Certificate Holder 可以承擔「整體爐心支撐結構」結構完整性之責任，可能無法符合 ASME 法規要求。基於上述陳述，建議台電公司審慎考量並著手解決方案。

誌謝

核四廠一號機爐心支撐結構是壓力槽內支撐燃料棒的重要組件，查證研究報告為核四建廠安全管制支援專案計畫團隊合作之成果，計畫主持人廖俐毅博士負責督導協助，團隊成員中楊慶威先生負責爐心側板及燃料驅動棒殼之材料測試證明、銲接作業及熱處理作業等查證，張瑞金先生專責爐心支撐結構的所有非破壞檢測作業查證，劉驥先生負責頂部導架之材料測試證明、銲接作業、熱處理作業、資料搜尋、聯繫作業及行政支援等各方面之協助，謝謝他們。

此外，原能會核管處及龍門施工處品質課在各方面大力協助，亦是此報告研究工作能順利執行之重要關鍵，在此一併表達個人感謝之意。

參考文獻

1. 進步型沸水式反應器(ABWR)訓練教材，第一篇第二章反應爐壓力槽及內部組件(Reactor Pressure Vessel and Internal)。
2. 核研所核四建廠安全管制支援小組視察作業程序書，NRD-PCD-010，行政院原子能委員會核能管制處，中華民國九十二年二月。
3. PSAR, Preliminary Safety Analysis Report, Lungmen Nuclear Power Station Unit 1&2.
4. ASME Sec III, Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, Division 1- Subsection NB Class 1 Components. 1989 edition without addenda.
5. ASME Sec III, Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, Division 1- Subsection NG Core Support Structure. 1989 edition without addenda.
6. ASME Sec III, Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, Subsection NCA General Requirements for Division 1 and Division 2.
7. ASME Section II, Material Specification Part A---Ferrous, 1989 edition.
8. ASME Section II, Material Specification Part C---Welding Rod, Electrode and Filler Metals.
9. Fabrication Specification for Reactor Internal Components and Fine Motion Control Rod Drive, Project Drawing Number 24A5710.
10. Materials Specification for Reactor Internal Components and Fine Motion Control Rod Drive, Project Drawing Number 24A5709

11. Purchase Specification for Reactor Internals Package 1, Project Drawing Number 31113.62.3420,.
12. Installation Specification for Reactor Assembly, Project Drawing Number 26A5271
12. Shroud 310PB02-616, 617, 618)
13. Shroud As-built Dwg. (310PB27-507)
14. Core Plate (310-PB05-388, 389, 390)
15. Core Plate As-build Dwg. (310PB27-510, 511)
16. Interface control Drawing Core Plate (AC-AC-105E2657)
17. Top Guide (310PB02-624, 625, 626, 627)
18. Top Guide As-built Dwg. (310PB24-993, 994)
19. Control Rod Drive Housing (AC-B717301, B717302, B717303, B717304)