

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

(裝訂線)

研習多探頭管內超音波檢測技術

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：李佳和/工業工程師

出國地區：日本

出國日期：102年6月16日~102年6月29日

報告日期：102.08.19

QP-08-00 F04

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：研習多探頭管內超音波檢測技術

頁數 26 含附件：是否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話

台灣電力公司／人事處陳德隆／02-23667678

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話

李佳和／台灣電力公司／電力修護處南部分處／工業工程師／07-2510195~255

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究4 實習 5 其他-開會

出國期間：102年6月16日~102年6月29日 出國地區：日本

報告日期：102年8月19日

關鍵詞：多探頭管內超音波技術、中性子水分計技術

內容摘要：(二百至三百字)

此次出國任務主要係赴日本 SRT(Sunrise Technology)研習多探頭管內超音波技術及日立公司(Hitachi)、日本三菱重工(Mitsubishi Heavy Industry)研習先進非破壞檢測技術；本部門主要從事電廠大修零組件非破壞檢測，由於所檢測的零組件其結構特性或外型設計等種類包羅萬象，以目前的檢測技術或設備無法滿足客戶與日俱增的檢測需求，例如汽機鍋爐省煤器爐管形狀為連續多彎頭之管路，管外為冷卻鰭片式設計，更增添檢測困難度，SRT 目前開發出多探頭管內超音波技術能克服這類型管路的檢測且又有實際現場的成功檢測案例，值得前往以取得進一步的資訊；又如管線包覆層下腐蝕(CUI :Corrosion Under Insulation)檢測，目前檢測前需將管線包覆材料先予以移除方能做檢測，期間所花費工時及成本皆影響檢測進度及效率，藉由赴日本日立公司所研習的中性子水分計技術，以便日後能達到最有效率的檢測方法；最後赴日本三菱重工神戶廠的核能非破壞檢測中心研習壓水式(PWR)核電廠蒸汽產生器(Steam Generator)先進陣列式超音波檢測技術及熱交換管路渦電流檢測技術，藉由不同領域上檢測技術的應用及經驗來改善目前所從事工作領域上的不足或瓶頸。

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

目錄

一、出國事由	3
二、出國行程	3
三、任務執行過程與內容	4
3.1 多探頭管內超音波檢測技術	4
3.2 中性子水分計技術	8
3.3 蒸氣產生器先進陣列式超音波檢測技術	13
3.4 蒸氣產生器熱交換管路渦電流檢測技術	17
四、實習心得	23
五、建議事項	25
六、返國座談會簡報資料	26

一、出國事由

多探頭管內超音波檢測技術是一種從管子內部進行水浸式脈衝回波法的檢測技術，可檢測管子內外部腐蝕、剩餘壁厚、溝槽焊縫侵蝕及管板缺陷等的技術，檢測過程中，人員可以在螢幕上即時觀察到檢測數據而予以研判，並將數據即時儲存至電腦硬碟上，適用於各水火力電廠及石化廠之絕大多數鐵磁性或非鐵磁性管件如鰭片冷卻器、鍋爐、熱交換器、給水加熱器、冷凝器等管件的檢測；本次出國計畫，將安排至日本 SRT(Sunrise Technology)研習先進檢驗技術與應用，以期達到檢測技術的提昇，SRT 針對火力、水力、風力及核能各電廠成功開發出多頻道管內超音波檢測設備，可在省煤器管排管路執行全管檢測作業，並成功檢測出腐蝕減薄缺陷，且最長檢測距離可達到 120 公尺；另外 MHI(Mitsubishi Heavy Industry)擁有多年在核能電廠蒸器產生器及反應爐底檢測技術非破壞檢測經驗，並開發多種陣列式檢測探頭及渦電流檢測系統、設備及軟體，其中陣列式檢測技術應用在異相金屬接合處深窄型應力腐蝕裂痕(SCC)深度的量測技術，足以提供工程人員評估該組件的使用壽命依據，另外渦電流檢測技術用於核能電廠蒸器產生器冷卻管件的檢測，通過多種頻道的精確分析，可檢測廣泛範圍內的管內、外表面缺陷。

二、出國行程

2013/06/16 ~ 2013/06/16	往程 (高雄→東京成田機場→茨城)
2013/06/17 ~ 2013/06/19	SRT (茨城)
2013/06/20 ~ 2013/06/21	Hitachi (茨城)
2013/06/22 ~ 2013/06/22	茨城→神戶
2013/06/23 ~ 2013/06/28	MHI (神戶)
2013/06/29 ~ 2013/06/29	回程 (大阪關西機場→高雄)

三、任務執行過程與內容

此次出國研習的內容為(1)研習多探頭管內超音波檢測技術(2)中性子水分計技術(3)蒸氣產生器先進陣列式超音波檢測技術(4)蒸氣產生器熱交換管路渦電流檢測技術。

3.1 多探頭管內超音波檢測技術

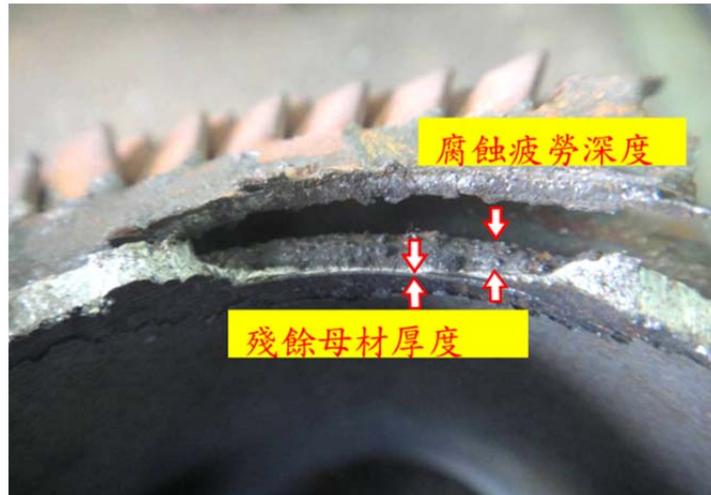
3.1.1 緣由

多探頭管內超音波檢測技術的開發主要為當檢測的管路為冷卻鰭片式或連續多彎頭管路設計時，以目前的檢測技術或設備無法做有效率且準確的檢測，以下就分別介紹此兩特殊外型設計的管路。

■ 冷卻鰭片式管路

圖(一)為 HRSG 鍋爐冷卻式鰭片設計爐管發生破管照片，導致機組停機檢修，使電廠蒙受停機損失，經分析後發現破管原因為腐蝕疲勞破壞以致管壁減薄，爐管無法承受內部壓力而產生破管。





圖(一)、冷卻式鰭片爐管及破損外觀

■ 連續多彎頭管路

圖(二)為汽機鍋爐省煤器(Economizer)爐管管路，其設計為冷卻式鰭片及連續多個彎頭管路，以目前的檢測方法僅能針對管路彎管處作壁厚檢測，無法做全管管路饋速有效率的檢測。



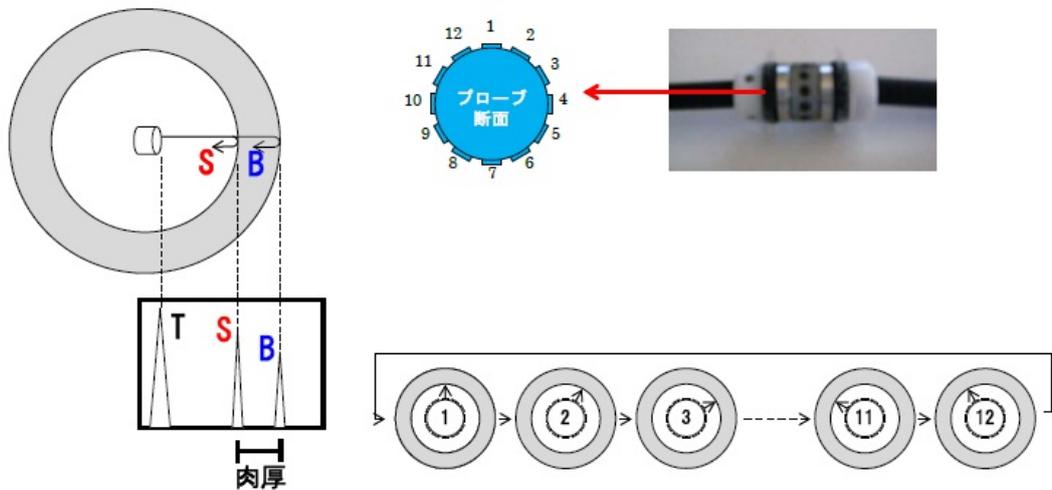
圖(二)、鍋爐省煤器爐管

綜合以上討論，當檢測管路有以上一種或以上的條件情形時，以目前的檢測方法及技術無法執行快速且精確的全管路檢測，在偶然情形下得知

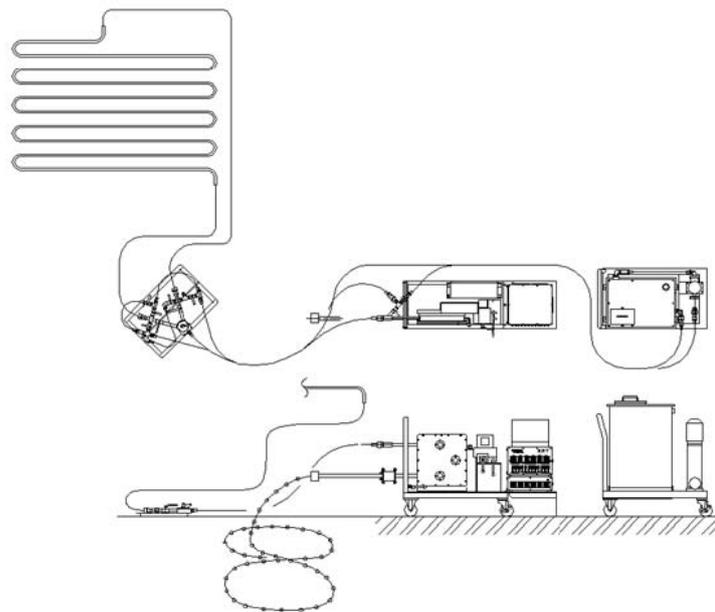
SRT 發展出這類型管件的檢測技術及設備，值得進一步的評估其實用性以利將來的檢測需求。

