

出國報告（出國類別：實習）

# 陣列式即時超音波技術 應用於鍋爐管路銲道檢測

服務機關：台灣電力(股)公司

姓名職稱：蔡武哲 機械工程師

派赴國家：加拿大、美國

出國期間：104年06月04日 ~ 06月14日

報告日期：104年08月11日

## 出國報告審核表

出國報告名稱：陣列式即時超音波技術應用於鍋爐管路銲道檢測		
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
蔡武哲	機械工程師	台灣電力公司 / 電力修護處
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：104年06月04日至104年06月14日		報告繳交日期：104年08月11日
出國計畫主辦機關審核意見	■1.依限繳交出國報告 ■2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) ■3.無抄襲相關出國報告 ■4.內容充實完備. ■5.建議具參考價值 ■6.送本機關參考或研辦 ■7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正,原因: <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 ■9.本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表: ■辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。(7月16日已辦理) <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式:	

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報告人		審核人		單位 主管	主管處 主管	總經理 副總經理
-----	--	-----	--	----------	-----------	-------------

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：陣列式即時超音波技術應用於鍋爐管路銲道檢測

頁數 28 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：臺灣電力(股)公司/人資處 / (02)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

蔡武哲/電力修護處/品檢工場/機械工程師/(02)27853199 ext.154

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：104 年 06 月 04 日~ 104 年 06 月 14 日 出國地區：加拿大、美國

報告日期：104 年 08 月 11 日

分類號/目

關鍵詞：非破壞檢測、鍋爐、小管徑爐管銲道、插管套銲、陣列式超音波、PAUT

內容摘要：(二百至三百字)

本次出國目的為建立陣列式超音波檢測技術應用於鍋爐爐管銲道檢測，以陣列式超音波檢測取代銲道射線照相檢測為目標，彌補銲道 RT 的不足及改善實務上的不便性，並對檢測技術及設備進行了解。首先前往加拿大 Zetec、Olympus 公司研討與實習爐管銲道檢測技術及檢測設備，了解該項檢測技術的運用及經驗，以利後續推廣應用於公司鍋爐爐管的檢測，進而使鍋爐得以確保安全運轉，提升機組可用率。同時近來公司針對汽機轉子葉片根部檢測技術有需求，因此對於此項檢測技術也進行討論。最後在美國 IHI Southwest 公司，研習陣列式超音波技術應用於電廠組件檢測，目前發展多項的技術應用，不同的運用方式，拓展眼界，值得借鏡參考。

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

# 目 次

壹、公務出國行程 -----	3
貳、公務出國心得與感想 -----	3
一、目的-----	3
二、陣列式超音波檢測 (Phase Array Ultrasonic Test , PAUT) 技術簡介-----	3
三、PAUT 應用於管路檢測 - Olympus 公司-----	5
四、PAUT 應用於管路檢測 - Zetec 公司-----	13
五、PAUT 技術應用 - IHI Southwest 公司-----	21
六、綜合心得-----	26
參、對本公司之具體建議 -----	27
肆、出國期間所遭遇之困難與特殊事項 -----	28

## 壹、公務出國行程

日期	地點	工作內容
104 年 06 月 04、05 日	台北-加拿大、多倫多 - 魁北克	往程
104 年 06 月 06 ~08 日	魁北克、Zetec 公司	研習陣列式超音波技術 應用於鍋爐管路銲道檢測
104 年 06 月 09、10 日	魁北克、OLYMPUS 公司	研習陣列式超音波技術 應用於鍋爐管路銲道檢測
104 年 06 月 11、12 日	San Antonio、 IHI Southwest 公司	研習陣列式超音波技術 應用於火力電廠組件檢測
104 年 06 月 13、14 日	San Antonio - 洛杉磯 - 台北	返程

## 貳、過程公務出國心得與感想

### 一、目的

公司火力機組商轉營運後，鍋爐大修時會對爐管做必要的檢查，而採用 RT 檢測爐管及插管套銲時，有檢測的盲點，若能運用陣列式超音波檢測爐管銲道，將對此類管路銲道的維護非常有幫助。再者對於緊急破管事故檢測，可即時提供銲修品質，縮短停機處置之情形助益甚大。鍋爐爐管銲道檢測，國外漸以陣列式超音波檢測技術取代 RT 的趨勢，且 ASME 法規亦認可陣列式超音波的檢測模式。因此本次出國研習相關陣列式超音波檢測技術之應用。

以陣列式超音波檢測能取代銲道 RT 為目標，若能成功研習引進此一技術，推廣應用於公司鍋爐爐管的檢測，能彌補銲道 RT 檢測的不足及改善實務上的不便性，也可提供無銲道母材內表面沖腐蝕狀態，即早進行適當的處置，以減少破管事故，提高發電營運績效。

### 二、陣列式超音波檢測 (Phase Array Ultrasonic Test, PAUT)技術簡介

陣列式超音波技術主要是利用多個晶片組成換能器，依時間差分別激發個別

晶片 (圖 1)，使同一個換能器能產生一系列不同角度的音束進行掃描 (圖 2)，並在不同深度位置產生聚焦，藉由這些不同角度的音束，可控制的聚焦深度，完成被檢測物的檢測。有別於傳統超音波一次僅能產生單一角度、固定焦距深度的掃描模式，陣列式超音波檢測有不需更換換能器，即能產生多個角度的掃描優勢，提供了狹窄有限掃描平面之檢測解決方案。檢測掃描後經由儀器及軟體的運算，可以同時即時顯示 A-Scan、B-Scan (Side View)、C-Scan (Top View)、S-Scan (扇形掃描)，利用這些顯示組合成一個立體的形式，進而評估分析被測物體積內部情形 (圖 3)。

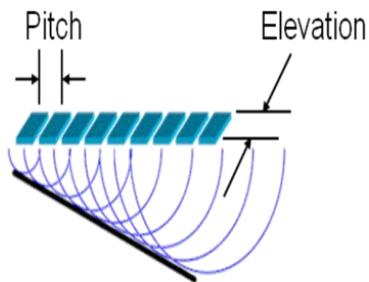


圖 1 依時間差分別激發個別晶片

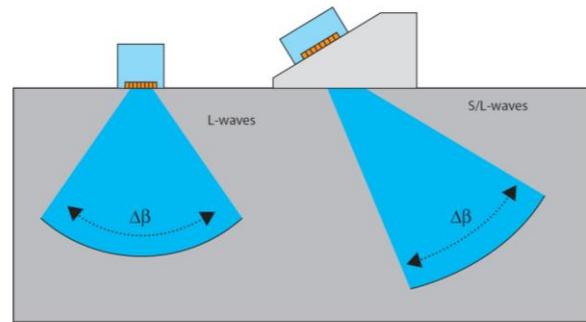


圖 2 不同角度的音束進行掃描

- A-Scan data is used to create volumetric images.

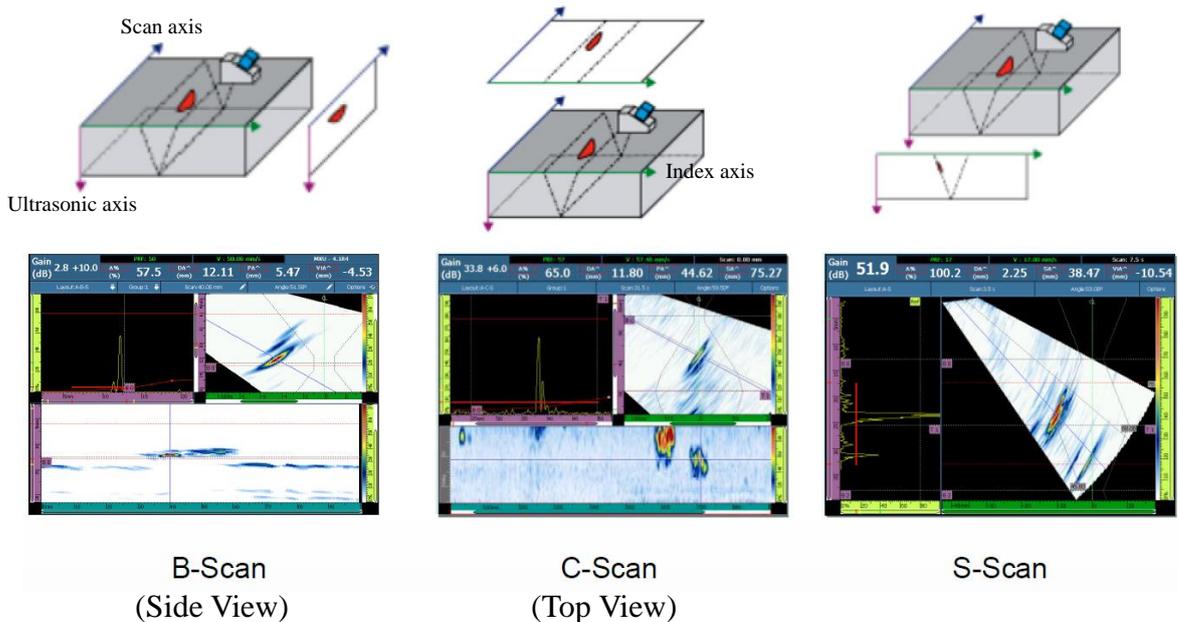


圖 3 各種掃描顯示

### 三、PAUT 應用於管路檢測 - Olympus 公司

#### (一) 小管徑銲道檢測

Olympus 公司針對小管徑爐管銲道，開發 COBRA 檢測系統(圖 4)，所使用的儀器為 OmniScan MX2 及掃描器，這套系統主要係針對外徑 21 mm ~ 114 mm (0.84 in. ~ 4.5 in.) 的爐管，可在管與管距 12 mm (0.5 in.) 之狹小空間中進行檢測 (圖 5)，配合彈性的扣具緊附於檢測爐管上，掃描器在爐管的周向上施以持續、穩定的壓力，可以產生穩定的 UT 信號，配合位址器 (Encoder) 可得到精確的掃描或瑕疵位置，利用 2 組換能器涵蓋整個檢測銲道，實施一次周向掃描 (360°) 可完成全周銲道的檢測模式。



OmniScan MX2 超音波檢測儀器



COBRA 掃描器

圖 4 COBRA 檢測系統

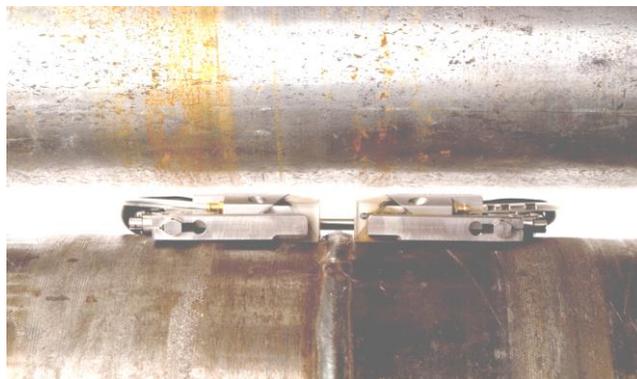


圖 5 在狹小空間內進行檢測情形

## 1. 檢測設備：

- OmniScan MX2 (超音波檢測儀，擁有 16:64 ~ 32:128 PR 驅動頻道等多種模組，可供選擇替換，便利的觸控螢幕操作)
- COBRA 掃描器 (Scanner，配合管徑，組立成所需的掃描器)
- 換能器 + 楔型塊 (配合管徑，不同曲率的楔型塊)
- 手動式水泵 (供給耦合劑 "水" 的輸送)

