

# 出國報告（出國類別：實習）

## 大型變壓器設計製程運轉及監測研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：李承勳 8等主辦變電專員

派赴國家：日本

出國期間：自 103.09.30 至 103.10.09

報告日期：103.11.6

# 目 錄

壹、出國目的 .....	2
貳、過程 .....	3
參、實習內容 .....	4
肆、心得與建議事項 .....	24

## 壹、出國目的

本公司核能電廠均為基載電廠，需要高可靠度的電力系統設備，以維持穩定供電，並提供核能機組重要安全電源，亦維護公司形象。自日本 311 福島核能電廠事故以來，核電安全議題已牽動全球核電發展前景，世界核能發電協會（WANO）持續收集整合業界經驗，發行電力變壓器重要運轉經驗報告，通報各成員有關電力變壓器技術發展情況，並提出運轉維護策略，足見國際對於電力變壓器設備之重視。由於各核能廠之電力變壓器均為油浸式，因此更須注意故障造成之火災問題。本公司所轄核能電廠為全球績效卓越的核電之一，理當追求最低風險與零故障運轉，杜絕變壓器火災等類似事故再發生。

各核能電廠電力變壓器除肩負發電重任，亦擔任核能安全重要電源，為確保設備可靠度，各核能電廠已陸續完成或進行更新，未來尚有主變壓器、輔助變壓器更新計畫待推動，由於主變壓器屬於機組關鍵性設備，一旦發生故障，機組需停機，且檢修變壓器更換及檢修皆相當耗時，停機期間公司將承受損失，因此，為確保設備運轉穩定度及提升其可靠度，有裕度之設計、高品質之製程與有效監測機制均相當重要。

一般電力變壓器所設計之生命周期約為三十年，要確保在這段期間內設備能穩定運轉，其設計餘裕、製造品質、維護作業及後續運轉監測均非常重要。在台灣，主要的變壓器製造廠與日本廠家均有技術合作之關係，為了解台日廠家間的設計理念、製造過程及運轉實務之差異，因此有需要赴台灣製造廠家之技術合作廠及相關設備廠商，學習並收集電力變壓器及附屬設備之設計、製造、運轉監測等相關技術，並在運轉及維護資訊上，進行交流與分享經驗，俾利本公司執行變壓器更新作業，以確保核能電廠營運之可靠。

## 貳、過程

一、本次出國行程為期 10 天，表列如下：

日期	工作內容
9/30	往程（桃園-名古屋-岐阜縣）
10/1-10/3	洽訪 OJI F-TEX 中津川工廠，學習絕緣材料製程、研討規格、測定、老化管理。
10/4-10/6	洽訪中部電力公司及參觀牛島町變電所，研討開關設備維護、耐震策略。
10/7-10/8	洽訪日立公司及國分變壓器製造工廠，學習收集變壓器設計、製造、監測等技術。
10/9	返程（東京-台北）

二、行程摘要：

1. 在 OJI F-TEX 公司實習期間，由產業機能營業部 Hiroki Nagata 部長及 Tadao Sekiya 主任介紹公司發展情況，主要產品及應用。前往中津工廠後，由工廠事務部 Yoshitoshi Ikawa 副部長及製造部 Hidekuni Yokoyama 副部長簡介工廠沿革及概要，並由加工部 Satoshi Taguchi 副長及 Terukiyo Suzuki 課長帶領參觀變壓器絕緣紙及層壓板之製造流程。最後針對本次實習內容進行討論及提問研討。
2. 在中部電力公司實習期間，由電力工程技術中心 Tatsuya Watanabe 副長介紹電力變壓器使用目標、維護情況及耐震需求。另外由變電設施部門 Isao Imai 副長帶領參觀名古屋市內牛島町變電所，以及正在興建中之地下變電所。最後針對本次實習內容進行討論及提問研討。
3. 在日立公司實習期間，由日立先端能源環境部門 Yozo Ishii 副長介紹公司概況，變壓器及開關設備生產及應用。前往國分變壓器製造工廠後，由變壓器設計部門 Kenichi Kawamura 主任技師及電機技術部門 Yuki Kobayashi 主任簡介公廠概況、設備製造實績，以及變壓器設計理念、維護規定、運轉監視及新技術之應用。另外由變壓器設計部門 Takeshi Minakawa 主任技師帶領參觀電力變壓器製造過程。最後針對本次實習內容進行討論及提問研討。