3.1.2 原理

多探頭管內超音波檢測技術主要是使用一多頻道的檢測探頭，利用超音波測量管壁壁厚的變化，進一步評估管路是否需要修補或汰換的檢測技術，圖(三)為多探頭管內超音波技術的原理示意圖、另圖(四)為系統檢測示意圖。



圖(三)、多探頭管內超音波技術的原理示意圖



圖(四)、多探頭管內超音波技術的系統檢測示意圖

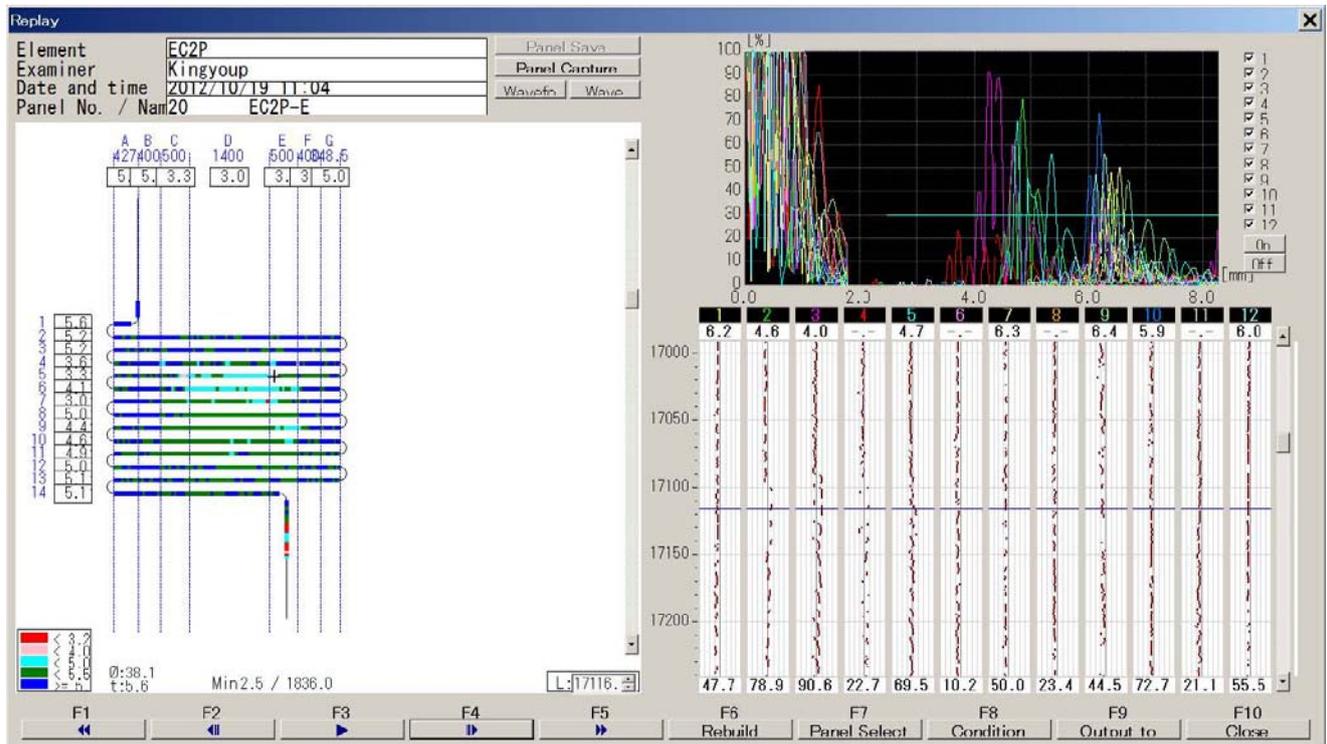
3.1.3 設備構造

多探頭管內超音波的設備如圖(五)，包括有

- 主機
- 距離顯示器
- 供水循環系統
- 檢測探頭及纜線
- 纜線切換器
- 分析軟體，如圖(六)



圖(五)、多探頭管內超音波設備



圖(六)、分析軟體

3.1.4 檢測能力

- 管路長度:100m
- 管路內徑:25~40mm
- 管路材質:金屬、非金屬及其它
- 管路壁厚:依照材質而定
- 檢測速度:320~400m/日·台

3.1.5 管路缺陷樣本

圖(七)為多探頭管內超音波實際應用於汽機鍋爐省煤器爐管管路檢測的瑕疵照片。



圖(七)、省煤器爐管缺陷樣本

3.2 中性子水分計技術

3.2.1 緣由

包覆性管路(如包覆保溫棉管路等..)易受潮濕環境影響,極可能會產生設備管線包覆層下腐蝕(CUI :Corrosion Under Insulation)如圖(八),

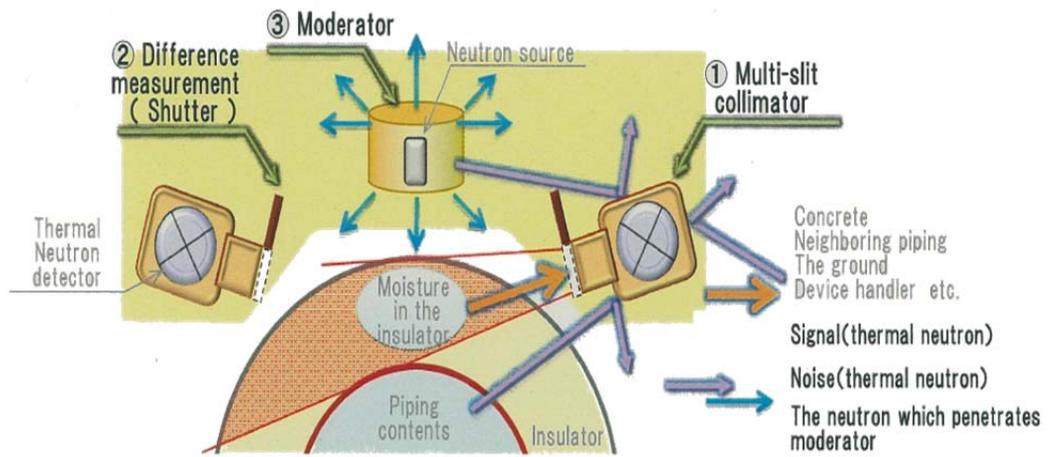
CUI 是設備和管線之隱形殺手,又因為包覆層下腐蝕問題被包覆材和金屬外罩所藏,不易發現,往往當察覺有異時,問題已很嚴重,目前執行檢測前,需先搭架或拆卸包覆層,費時費力及耗費成本,故日本日立公司(Hitachi)開發的中性水分計(Neutron Moisture Meter)新技術能在不須搭架及拆卸包覆層,且在設備不須停機的條件下便可執行管件 CUI 檢測,不僅提高管件使用壽命及大大提高檢測的方便性。



圖(八)、CUI :Corrosion Under Insulation

3.2.2 原理

圖(九)為中性水份計(Neutron Moisture Meter)技術原理說明圖,其乃是利用一中性子射源(Neutron Source)發射出高速中性子射線,此射線易穿透金屬但不易穿透含氫元素的水分子,當遇水分時,此射線便會轉變成熱中子射線(Thermal Neutron)而折射,再經由多縫干涉準直儀(Multi-Silt Collimator)及差動訊號量測檔板(Difference measurement; Shutter)來過濾雜訊;另由中子慢速調節器來強化訊號,便可知測到水分的訊號,最後由軟體分析來達到檢測的目的。