## 2. 檢測程序：

OmniScan MX2 超音波檢測儀，檢測前直接於儀器上操作，輸入相關參數 (圖 6)，或利用 NDT SetupBuilder 軟體在電腦上設定參數，可以設定被檢測工件的幾何形狀、定義銲道形式、換能器種類、楔型塊...等，並以 2D、3D 圖示直覺式的顯示於螢幕畫面上，容易由圖示了解整個設定是否涵蓋全厚度的銲道，減少實際檢測時的錯誤。設定完成後，可以將參數匯出，然後再將參數導入於 OmniScan MX2 上執行實際掃描檢測 (圖 7)。



觸控螢幕上設定參數

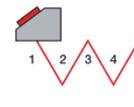
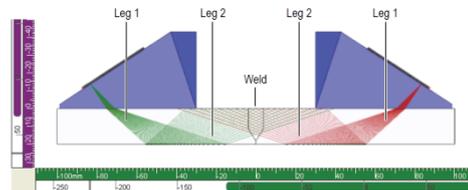


Figure 10-28 Legs



音束路徑以 2D 圖示顯示

圖 6 儀器上直接輸入相關參數

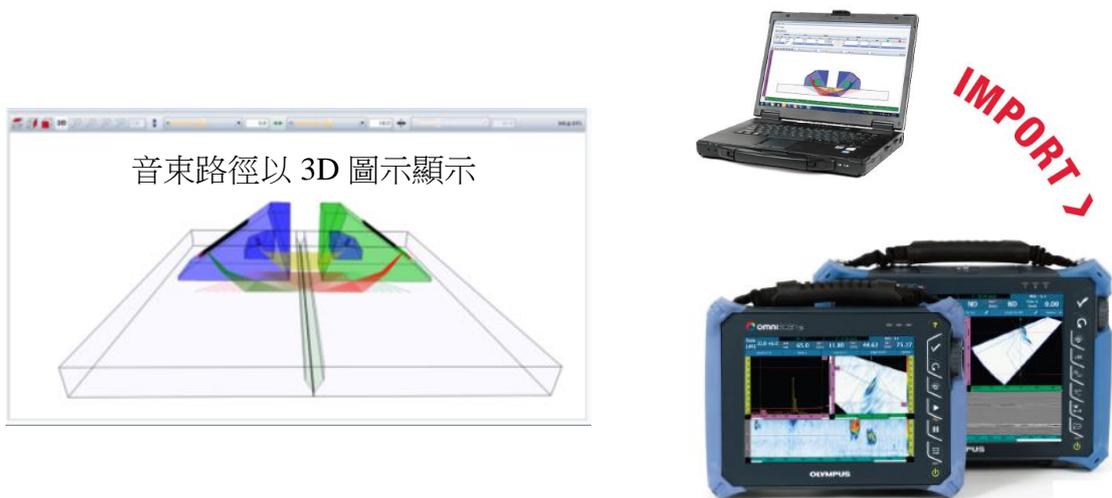


圖 7 參數匯出至 OmniScan MX2

Scanner 組立方式，依據爐管尺寸選擇相對的管徑尺寸零件，放置於治具上加以組立（圖 8），校正後即可進行檢測。

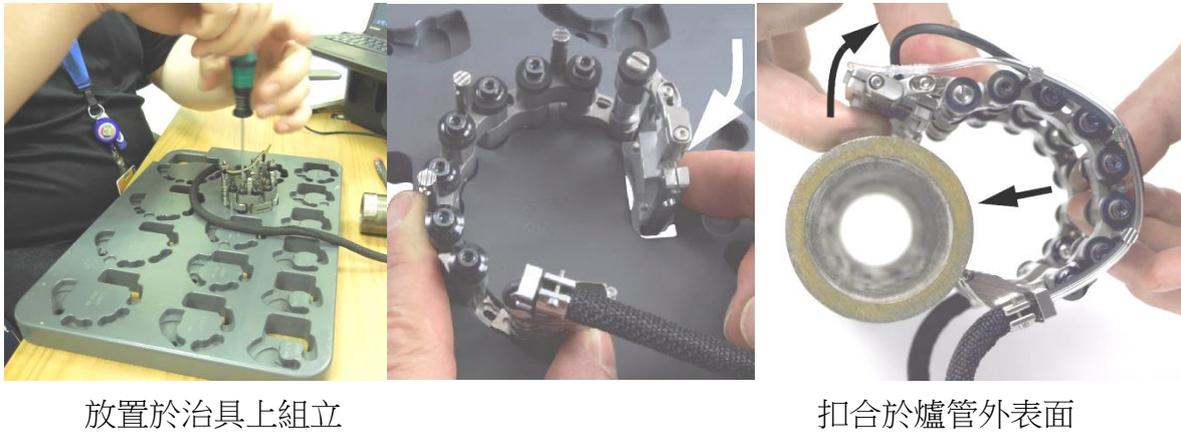


圖 8 Scanner 組立情形

檢測時可以於螢幕上即時顯示，檢測後可以於 OmniScan MX2 上即時分析，並輸出檢測報告或將檢測資料傳輸至 OmniPC (標準分析軟體) / TomoView 2.1 (進階分析軟體)，進一步進行分析及檢測報告製作（圖 9）。



圖 9 分析及檢測報告製作流程

### 3. 功能驗證：

利用 OD 70 mm (2.75 in.) 爐管，外表面有 1 處人工瑕疵，尺寸為 6.9 mm × 0.5 mm，使用 COBRA 系統進行量測，選用符合外徑尺寸的楔型塊及聚焦功能換能器，量測瑕疵長度為 7.1 mm (降 6dB 法)，與實際值 (6.9 mm) 相差甚小(圖 10)。

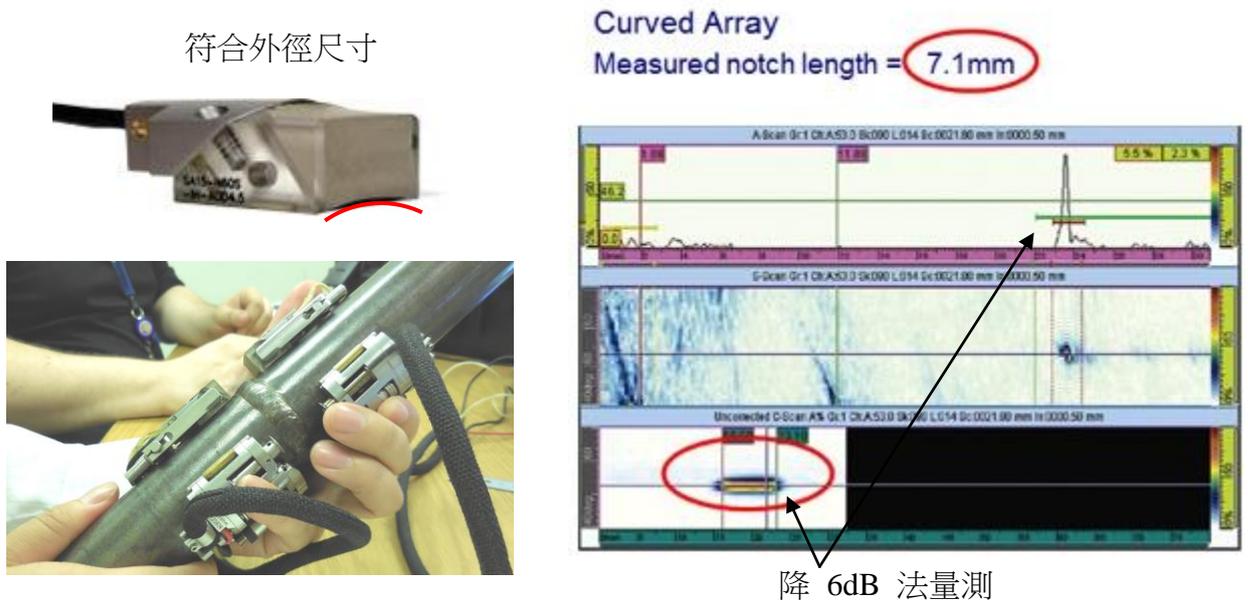


圖 10 功能驗證

### 4. PAUT 與 RT 比較

以 PAUT 取代 RT 驗證，利用 3 支 OD 44.5 mm × t 5 mm 爐管，爐管上有 1 處銲道 (V 形開槽銲)，3 支爐管銲道上分別各有 2 處人工瑕疵，進行檢測。PAUT 設定使用 7.5 MHz 16 element 換能器，扇形掃描設定由 50° to 70° SW (圖 11)，評估時由 B-Scan、C-Scan 及 S-Scan 進行信號評估。檢測結果如表 1、圖 12 ~ 圖 14。

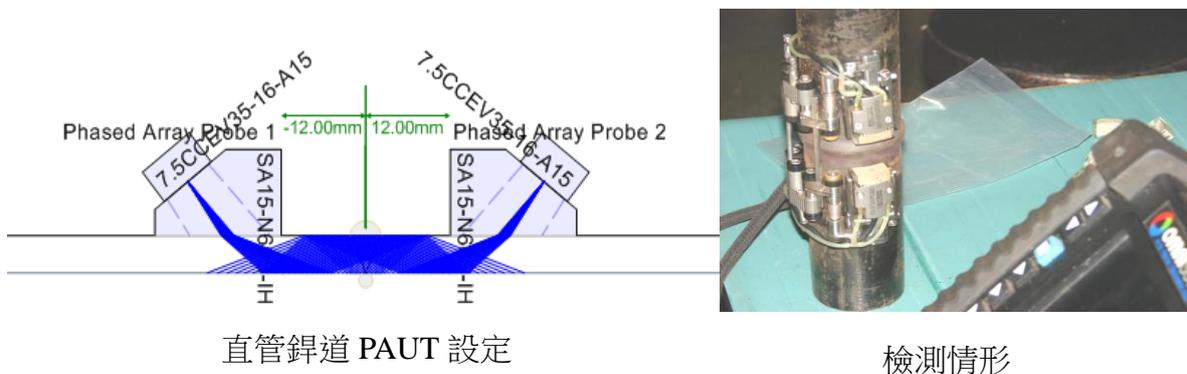
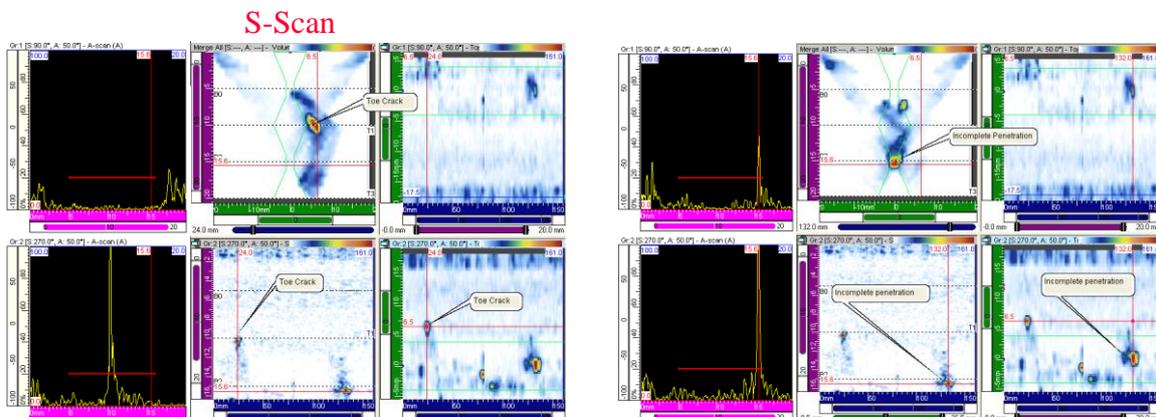
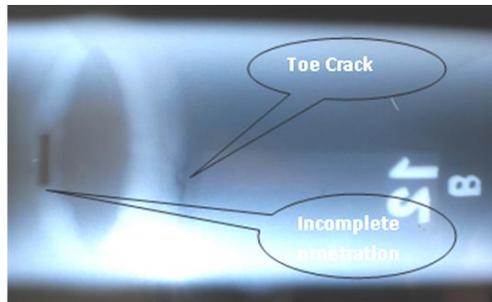