圖(九)為中性水分計(Neutron Moisture Meter)技術原理示意圖

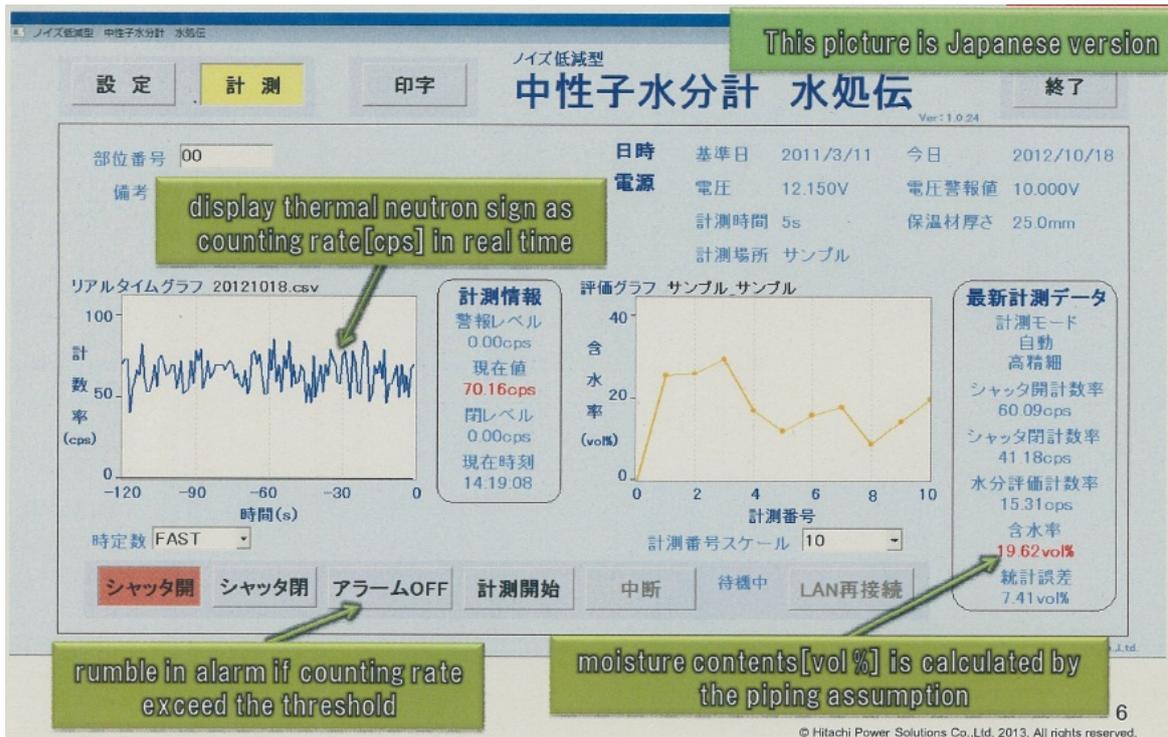
3.2.3 設備

中性水分計設備構造如圖(十)，包括有

- 檢測探頭 (Head)
- 伸縮桿(Variable Rod)
- 指示器(Indicator)
- 操作終端機(Operation Terminal)，以無線網路與檢測探頭連線
- 分析軟體，如圖(十一)



圖(十)、中性水份計設備構造



圖(十一)、分析軟體

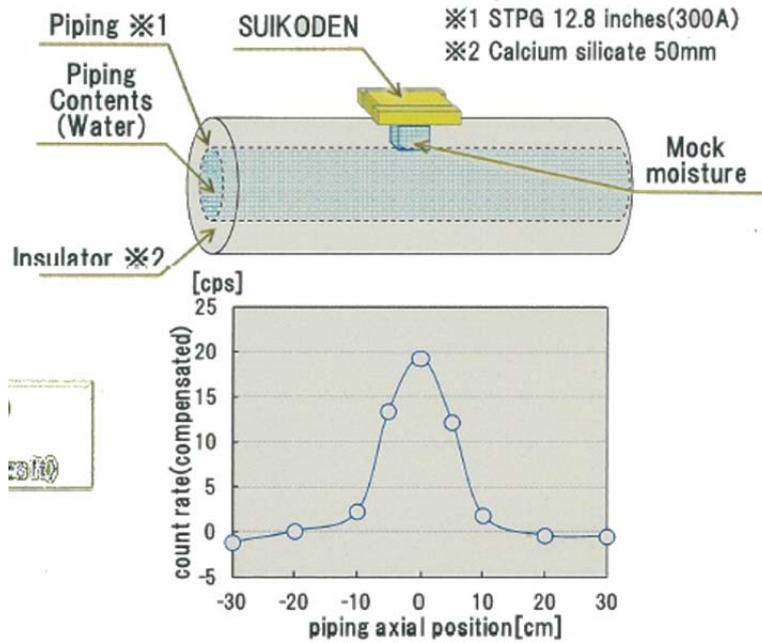
3.2.4 性能試驗

性能試驗主要以一模擬管路受潮之水分物(Mock Moisture)來測試此設備(SUIKODEN；此設備名稱)的檢測能力，另以當管路周遭有無其他水分雜訊的訊號(Noise Source)來分成兩組不同對照試驗如下述

3.2.4.1 無雜訊來源試驗

圖(十二)為此無雜訊來源試驗簡圖，由此試驗結果可得知

- 系統所偵測到的峰值計數率(Count Rate)與所偵測到的水分含量(Quantity)成正比
- 管路軸向位置離探頭愈遠，其峰值計數率愈低
- 可在管路運轉狀態下執行檢測工作

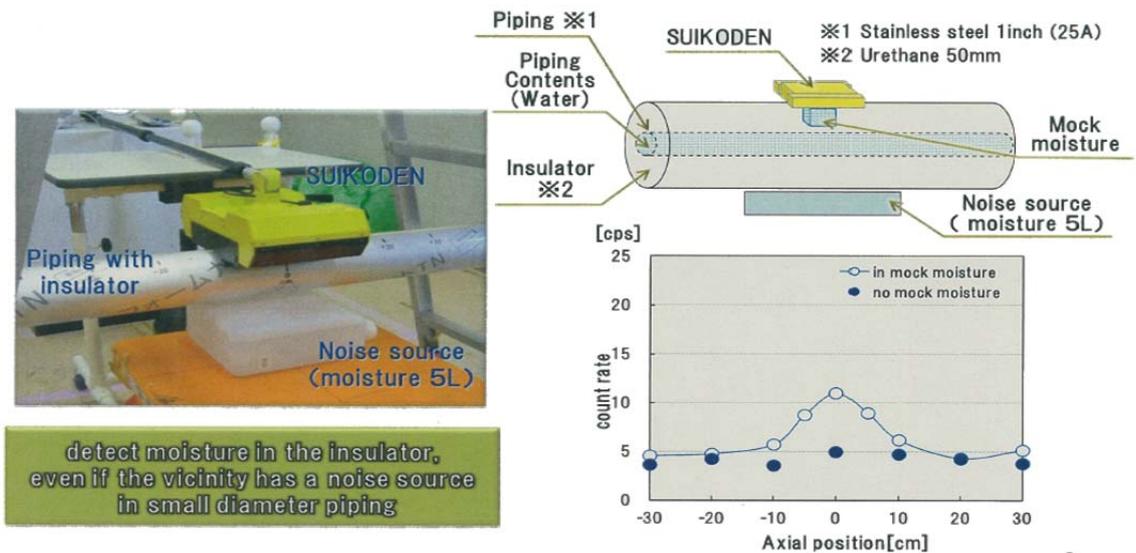


圖(十二)、無雜訊來源試驗示意圖

3.2.4.2 有雜訊來源試驗

圖(十三)為此無雜訊(Noise Source)來源試驗簡圖，由試驗結果可得以下結果

- 當管內有水分試件(Mock Moisture)時，系統所偵測到的峰值計數率仍然清晰可判別
- 當管內無水分試件(Mock Moisture)時，系統所偵測到的峰值計數率呈不規則性分佈，且皆低於 5(cps)，此時系統會將此訊號判定為雜訊