圖 11 扇形掃描設定

表 1 檢測結果比較

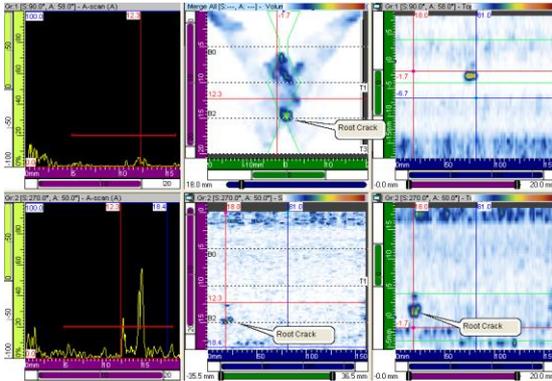
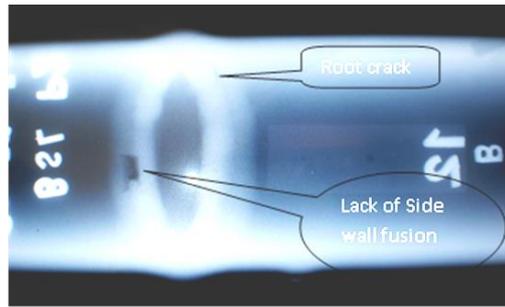
爐管	銲道瑕疵種類 (Description of the defect)	PAUT	RT
#1	銲趾裂痕 (Toe Crack)	有檢出	有檢出
	不完全熔透 (Incomplete Penetration)	有檢出	有檢出
#2	根部裂痕 (Root Crack)	有檢出	有檢出
	不完全熔合 (Lack of Fusion, IF)	有檢出	有檢出
#3	氣孔 (Porosity)	有檢出	有檢出
	群集氣孔 (Cluster porosities)	有檢出	有檢出



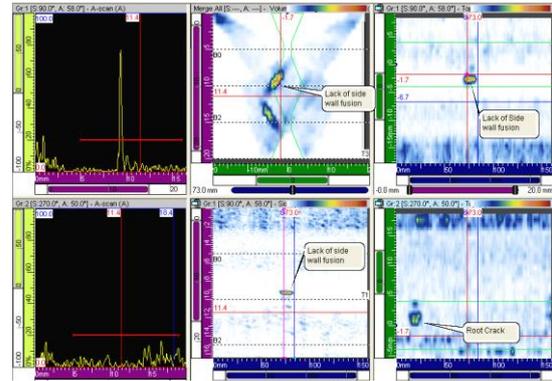
銲趾裂痕 (Toe Crack)

不完全熔透 (Incomplete Penetration)

圖 12 #1 爐管檢測結果 (RT、PAUT)

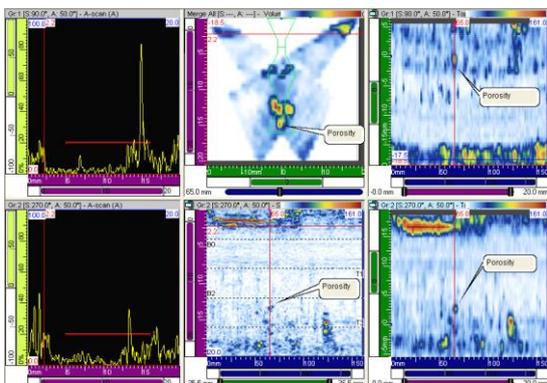
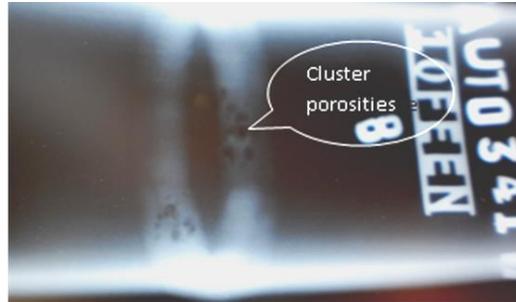


根部裂痕 (Root Crack)

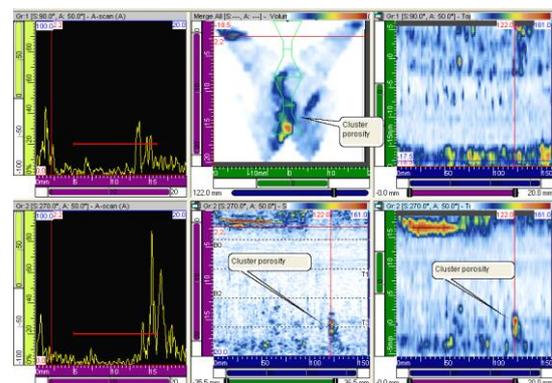


不完全熔合 (Lack of Fusion)

圖 13 #2 爐管檢測結果 (RT、PAUT)



氣孔 (Porosity)



群集氣孔 (Cluster porosities)

圖 14 #3 爐管檢測結果 (RT、PAUT)

檢測結果顯示，各類瑕疵皆能被檢出，並與 RT 確認比較，尺寸量測誤差不超過 1 mm。因此針對小直徑直管銲道檢測，PAUT 是可以取代 RT 進行全體積檢測。

## (二) 小管徑插管套銲 (Socket) 檢測

COBRA 系統針對插管套銲檢測，可以只使用換能器組合在單側掃描器 (圖 15)，進行插管套銲掃描檢測。



模擬掃描情形



單側掃描器及換能器

圖 15 小管徑插管套銲檢測

檢測功能驗證，取一段插管套銲試驗規塊，在銲道內有一處焊接不良區域 (圖 16)，運用 PAUT 技術，由 B-Scan 畫面很清楚分辨不良區域 (圖 17)。

Good



Bad

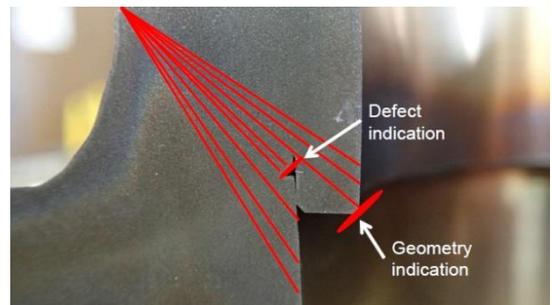
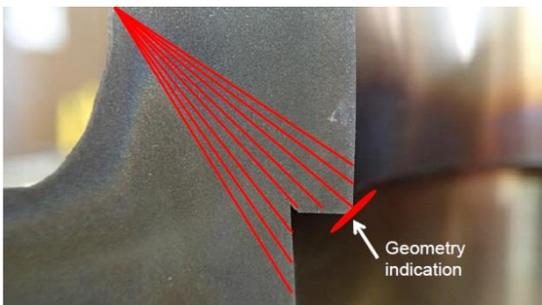


圖 16 試驗規塊檢測驗證

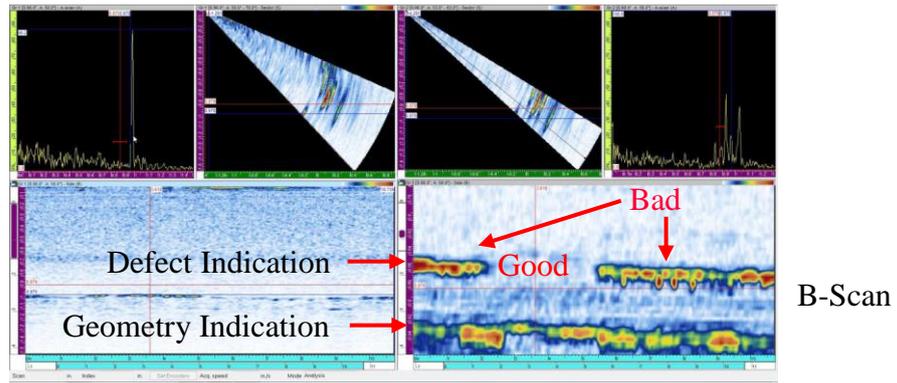


圖 17 PAUT 檢測結果

### (三) 腐蝕檢測運用

檢測技術為運用雙晶線性陣列換能器 (Dual Linear Array Probe)，由兩組晶片所組成 (一組發射和一組接收，Pitch-Catch，圖 18)，其特色是兩組晶片被分別安裝在以一定角度分開的延遲塊的兩部分上避免死區，並產生特定聚焦範圍進行檢測，提供更好的近表面解析度 (可檢出最小距表面 1mm 瑕疵)，更可以提高關鍵性壁厚減薄的檢出率，如 pitting、creep、corrosion...等；且換能器兩側有可調整高度配合管徑的快速調節裝置，能使換能器與曲面接合在一起，配合軟體設定，可以即時顯示檢測結果 (圖 19)，可以搭配具有定位功能的位址器；檢測範圍適用於直徑 4 in. 以上管件或平板。

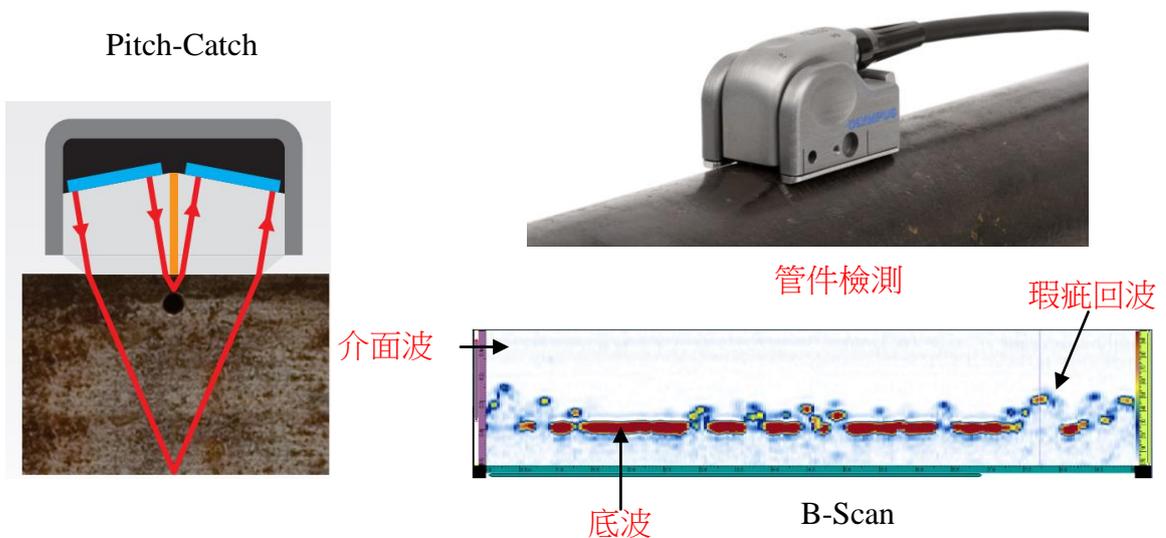


圖 18 雙晶線性陣列換能器

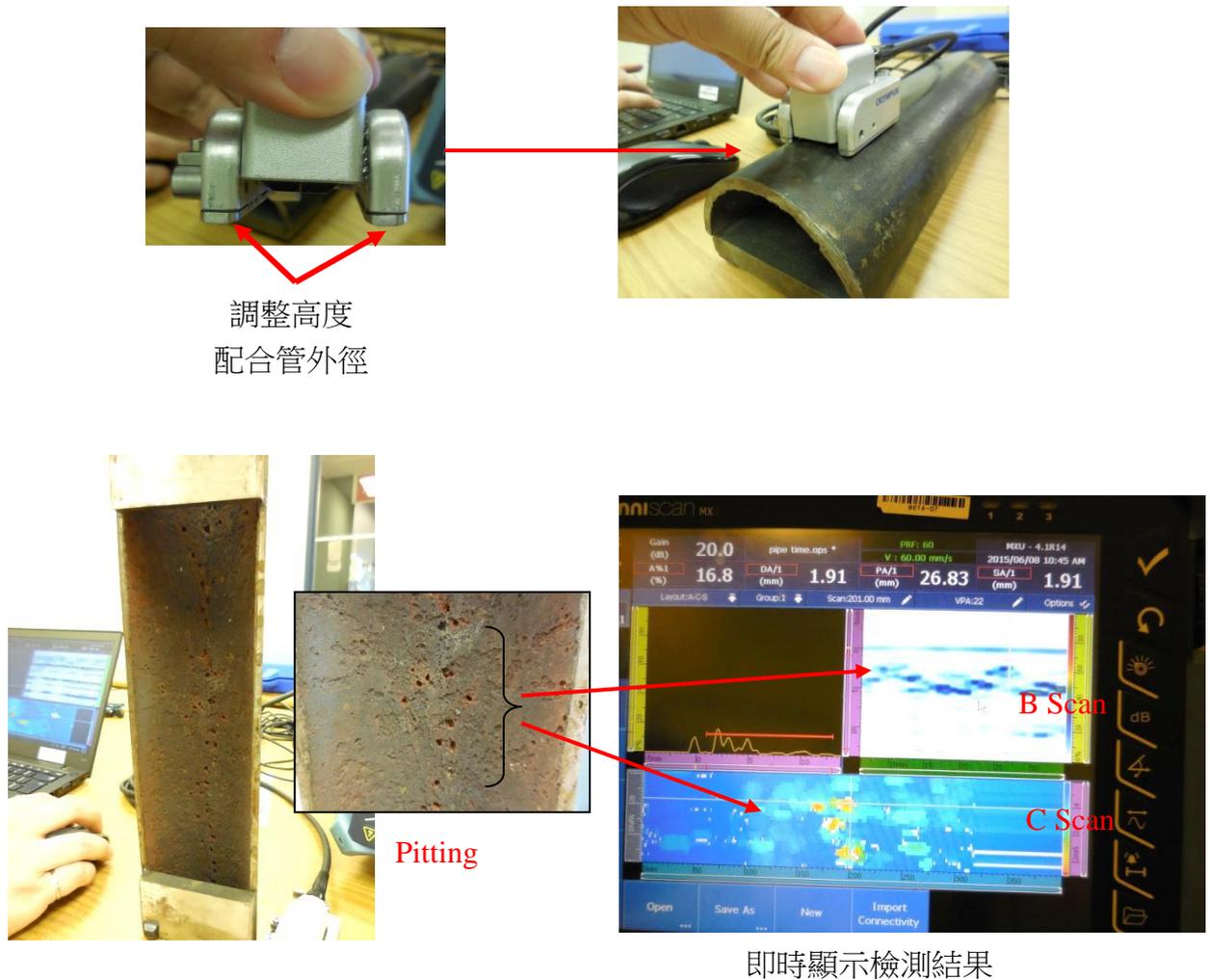


圖 19 試驗規塊檢測情形

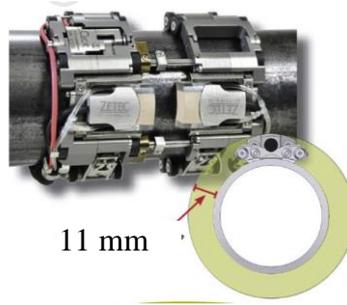
#### 四、PAUT 應用於管路檢測 - Zetec 公司

##### (一) 小管徑銲道檢測

Zetec 公司針對小管徑爐管銲道開發 Circ-it 檢測系統，所使用的超音波檢測儀器為 TOPAZ 及掃描器，這套系統主要針對外徑 21 mm ~ 114 mm (0.84 in. ~ 4.5 in.) 的爐管，可在管與管間距 11 mm (0.433 in.) 狹小空間中進行檢測，配合彈性的扣具拼接組裝掃描器，並緊附於被檢測爐管上 (圖 20)，使換能器與爐管穩定的接觸並產生 UT 信號，配合位址器可得到精確的位置，使用 2 組換能器涵蓋整個檢測銲道，因此一次周向 (360°) 掃描完成全部銲道的檢測模式。



TOPAZ 超音波檢測儀器

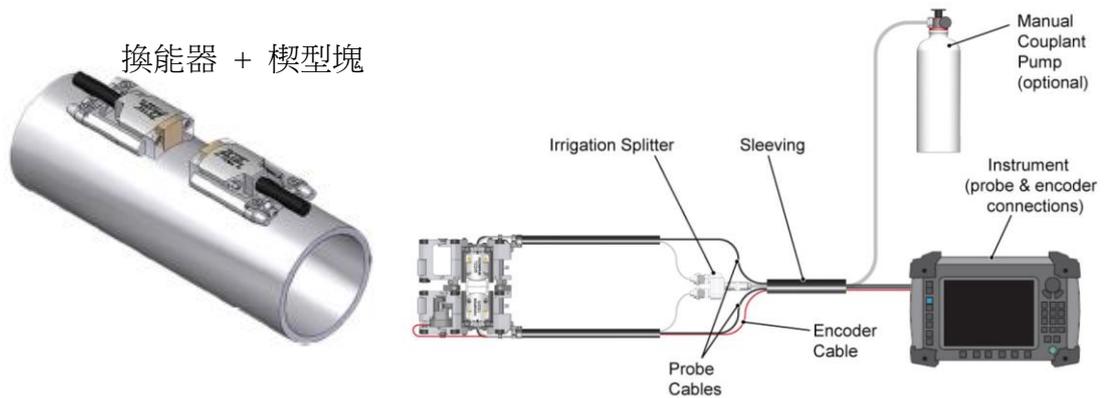


狹小空間內進行檢測

圖 20 小管徑銲道檢測

1. 檢測設備：

- TOPAZ (超音波檢測儀器，擁有 32/128PR 驅動頻道，觸控螢幕操作便利)
- Circ-it 掃描器 (Scanner，配合管徑，組合所需掃描器)
- 換能器 + 楔型塊 (配合管徑，不同曲率的楔型塊)
- 手動式水泵 (供給耦合劑 "水" 的輸送)
- 系統組合如圖 21

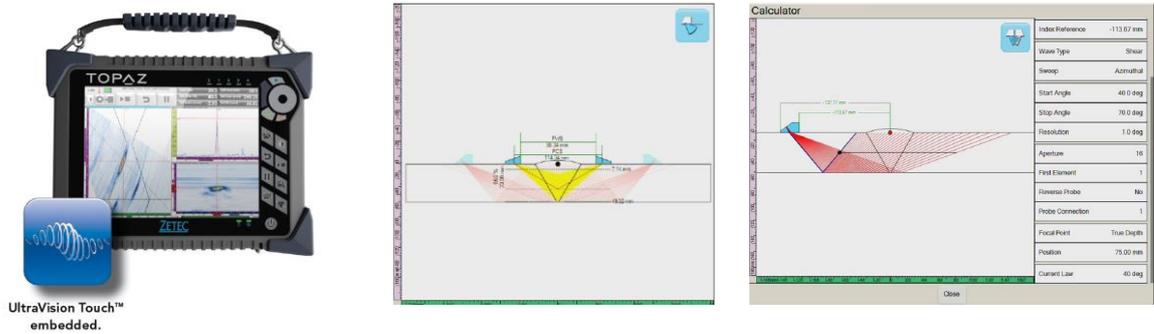


Circ-it 檢測系統

圖 21 系統組合

## 2. 檢測步驟：

TOPAZ 超音波檢測儀器，檢測前直接於儀器觸碰面板上操作，設定幾何形狀，並定義鐳道形式、換能器種類、楔型塊等相關參數（圖 22），將這些參數儲存，並製作成檢測計劃（Scan Plan）包含檢測參數與掃描範圍設定，後續檢測可以使用。