圖(十三)、有雜訊來源試驗示意圖

3.2.5 現場檢測實例

圖(十四)為水分子計實際應用於管路檢測實例。

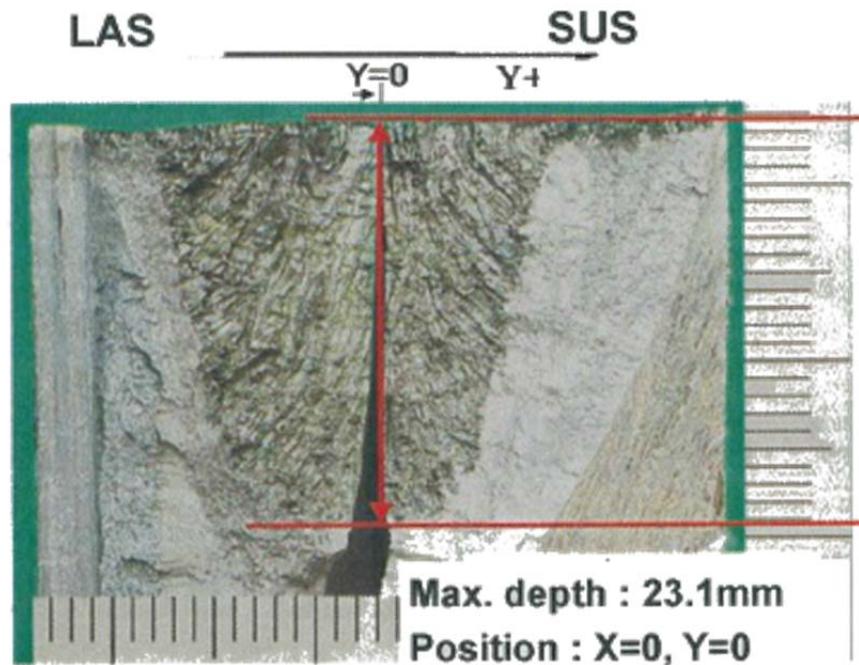
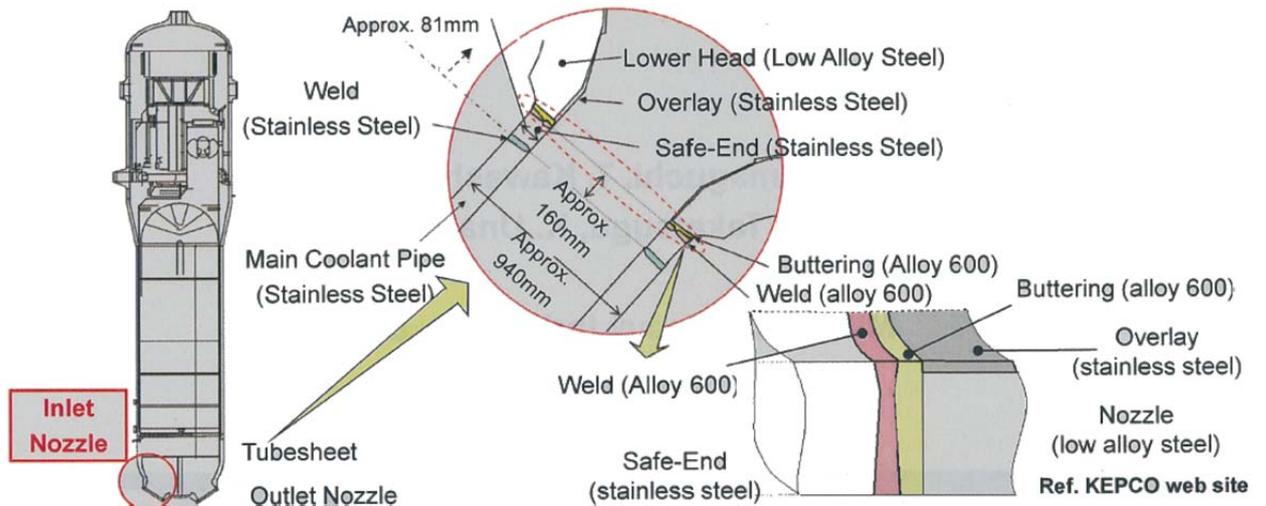


圖(十四)、為水分子現場檢測實例

3.3 蒸氣產生器先進陣列式超音波檢測技術

3.3.1 緣由

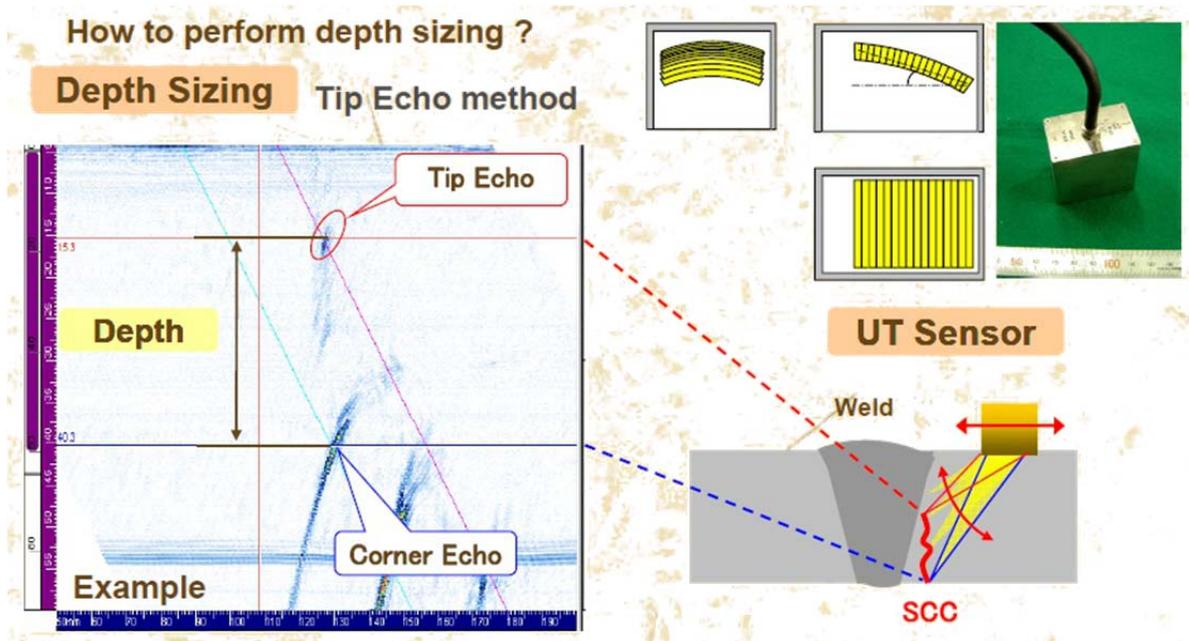
日本三菱重工(MHI)從事核能電廠蒸氣產生器檢測及反應爐底檢測技術多年，曾經發現蒸氣產生器冷卻入口噴嘴處之異相金屬合金接合處發生應力腐蝕裂痕(SCC)，此裂痕呈深窄型(Narrow Depth Shape)缺陷如圖(十五)，這類型的裂痕極易在短時間內造成組件的嚴重破壞，若能事先得知裂痕深度(Crack Depth)，將有助於評估組件是否需要整修或汰換，MHI使用陣列超音波檢測設備搭配尖端繞射(Tip Echo)檢測技術達到裂縫深度評估的目的。



圖(十五)、蒸氣產生器冷卻入口噴嘴處之異相金屬合金接合處深窄型缺陷

3.3.2 尖端繞射(Tip Echo)裂縫深度評估原理

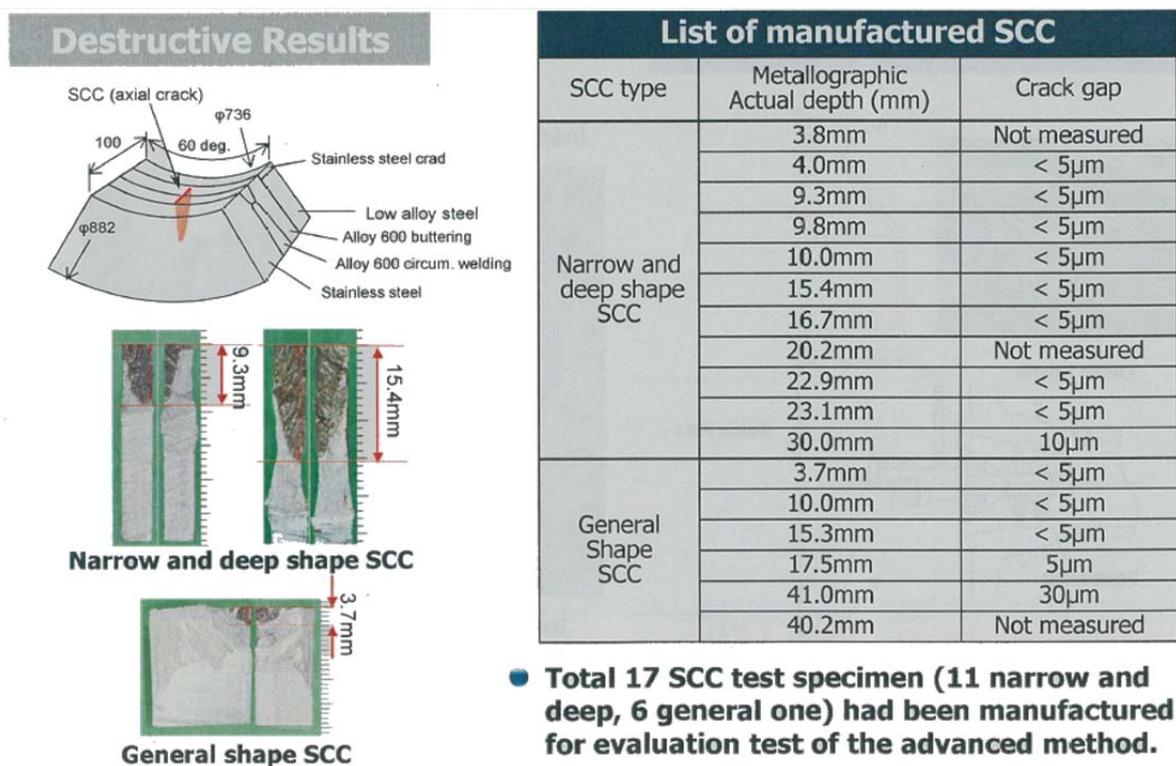
如圖(十六)為尖端繞射裂縫深度評估原理示意圖，使用斜束探頭量測裂縫深度時，當音波找到裂縫根部，其訊號強度最強，若將探頭繼續往前移動，則繞射波將逐漸增強，直到探頭音束中央正對著裂縫尖端時，尖端繞射回波達到最高，利用其音波路徑長度即可得知裂縫深度。