藉由儀器觸碰面板  
進行相關參數設定

設定相關參數並儲存成 Scan Plan

圖 22 儀器面板上操作設定參數

Scanner 組立方式，依檢測管徑調整 Scanner 節數及扣具，使其符合被檢測爐管的外徑（圖 23），即可進行掃描檢測。

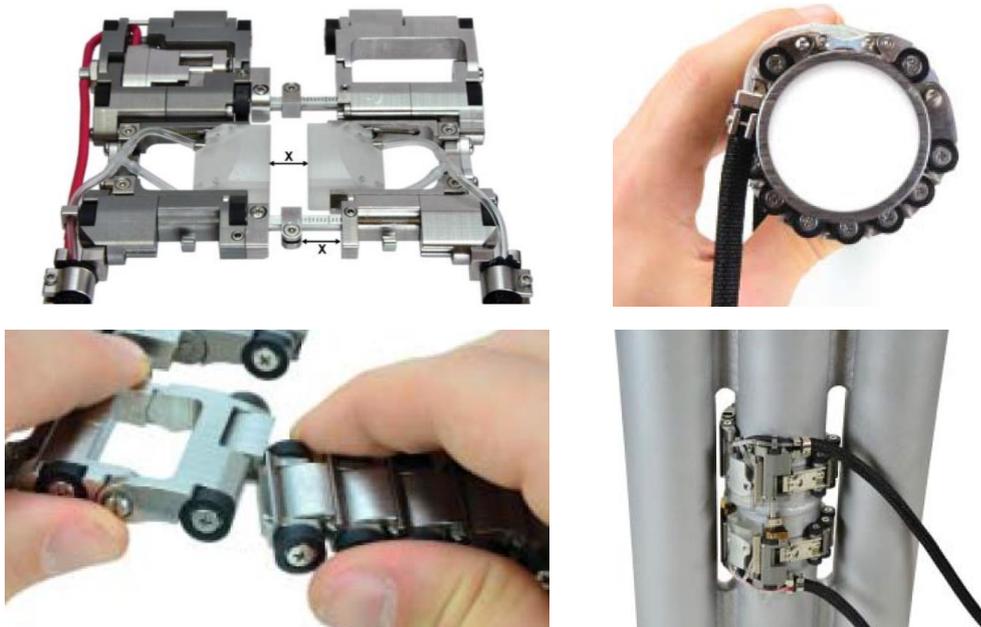


圖 23 Scanner 組立

檢測時可以產生即時顯示於螢幕上，並直接儲存於主機內，檢測後可自面板上觸控分析評估，或使用 UltraVision 3.0 (軟體)分析評估，並利用報告製作功能，及預設報告檔案相關表頭格式，將瑕疵位置標示於圖形上，輸出成報告檔 (圖 24)。

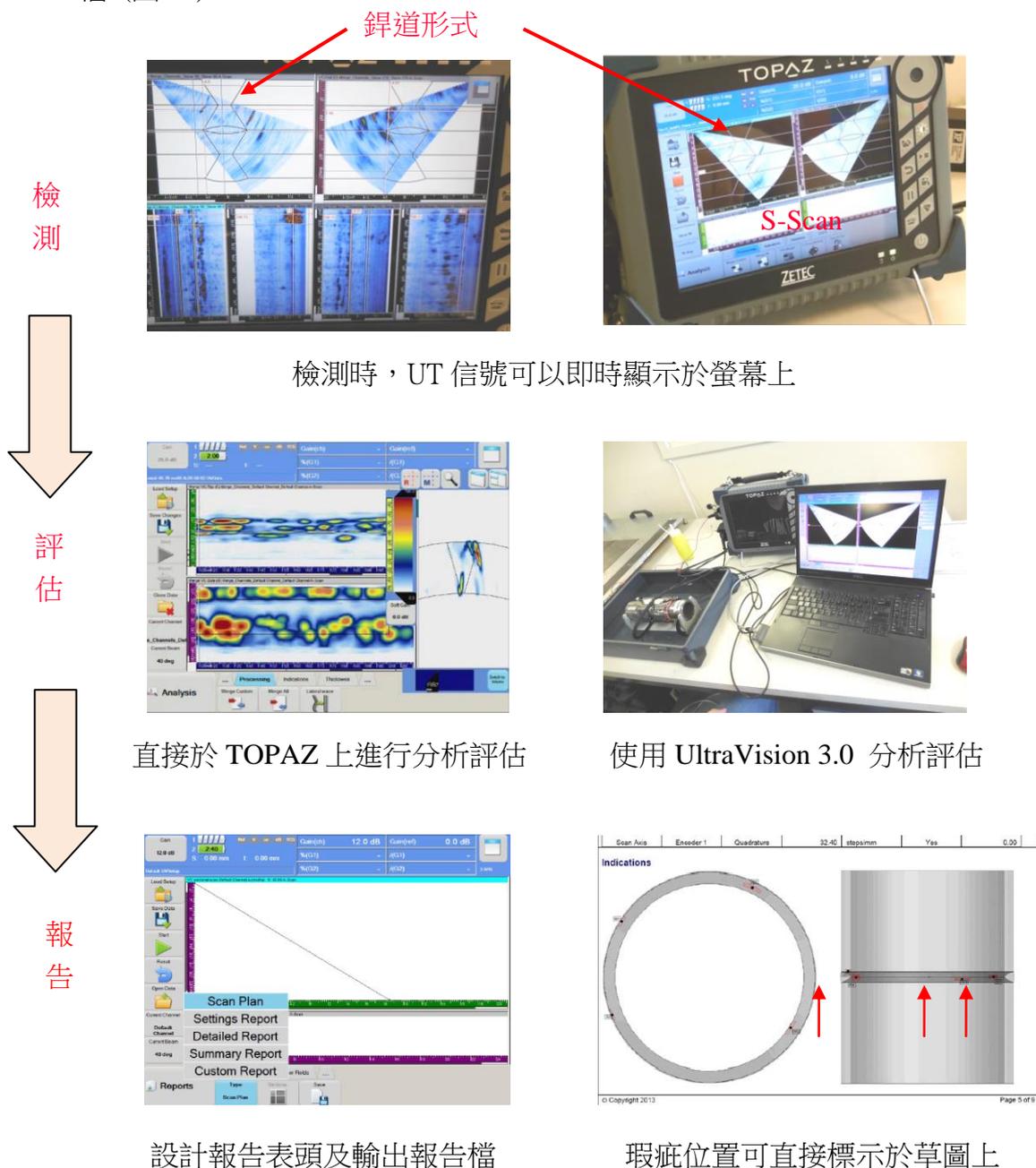


圖 24 檢測步驟

### 3. PAUT 與 RT 比較

直管銲道檢測驗證，使用 PAUT 與 RT，評估直管銲道上的人工瑕疵 (圖 25)。

- PAUT 可以檢出所有瑕疵，尤其是平面狀瑕疵，如根部熔合不良 (lack of root fusion)、根部熔透不足 (lack of root penetration)、

鐸趾裂痕 (toe crack) 、根部裂痕 (root crack) 。

- RT 針對體積型瑕疵可以清楚的顯示，如  
氣孔 (porosity)、夾渣 (inclusion) 、蟲孔 (wormhole) 。
- $T > 7 \text{ mm}$  的爐管，PAUT 可以檢出所有瑕疵。
- $T < 7 \text{ mm}$  的爐管，PAUT 針對體積型瑕疵的檢測，需要注意表面狀況、Wedge、頻率的選用。

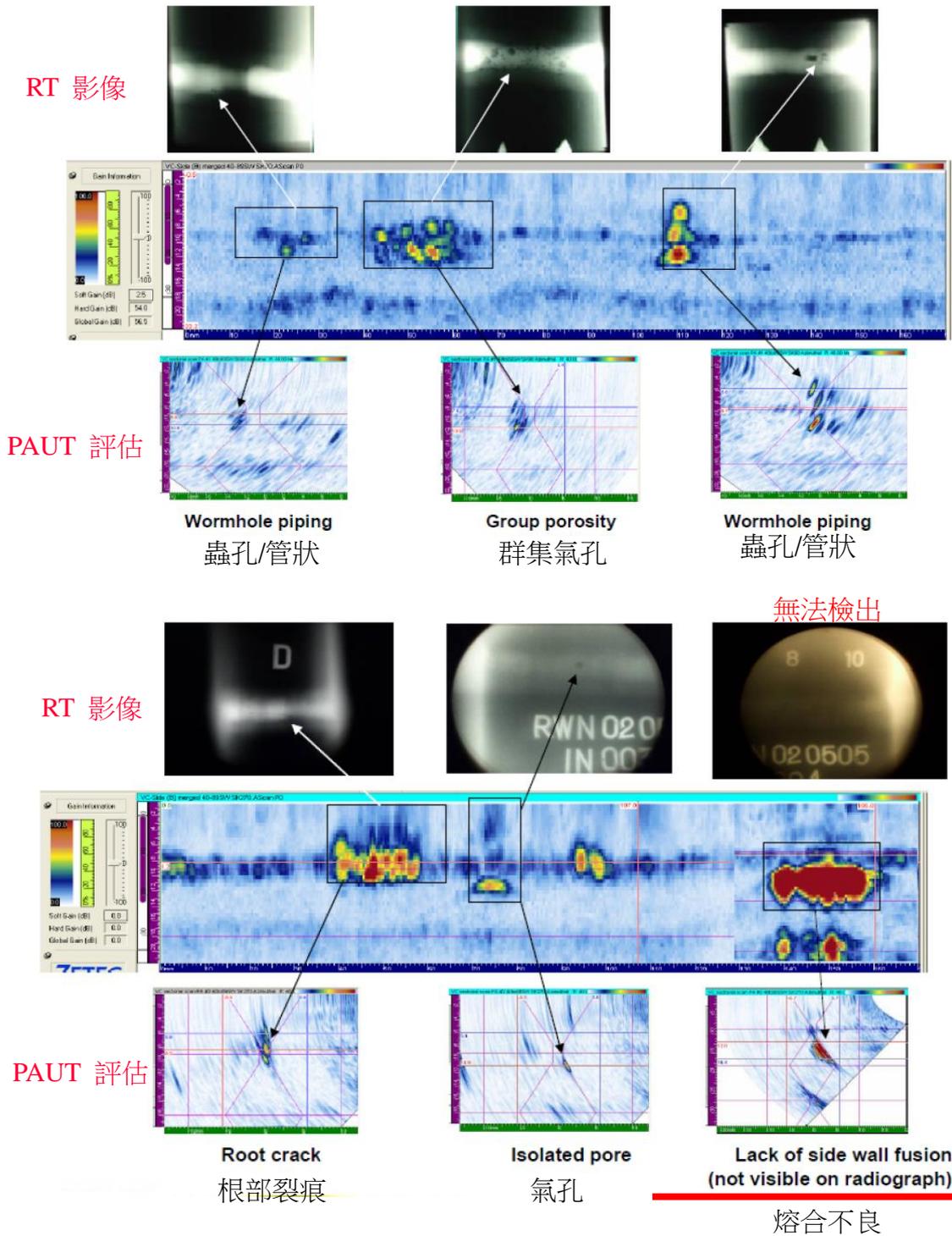
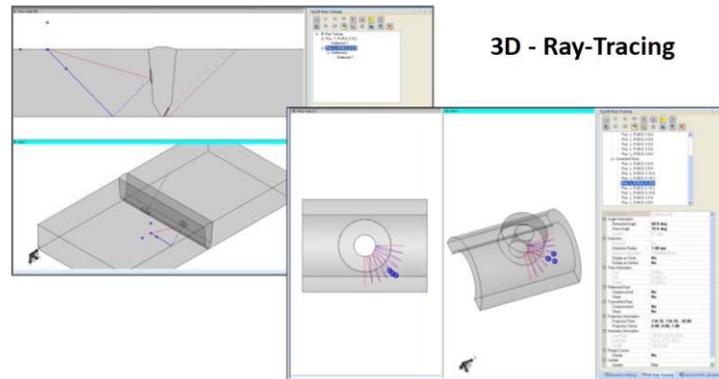


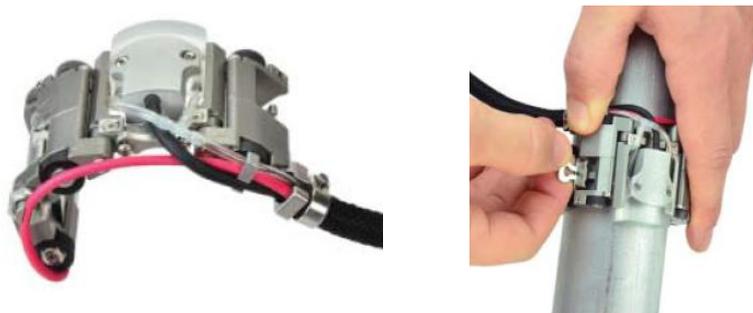
圖 25 RT 與 PAUT 檢測結果比較

## (二) 小管徑插管套銲 (Socket) 檢測

藉由 UltraVision 3.0 軟體模擬，Cirt-it 系統可以檢測插管套銲，設定方式為只運用換能器組設在單側掃描器的情況下，執行單側掃描 (圖 26)。



模擬插管套銲選擇不同銲道形式，進行掃描設定

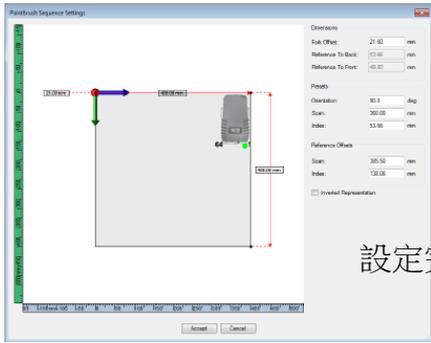


模擬插管套銲情形，換能器組設在單側掃描器

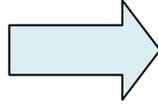
圖 26 插管套銲檢測

## (三) 腐蝕檢測運用

Zetec 公司開發一款 Paint Brush Scanner，主要運用在腐蝕檢測上，可檢出最小 1.6 mm 厚度減薄，Scanner 上使用兩軸位址器可以在 2-D 的平面上，隨意的在檢測物上掃描，藉由軟體功能顯示掃描的結果，掃描結果以 2-D 圖形顯示 (不同深度可設定不同顏色顯示)，或以 3-D 圖形顯示，適用於直徑 4 in. 以上的管件及平板的檢測 (圖 27)。



簡易操作設定介面



設定完成後開始檢測



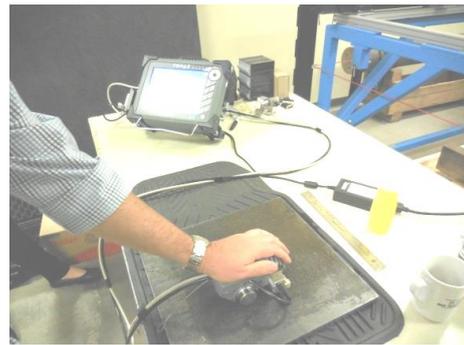
平板掃描



管件掃描

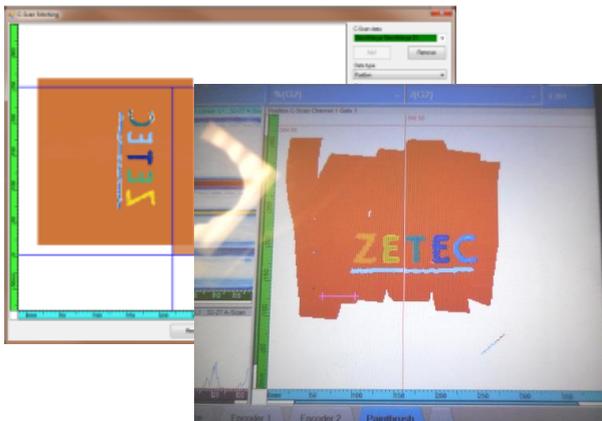


模擬規塊



檢測掃描

不同深度，以不同顏色顯示，  
便於判斷腐蝕情形



顯示掃描結果



管件搭配軟體，可以顯示  
3-D 掃描結果

圖 27 腐蝕檢測運用情形

#### (四) 汽機轉子葉片根部檢測技術

汽機轉子葉片根部檢測技術開發，逆向工法建立葉片根部 3-D 模型，並運用 PAUT 技術，於軟體上設定檢測參數，開發檢測治具及掃描器。

- 客製化設計製作案例：

側裝式 (Side entry) 葉片根部檢測技術開發 (圖 28)

建立 3-D 模型，模擬設定音束路徑、楔型塊角度、尺寸...等

- » 扇形掃描設定
- » 單一或多重陣列式換能器
- » 1D linear 或 2D matrix 陣列式換能器
- » 楔型塊設計

Turbine Blade Scanner 架設於葉片上，檢測情形如圖 29

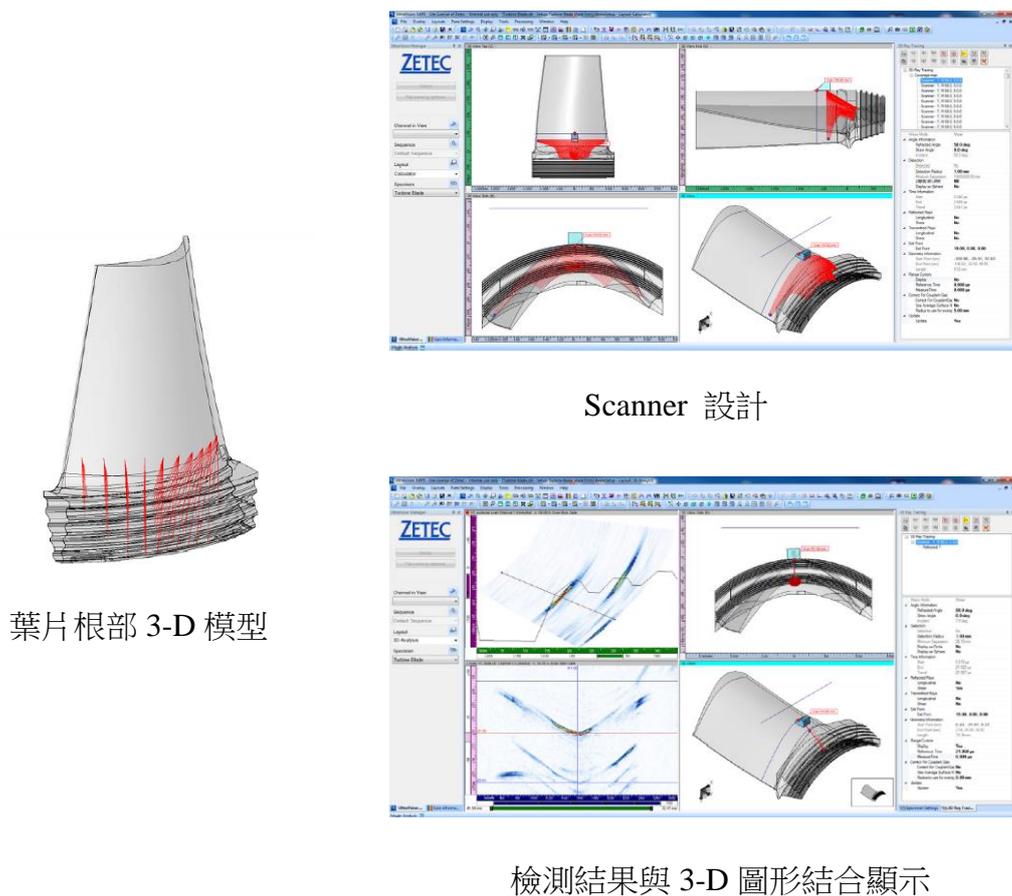


圖 28 經由 3D 模擬，設定音束路徑、楔型塊角度、尺寸...等

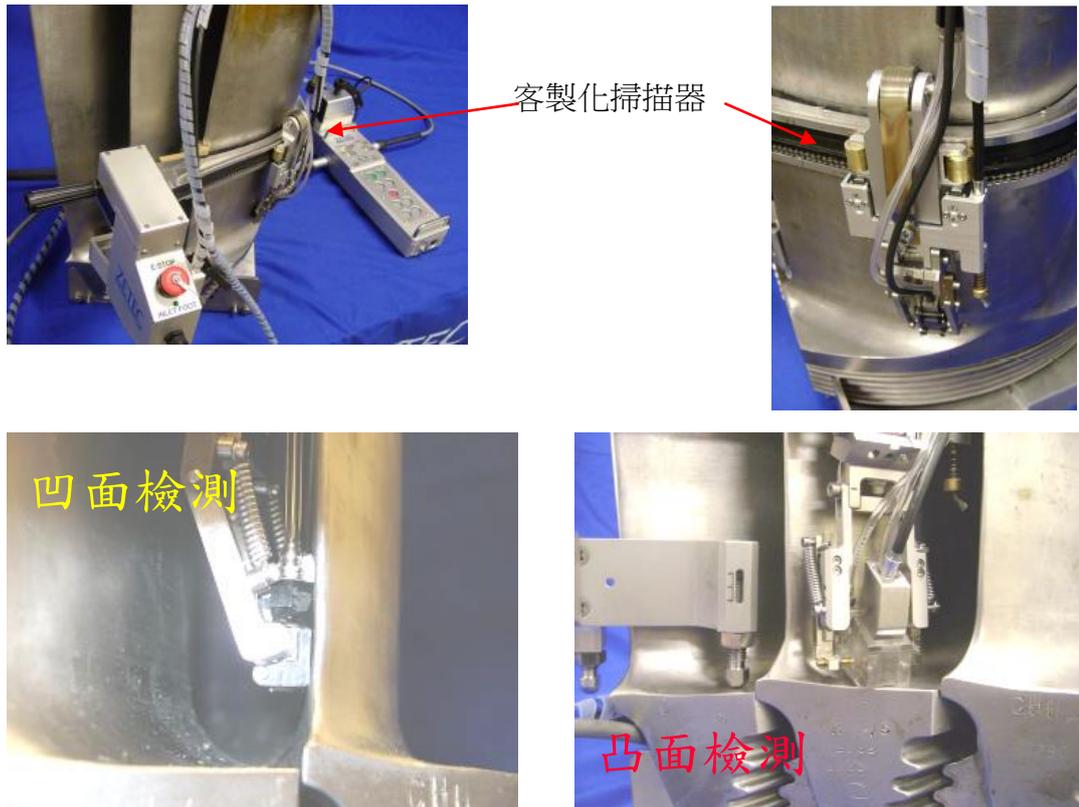


圖 29 客製化掃描器檢測情形

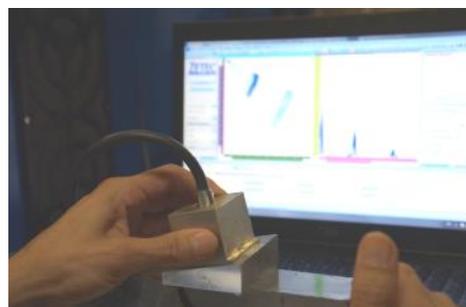
## 五、PAUT 技術應用 - IHI Southwest 公司

### (一) PAUT 技術運用於電廠組件檢測

IHI 公司擁有專業團隊及實驗室，研究開發進階 PAUT 技術(圖 30、31)，解決客戶需求 (專案開發流程，如圖 32)，該公司主要核心業務為反應器壓力容器的檢測，同時也開發多種自動 / 半自動檢測掃描器。