圖(十六)、尖端繞射裂縫深度評估原理示意圖

3.3.3 性能試驗

首先以人工製造的 17 塊不同缺陷形狀及深度的模擬裂縫瑕疵試塊 (Mock up) 如圖(十七)所示，再分成兩組使用不同檢測探頭的試驗作為對照，圖(十八)分別為傳統陣列式探頭與 MHI 所開發的陣列式探頭。



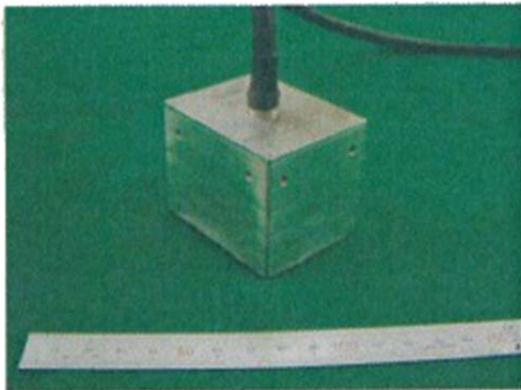
圖(十七)、裂縫瑕疵測試試塊(Mock up)

■ 傳統陣列式探頭



- Conventional TRL probe
- Specs: 3MHz-TR
- Apply to: All defect

■ MHI 所開發的陣列式探頭



- Matrix PA probe
- Specs: 2MHz-96ch
- Apply to: Middle to Deep crack



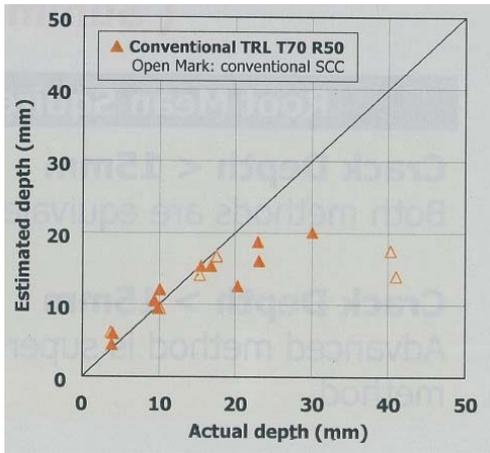
- Small type TRL PA probe
- Specs: 5MHz-40ch
- Apply to: Shallow crack

圖(十八)、傳統陣列式探頭與 MHI 所開發的陣列式探頭

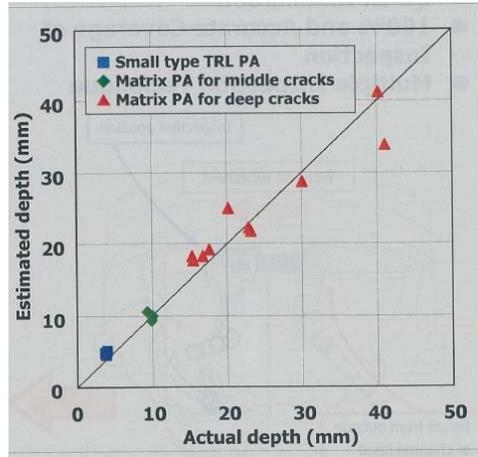
3.3.4 試驗結果

圖(十九)為試驗結果，得知傳統式探頭(TRL T70 R50)對於缺陷深度小於 15mm 時，其缺陷深度量測值接近實際值，但對於缺陷深度大於 15mm 時，其量測值則與實際值有較大的誤差，檢測中甚至有傳統探頭對於有些缺陷的尖端繞射回波無法找到的情形；反觀 MHI 探頭在深度 40mm 內的

缺陷深度量測值都與實際值接近，有較佳的深度評估檢測能力。



傳統式探頭



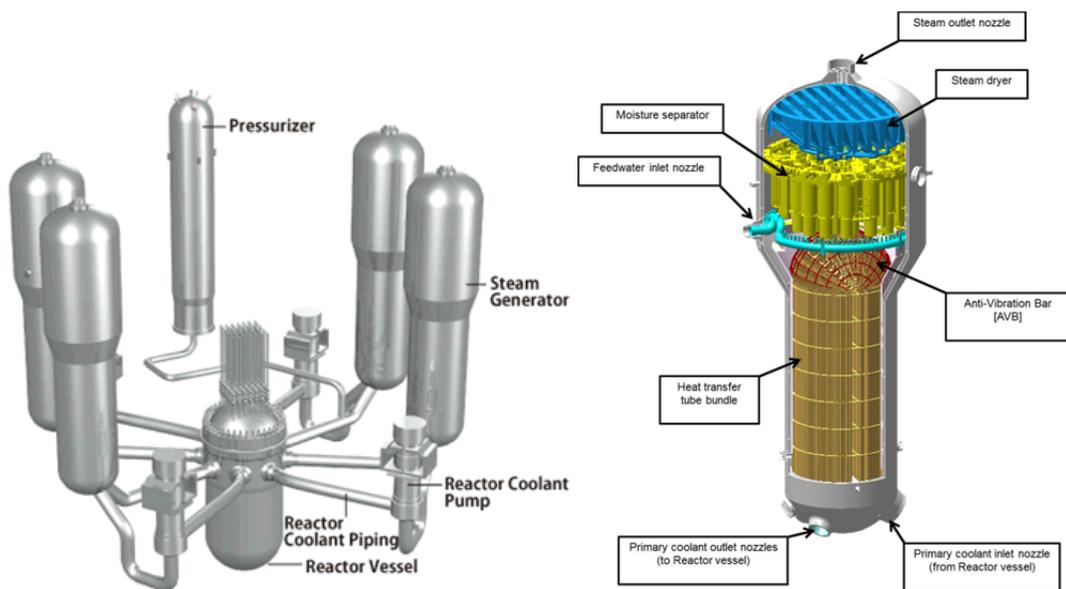
MH 陣列式探頭

圖(十九)、試驗結果

3.4 蒸氣產生器熱交換管路渦電流檢測技術

3.4.1 緣由

此次赴三菱重機 MHI(神戶)核能非破壞檢測中心(Nuclear NDE)參訪，該公司在壓水式核能廠(PWR)蒸汽產生器(Steam Generator)如圖(二十)的管路渦電流檢測具多年經驗並已成功應用在電廠的檢測，蒸汽產生器的管路不容許有破管洩漏事故發生，才能維持一次側壓力邊界的完整性，方能確保核能廠的安全運轉。

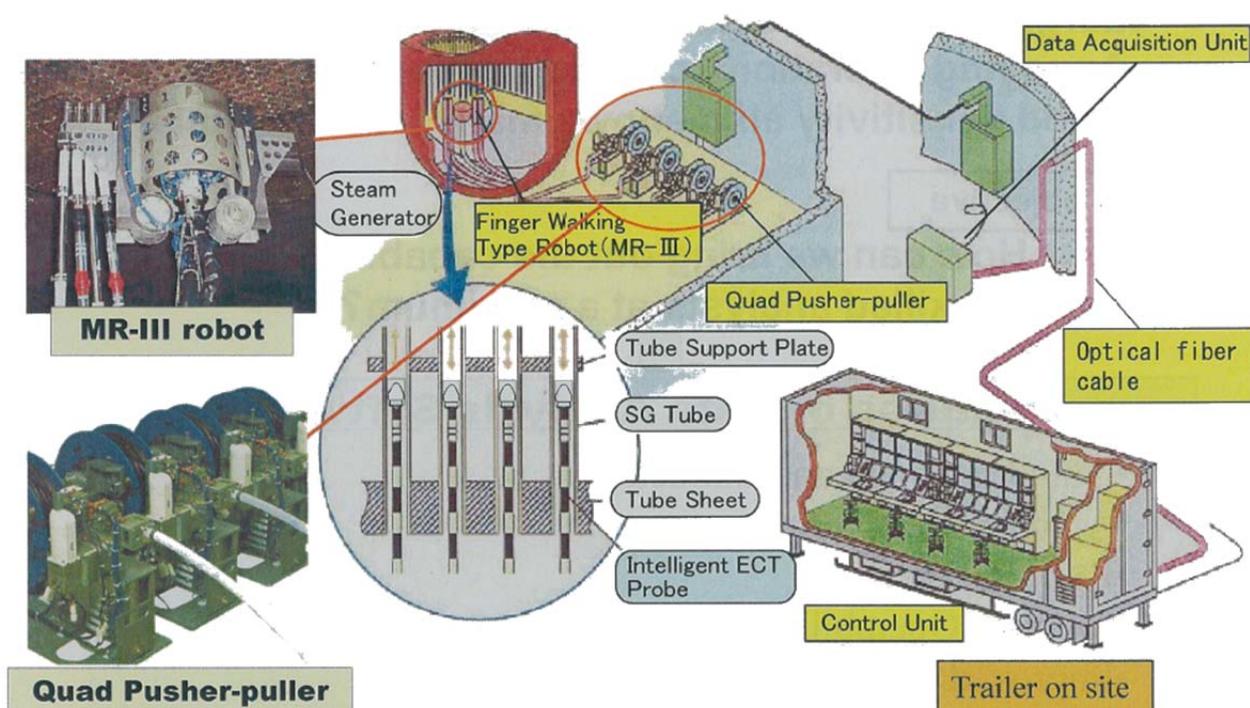


圖(二十)、壓水式核能廠蒸汽產生器

3.4.2 壓水式核能廠蒸氣產生器熱交換管路檢測

核能廠蒸氣產生器熱交換管路檢測以渦電流檢測為主(Eddy Current Test)，圖(二十一)為日本三菱公司(MHI)蒸氣產生器熱交換管路渦電流檢測現場示意圖，為避免檢測人員接受高劑量輻射污染，須採用遠端自動機械手臂選管及定位，另以自動傳送多頻渦電流探頭至管內接收管內訊號，最後將所收集的訊號資料送回研判中心，進一步分析管路狀況；其中所使用的檢測探頭為 MHI 自行開發的電子式旋轉探頭(Intelligent Probe)。

Fully Automated ECT System for local use in Japan



圖(二十一)、MHI 在壓水式核能廠蒸汽產生器管路渦電流的檢測示意圖

3.4.3 渦電流檢測技術原理

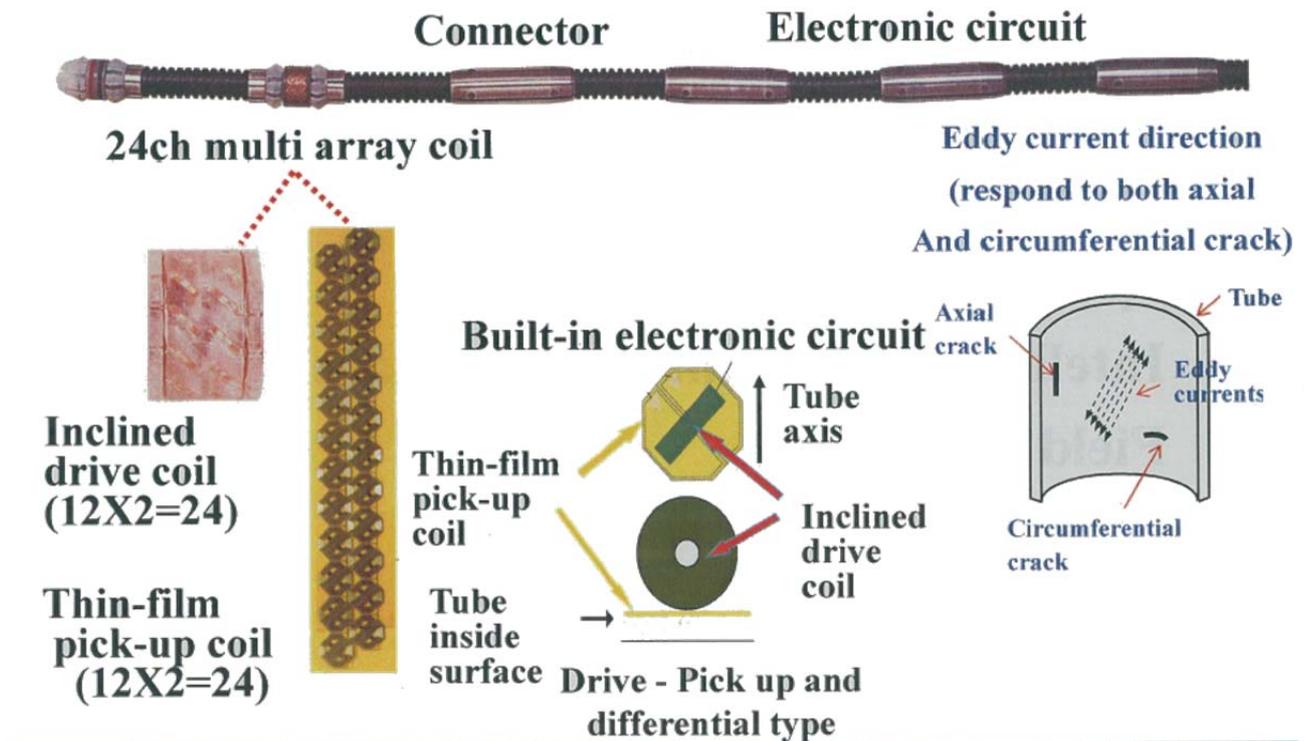
渦電流檢測法適用於檢測金屬導體。將載有交流電之激發線圈(Driver coil)接近金屬物體，使得金屬導體引發交變磁場，感應產生旋渦狀電流，稱為渦電流。然而感應電流之振幅及相位會隨導體特性(如導電率、導磁係數)差異而變化，這些渦電流亦感應交變磁場，以改變拾取線圈(pickup coil)之磁場；圖(二十二)為 MHI 電子式旋轉探頭(Intelligent Probe)，其具有 24 組激發線圈與 24 組使取線圈，並以 360 度圓周陣列方式環繞在探頭四周，透過電子開關以固定模式激發線圈，使產生與機械旋轉探頭相同功能，達到 3D

檢測的目的。

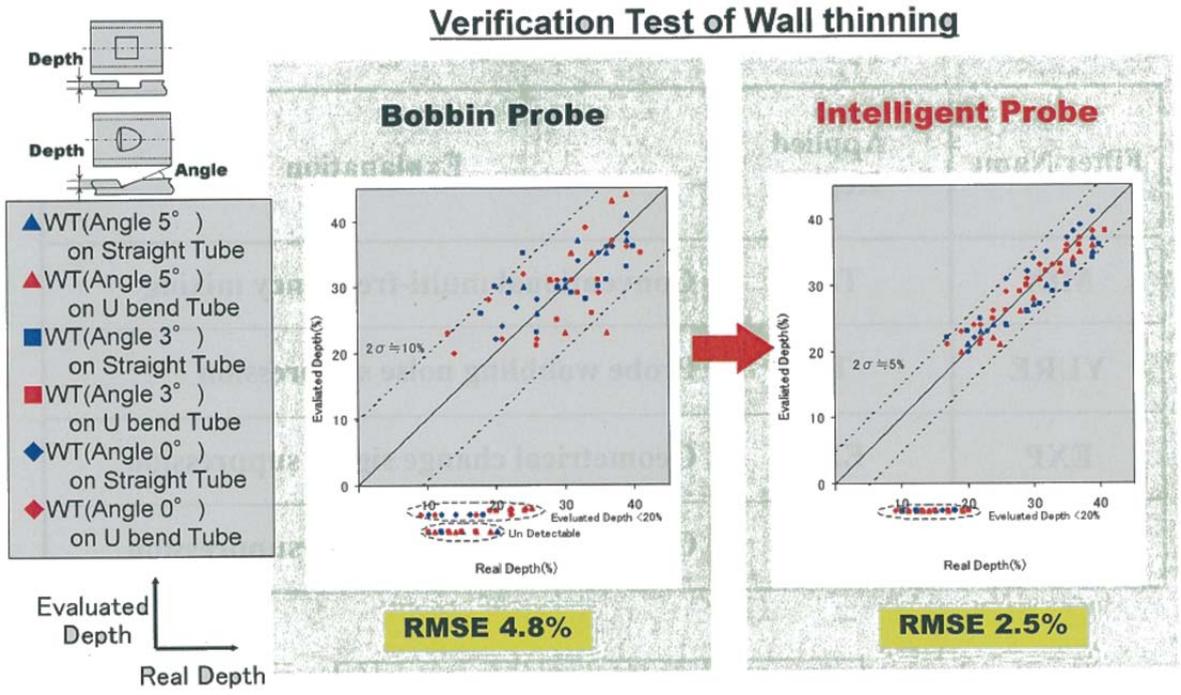
電子式旋轉探頭(Intelligent Probe)具備有以下優點:

- 高檢測速度及高檢測能力，如圖(二十三)為 Intelligent 探頭與 Bobbin 探頭比較，針對管路薄化檢測結果，Intelligent 探頭均方根誤差優於傳統 Bobbin 探頭，有較高的檢測準確度
- 斜式驅動線圈設計對於軸向或徑向缺陷都能有良好的檢測能力，如圖(二十四)
- 良好的訊號比(S/N Ratio)，如圖(二十五)