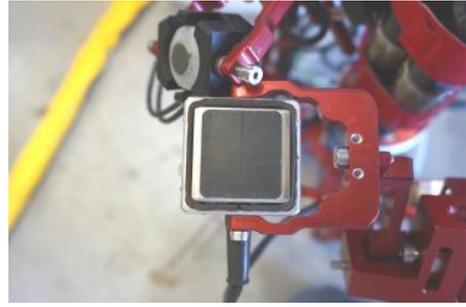
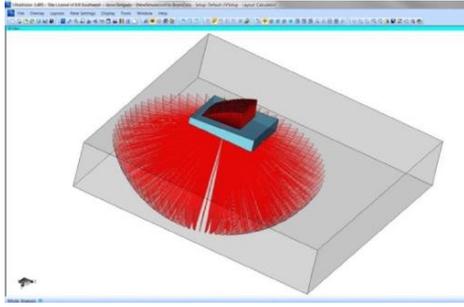


PAUT 實驗室



PAUT 換能器設計

圖 30 PAUT 實驗室及研發測試



Matrix Phased Array Ultrasonic Technology

圖 31 進階 PAUT 技術的研究開發

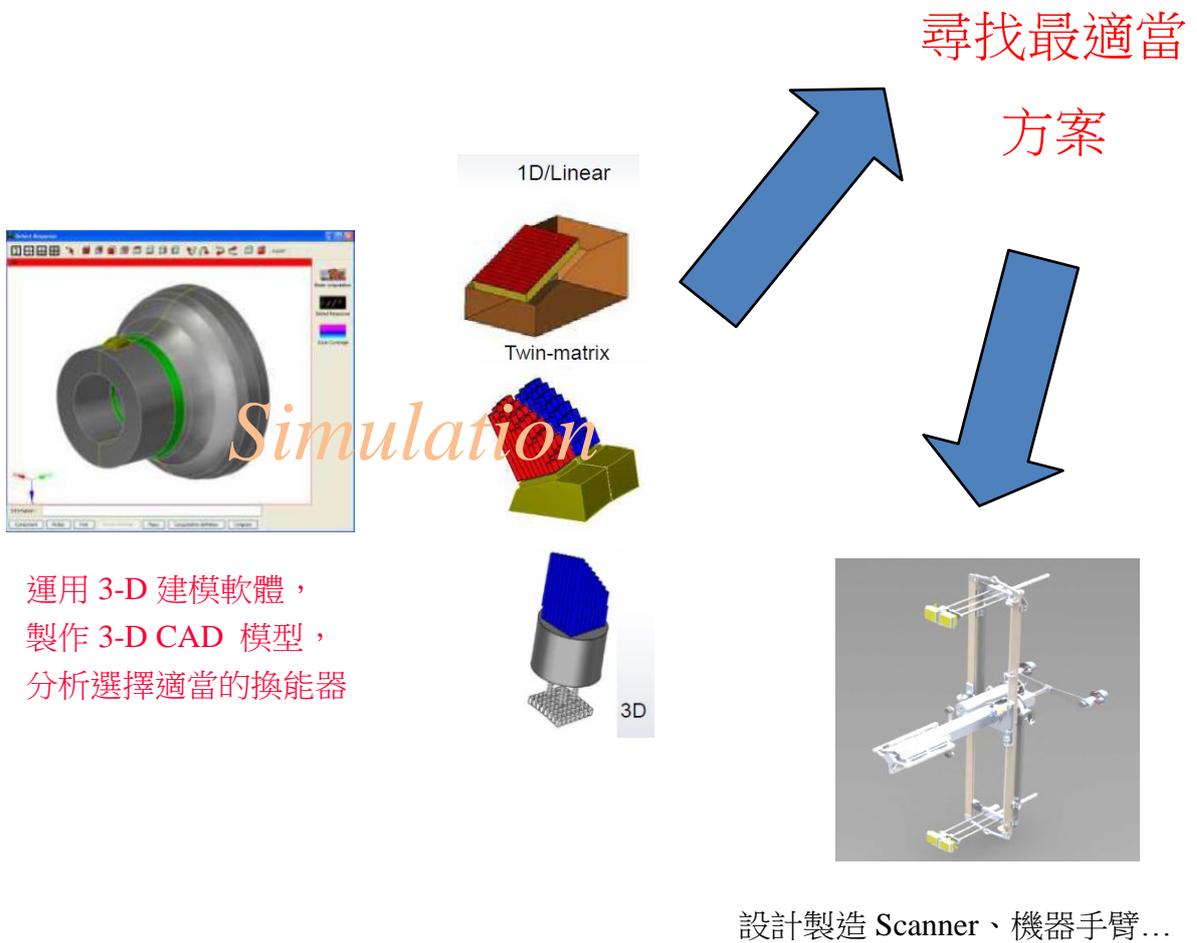
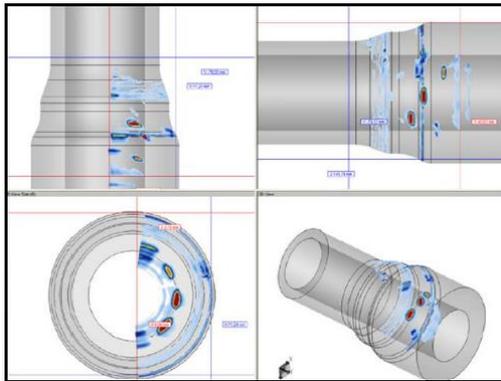
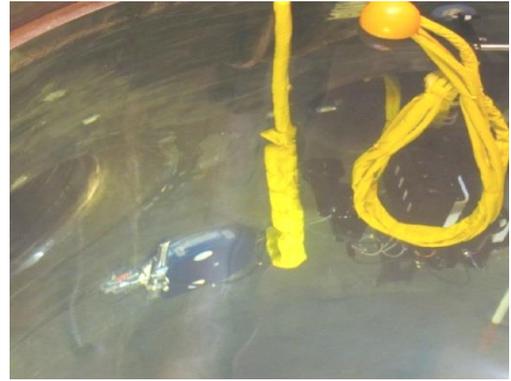


圖 32 專案開發流程

應用 PAUT 技術檢測電廠組件，案例 (圖 33、34)：



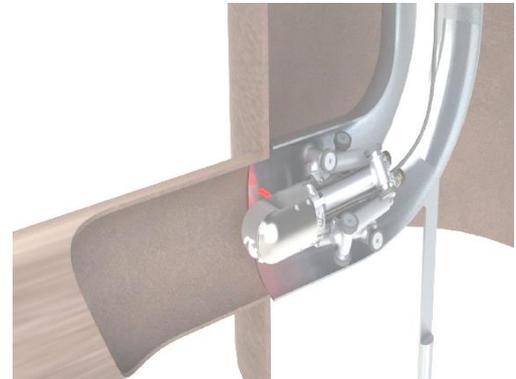
運用 PAUT 檢測 corrosion  
並將結果 Mapping 於 3-D Imaging



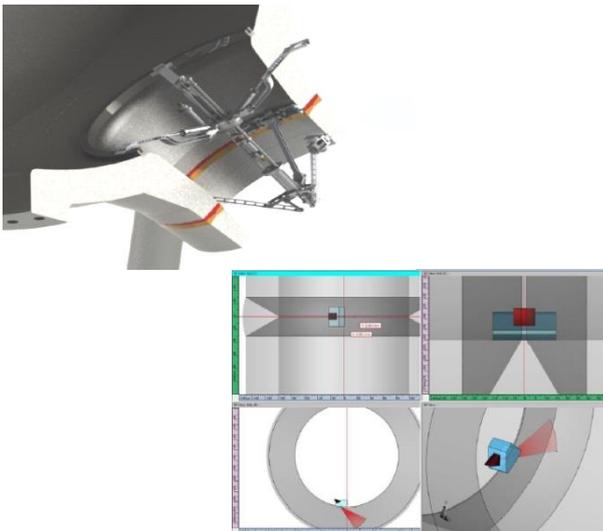
反應器壓力容器 PAUT  
(Reactor Pressure Vessel PAUT Inspections)



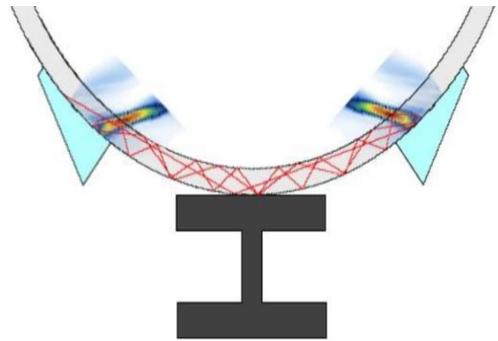
沸水式反應器護環 PAUT  
(BWR PAUT Shroud Inspections)



管內徑掃描器  
(ID Pipe Scanner)



Nozzle 銲道檢測



接觸位置腐蝕檢測  
(PAUT Touch Point Corrosion)