Probe Appearance

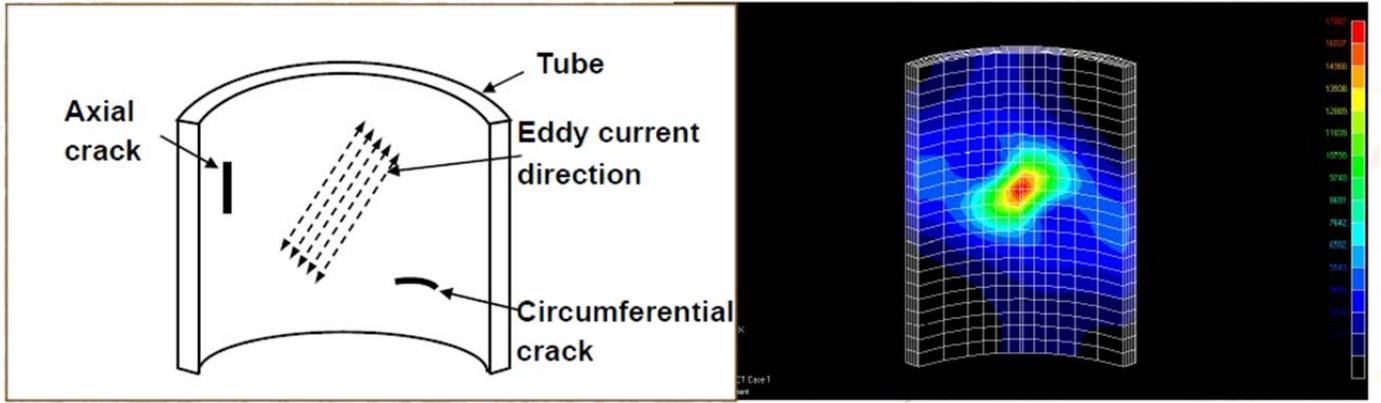


圖(二十二)、MHI 電子式旋轉探頭(Intelligent Probe)



圖(二十三)、Bobbin 探頭 vs Intelligent 探頭 檢測能力比較

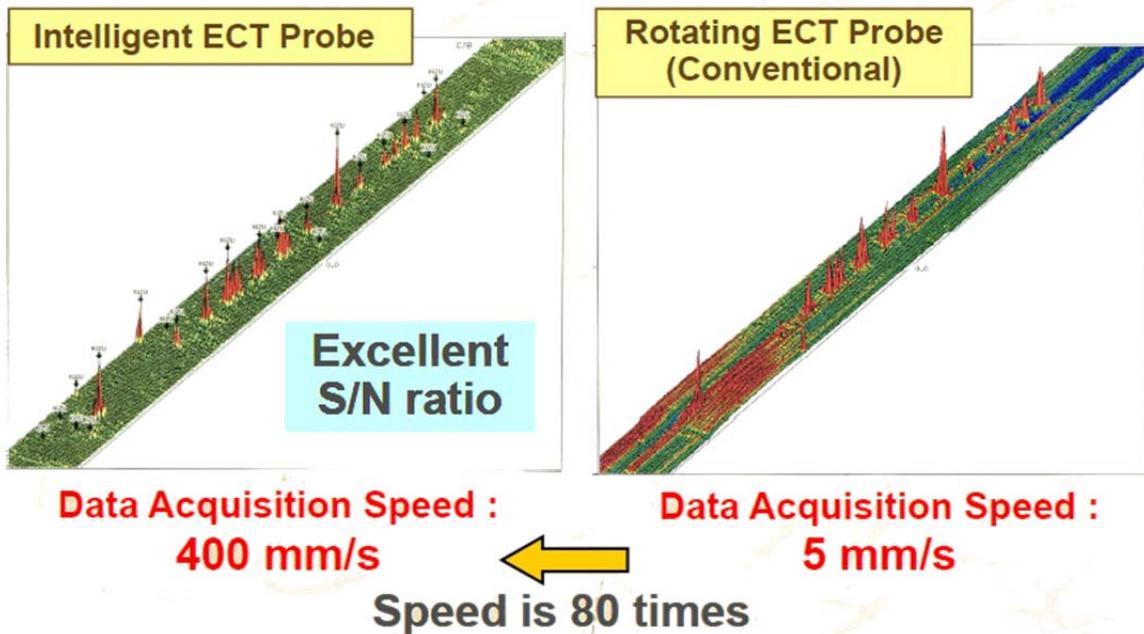
Eddy current by inclined drive coil



(a) Eddy current direction (b) Eddy current distribution by 3D numerical analysis

圖(二十四)、電子式旋轉探頭斜式驅動線圈設計

Comparison with Intelligent ECT Probe and Conventional Rotating ECT Probe

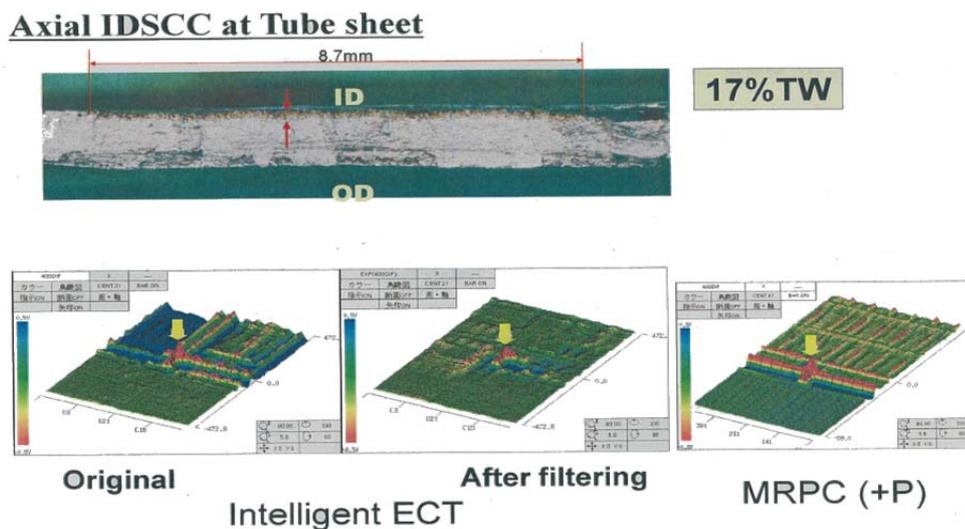


圖(二十五)、訊號比:電子式旋轉探頭 vs 傳統旋轉式探頭

3.4.4 性能測試結果

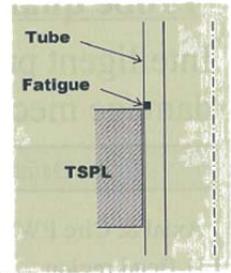
以下為兩組探頭分別為 MHI 電子式旋轉探頭(Intelligent Probe)與傳統式旋轉探頭(MRPC)針對管路特定區域或缺陷形式所做的測試結果做一比較，結果顯示這兩種探頭的檢測能力在伯仲之間，但 Intelligent 探頭除了在雜訊過濾能使真正的缺陷訊號清楚的呈現外，最重要的是其檢測速度遠優於傳統式旋轉探頭(MRPC)；以下為各種缺陷形式及位置的檢測結果比較：

■ Axial IDSCC at Tube Sheet

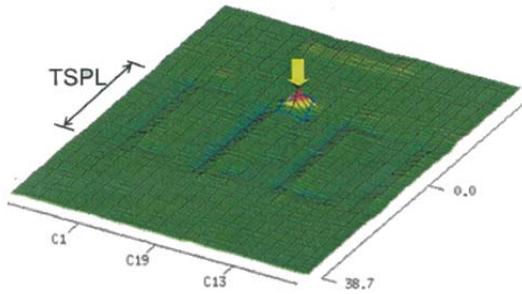


■ Circ. OD Fatigue Crack at TSPL

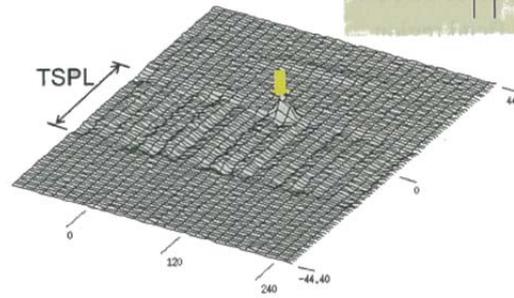
Circ. OD fatigue crack at TSPL



20% TW
Circ. Length 5 mm



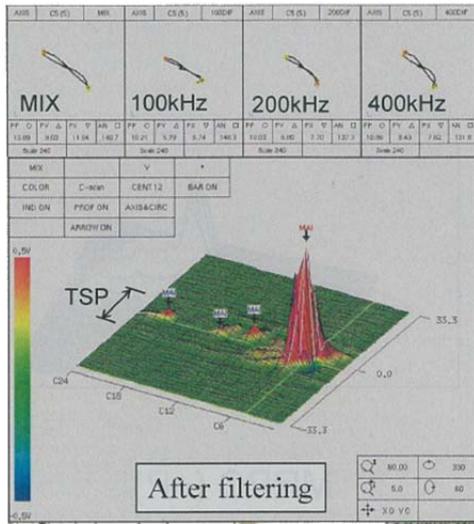
Intelligent ECT



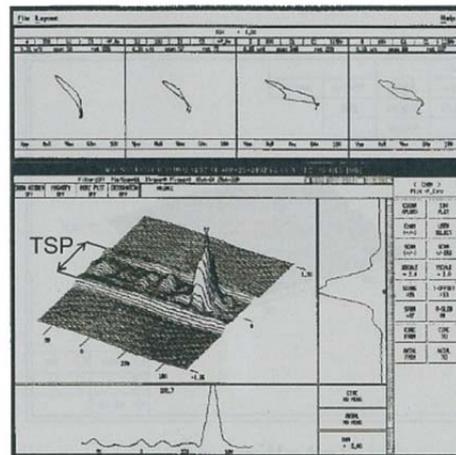
MRPC (+P)

■ ODSCC at TSPL

ODSCC at TSPL



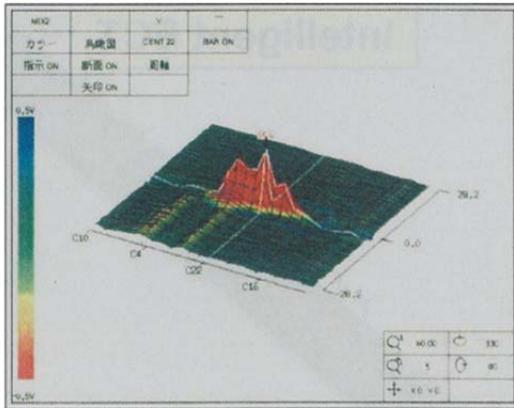
Intelligent ECT



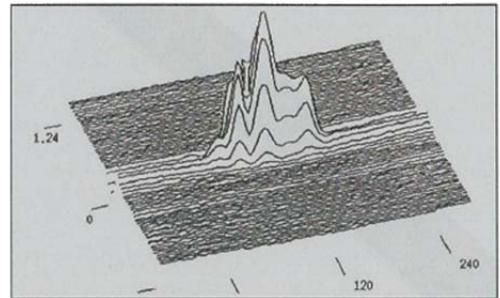
MRPC (+P)

- Circ. ODSCC at Top of Tube Sheet

Circ. ODSCC at Top of Tube sheet



Intelligent ECT



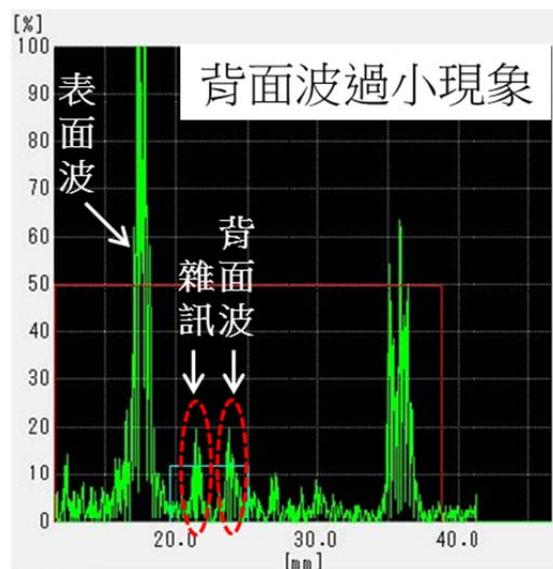
MRPC (+P)

四、實習心得

4.1. 多探頭管內超音波檢測技術

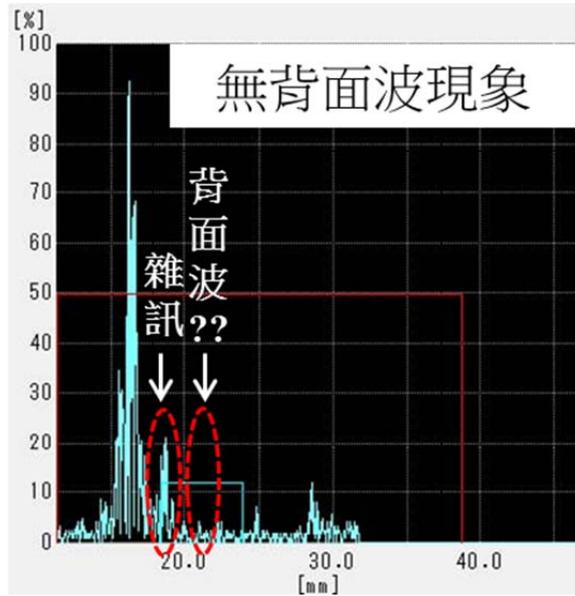
1. 雜訊或訊號衰減，造成缺陷判定不易，以下舉幾個例子說明：

- 因管排外表面狀態不佳而造成背面回波散亂、產生衰減現象，如圖(二十六)



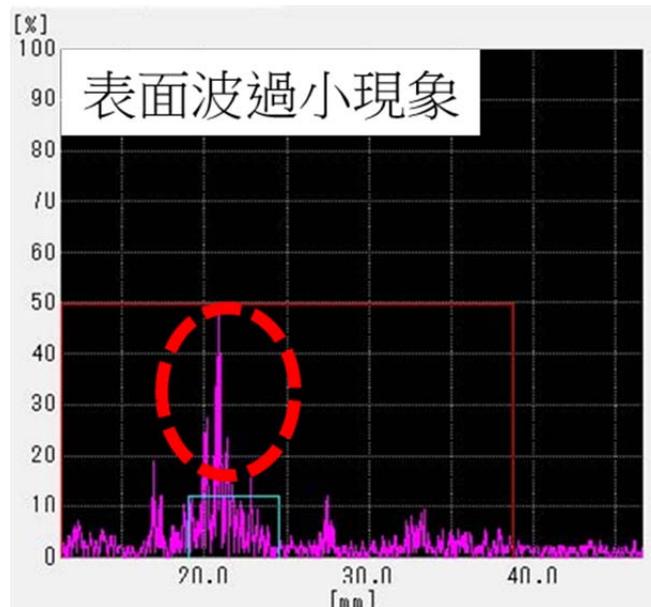
圖(二十六)、背面回波過小

- 由於某種原因使探頭在管內處於傾斜狀態、故回收到的超音波能量小，如圖(二十七)



圖(二十七)、無背面回波

- 由於某種原因使雜物（如：鐵粉、鐵屑、水污、氧化層氣泡等物）阻礙超音波的行進路線，如圖(二十八)



圖(二十八)、表面波過小

2. 多探頭管內超音波技術適合應用於連續彎管、鰭片式等管路檢測並可應用於電廠 HRSG 鍋爐爐管、熱交換器、給水加熱器、冷凝器等管路檢測

3. 目前在台灣已有實際應用經驗
4. 管路內鐵屑或其他雜質皆會影響檢測品質，故管路的前清潔處理程序很重要
5. 目前軟體設計只能針對管壁薄化作檢測，一般缺陷檢測需升級軟體
6. 若欲執行鍋爐省煤氣爐管的檢測，須將爐管管路的兩端先行切管，待檢測完畢後再行焊補接回

4.2. 中性子水分計技術

1. 一般 CUI 大都發生在管路底部，故一般只需檢測管路底部測即可
2. 包覆材質不受限
3. 設備操作簡單，不須校正
4. 天氣與潮濕環境因素對檢測精確度的影響待進一步確認

4.3. 蒸氣產生器先進陣列式超音波檢測技術應用

1. 經由 SG 的檢測結果得知異相金屬接合處的可能出現深窄型的應力腐蝕裂痕(SCC)缺陷，但其可能無法由一般探頭所能檢測出來，依情況需求可考慮使用 MHI 所開發的探頭來執行檢測
2. 裂痕深度(Depth)為工程師用來評估組件損壞程度及是否需要整修或更換新品的重要依據，而深度評估技術需要有適合的探頭及適量的檢驗規塊來配合

4.4. 蒸氣產生器熱交換管路渦電流檢測技術應用

1. MHI Intelligent 探頭可檢測小曲率半徑的彎管(U-Bend)，可評估此探頭應用在目前汽機加熱器(Heater)管路或其他類似設備檢測
2. 由 MHI Intelligent 探頭的檢測經驗，參考其管路可能發生的瑕疵種類及位置，可提供日後執行電廠大修的渦電流檢測參考依據
3. MHI Intelligent 探頭能同時達到高精確及快速檢測能力
4. 多管管路訊號同時取得自動設備可改善及提高目前單管或手動取得效率。

五、建議事項

1. 研習國外先進檢測技術、設備等，除了增長見聞外也才足以應付客戶端多樣的檢測需求，希望公司方面能持續支持。
2. 將所研習的新技術應用在目前的檢測工作上，應及早評估與規劃，例如經費的編列，協調相關單位方面的配合與支持等。

六、返國座談會簡報資料

返國座談會由主任召集及主持，人資課主辦，於 102 年 6 月 26 日上午 10 點舉辦，各技術部門主管及分隊長、工程師等熱烈參加、交流，座談會於 11:30 左右結束。