圖 33 PAUT 技術應用

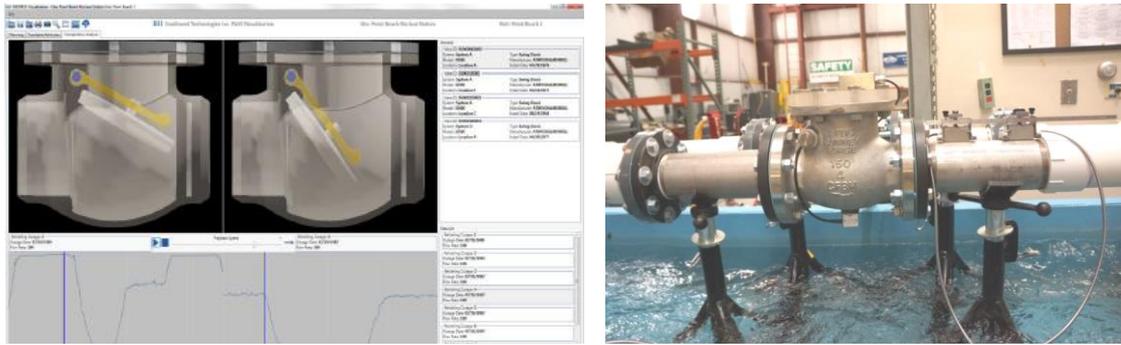


圖 34 PAUT 技術應用 - Valve 營運中監視閥盤開度位置

(二) 小管徑插管套銲 (Socket) 檢測研討

3 支不同外徑爐管，分別各製作 2 個人工瑕疵，執行 RT (圖 35)，檢測結果如表 2。

- 部分不完全熔合 (LOF、IF) 無法檢出
- 部分裂痕 (Crack) 無法檢出

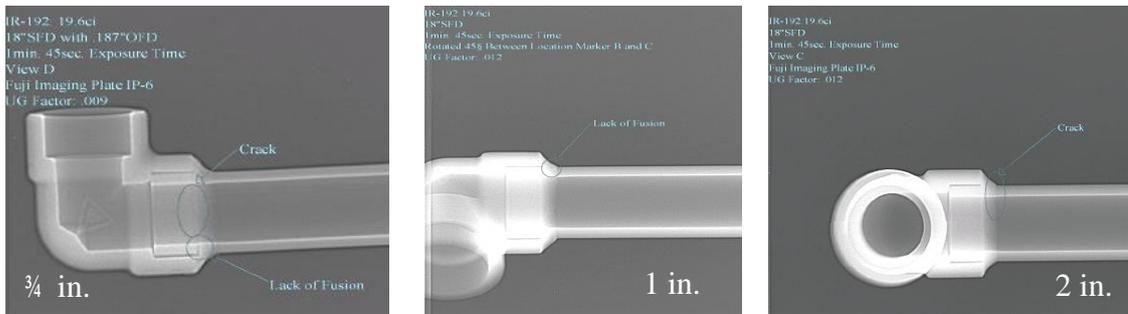


圖 35 插管套銲 RT

表 2 RT 結果

試塊外徑 in. (mm)	人工瑕疵	管厚 in. (mm)	瑕疵長度 in. (mm)	瑕疵深度 in. (mm) / %	結果
3/4 in. (19.05 mm)	裂痕	0.154 (3.91)	0.5 (12.70)	0.1 (2.54) / 65%	可檢出
3/4 in. (19.05 mm)	不完全熔合	0.154 (3.91)	0.3 (7.62)	0.1 (2.54) / 65%	可檢出
1 in. (25.4 mm)	不完全熔合	0.179 (4.55)	0.5 (12.70)	0.1 (2.54) / 56%	無法檢出 ←
1 in. (25.4 mm)	裂痕	0.179 (4.55)	0.7 (17.78)	0.15 (3.81) / 84%	可檢出
2 in. (50.8 mm)	裂痕	0.218 (5.54)	0.25 (6.35)	0.1 (2.54) / 46%	無法檢出 ←
2 in. (50.8 mm)	裂痕	0.218 (5.54)	0.75 (19.05)	0.2 (5.08) / 92%	可檢出

EPRI1015155, Technical Update, November 2007

12 支外徑爐管，各製作 3 個人工瑕疵，瑕疵形式如圖 36，執行 PAUT (圖 37、38)，檢測結果如表 3。

- 鐳趾裂痕 (Toe crack)、根部裂痕 (Root crack) 全部可以被檢出
- 根部不完全熔合 (Root LOF)、側面不完全熔合 (Sidewall LOF) 部分沒有檢出

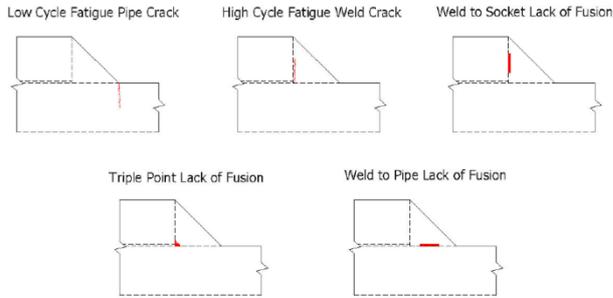


圖 36 人工瑕疵形式



圖 37 檢測情形

音束路程設定

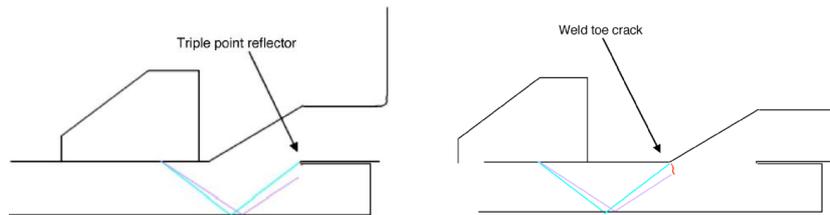


圖 38 參數設定

表 3 PAUT 結果

試塊 編號	外徑	管厚	人工瑕疵 # 1		人工瑕疵 # 2		人工瑕疵 # 3	
	in.	in.	形式	結果	形式	結果	形式	結果
1	1	0.13	鐳趾裂痕	可檢出	根部不完全熔合	可檢出	根部裂痕	可檢出
2	1	0.18	鐳趾裂痕	可檢出	套鐳側不完全熔合	可檢出	根部裂痕	可檢出
3	1	0.25	鐳趾裂痕	可檢出	根部不完全熔合	無法檢出	根部裂痕	可檢出
4	1	0.13	鐳趾裂痕	可檢出	管路側不完全熔合	無法檢出	根部裂痕	可檢出
5	1	0.18	鐳趾裂痕	可檢出	套鐳側不完全熔合	可檢出	根部裂痕	可檢出
6	1	0.25	鐳趾裂痕	可檢出	管路側不完全熔合	可檢出	根部裂痕	可檢出
7	2	0.15	鐳趾裂痕	可檢出	根部不完全熔合	無法檢出	根部裂痕	可檢出
8	2	0.22	鐳趾裂痕	可檢出	根部不完全熔合	可檢出	根部裂痕	可檢出
9	2	0.34	鐳趾裂痕	可檢出	根部不完全熔合	可檢出	根部裂痕	可檢出
10	2	0.15	鐳趾裂痕	可檢出	套鐳側不完全熔合	可檢出	根部裂痕	可檢出
11	2	0.22	鐳趾裂痕	可檢出	管路側不完全熔合	可檢出	根部裂痕	可檢出
12	2	0.34	鐳趾裂痕	可檢出	套鐳側不完全熔合	無法檢出	根部裂痕	可檢出

## 六、綜合心得

(一) PAUT 技術應用於爐管銲道檢測，Zetec、Olympus 公司都有專門針對小管徑爐管銲道開發檢測設備（設備性能一覽如表 4），不同管徑只需更換楔型塊及重組掃描器即可，操作方便，且在運用上，也有實際檢測的案例經驗。而在功能方面，經由人工瑕疵規塊驗證，與 RT 比較，皆能有效的檢出瑕疵。因此在爐管檢測的應用上，PAUT 代替 RT，確實可行（2 種檢測方式比較如表 5），而目前的陣列式超音波檢測儀，皆可將 PAUT 檢測結果記錄完整儲存。

表 4 設備性能一覽

	設備性能
1	檢測範圍，適合外徑 21 mm ~ 114 mm
2	一次周向掃描 (360°) 即可涵蓋檢測全部銲道
3	很小管距即可檢測
4	手動掃描，配合位址器可以記錄位置
5	換能器可以聚焦功能
6	檢測結果可以記錄留存

表 5 檢測方式比較

檢測方式	RT	PAUT
人員	3 人	2 人
其它作業進行	現場淨空，無法同時進行其它作業	不影響其它作業
時間	5-10 分鐘/銲道 (依管材厚度、射源等因素改變)	10 分鐘/銲道
評估	底片沖洗及判片	檢測後評估
影像留存	底片可留存	評估結果可以儲存

(二) 小管徑插管套銲 (Socket) 檢測，Olympus、IHI 公司研討及功能性驗證結果顯示，有部分人工瑕疵在 RT 及 PAUT，皆無法檢出的情形(RT 無法檢出部分 Crack、IF；PAUT 無法檢出部分 IF)，原因應該是幾何形狀關係，因此

應用方面，應該慎重檢測，避免遺漏誤判，後續研究方面，收集製作更多的人工瑕疵規塊，PAUT 可以檢測的範圍、條件，達成 PAUT 技術應用於小管徑插管套鉚檢測。

(三) 母材腐蝕檢測目前也都運用 PAUT 技術，Zetec、Olympus 公司都有商品化的產品，Pitting、Corrosion 皆能有效檢出，配合位址器都能確定瑕疵位置，惟檢測範圍管徑需要大於 4 in. 以上才能應用檢測。

(四) 汽機轉子葉片根部檢測技術，因葉根形狀不規則，只能經由客製化換能器製作，或是經由專案委託合作開發檢測技術方式進行，目前 Zetec 公司為有經驗的廠家，有成功開發葉片根部檢測技術的實績，惟需要提供葉片根部的 3-D 模型或實物逆向工法建模，設計適合檢測之掃描器與換能器組合。

### 參、對本公司之具體建議

一、Olympus & Zetec 公司皆有針對小管徑爐管，開發專屬的檢測系統 (表 6)，對於鍋爐爐管鉚道及插管套鉚的檢測，有很大助益，值得購置類似系統，推動研究發展計畫。

表 6 檢測系統一覽

廠商 設備	Olympus	Zetec
PAUT 設備	OmniScan MX2 16/128~32/128 頻道 多種模組供選擇 觸控螢幕	TOPAZ 32/128 頻道 觸控螢幕
Scanner	COBRA 組立方式-鎖螺絲	Circ-it 組立方式-扣具+鎖螺絲
耦合劑	水+手動式水泵	水+手動式水泵
分析評估	TomoView 2.1	Ultravision 3

- 二、小直徑爐管銲道檢測，可以應用 PAUT 代替 RT，檢測結果可被接受，且 RT 需要較長的時間，檢測時現場需要淨空，不能與其它工作同時進行，目前國外已經有許多以 PAUT 代替 RT 案例可以參考。
- 三、PAUT 技術運用，所使用的超音波檢測儀器費用較高，人員需要經過良好的訓練及大量的規塊訓練驗證，才能有效的執行檢測及評估，還是值得公司推廣運用。

#### 肆、出國期間所遭遇之困難與特殊事項

- 一、出國前，由於事前已將研討實習項目，通知拜訪研習的公司，並相互溝通，以利安排研習流程等，因此研習過程很順暢，當下都能取得相關資料，且在研習過程中對有興趣的部分，都能做臨時調整，配合愉快，研習過程獲益良多。
- 二、出發前，臨時提出渦電流檢測技術的研討，Zetec 公司也能適時安排相關技術人員，遠從西雅圖飛至魁北克，實屬難得。
- 三、此趟出國第一站至魁北克時，因需由多倫多轉乘固定航班，所以抵達魁北克時已經凌晨 1 點，機場也只能搭乘計程車，無大眾運輸工具。只有 1 人心情較為緊張，且車資費用高，無法報銷，不符合實際需求。