## 叁、實習內容

### 一、OJI F-TEX（王子製紙）公司及中津工廠簡介

OJI F-TEX 製紙是日本造紙行業生產額第一位，世界排名第六位的生產商。創業於 1873 年，總部位於日本東京，在日本全國共有 86 處生產基地以及 30 多處海外基地。

中津工廠坐落在崎阜縣中津川市中津川河邊，自 1908 年開始營運，最初產品以特殊紙及材料為主，而後迎合市場需求，發展多項產品。工廠主要產品有特殊紙、加工紙、玻璃紙、金屬化膜及絕緣紙（板）。其中絕緣紙（板）是百分之百木漿纖維製造，具有高密度、厚度均勻、表面平滑性、耐劣化性的特性、卓越的絕緣能力及高強度機械應力，主要使用於高壓變壓器，可製作成變壓器內部層壓板，間隔器，油溝片，靜電環，亦可手工成形，使用在高壓引線及套管銜接處。中津工廠出產之絕緣紙（板）可使用在 1000 k V 等級之導體上。



圖一 OJI F-TEX 中津工廠

### 二、OJI F-TEX 絕緣紙製造過程

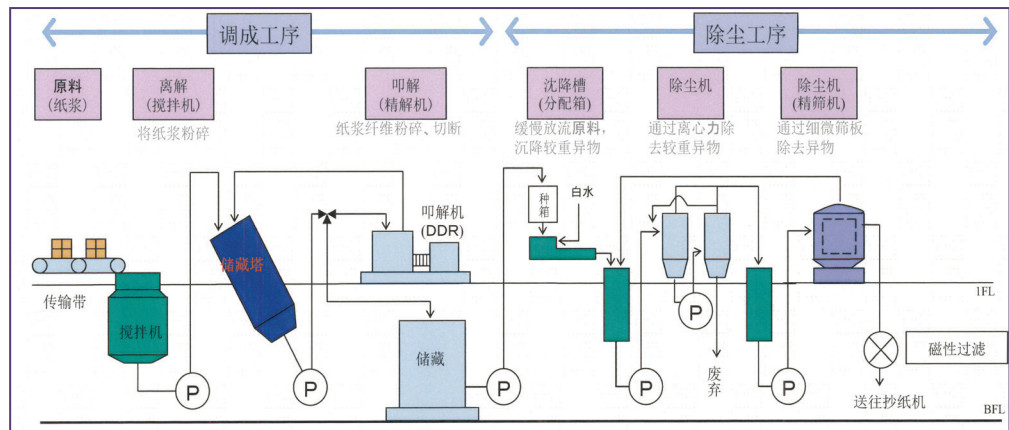
OJI F-TEX 製造絕緣紙（板）的技術來自瑞士 Weidmann，使用木漿製造的絕緣紙（板）不使用任何粘合劑，易加工成形，製程需要大量的水，因此，水質的好壞對產品之品質有很大影響，中津工廠依中津川沿岸建立，即是為了取得優質水源。而製造原料為木漿，係利用特殊液體沸騰原木材，去除不需要的木質素、半纖維素及其他雜質而製成（去除的部分約佔原木材重量 10%至 30%）。絕緣紙（板）製程共分五階段，分述如下：

### (一) 調成階段

將木漿原料以輸送帶送入攪拌機，混入規定比例的水後，進行攪拌將木漿粉碎，接著再送往精解機將木漿纖維粉碎、切斷。

### (二) 去除雜質階段

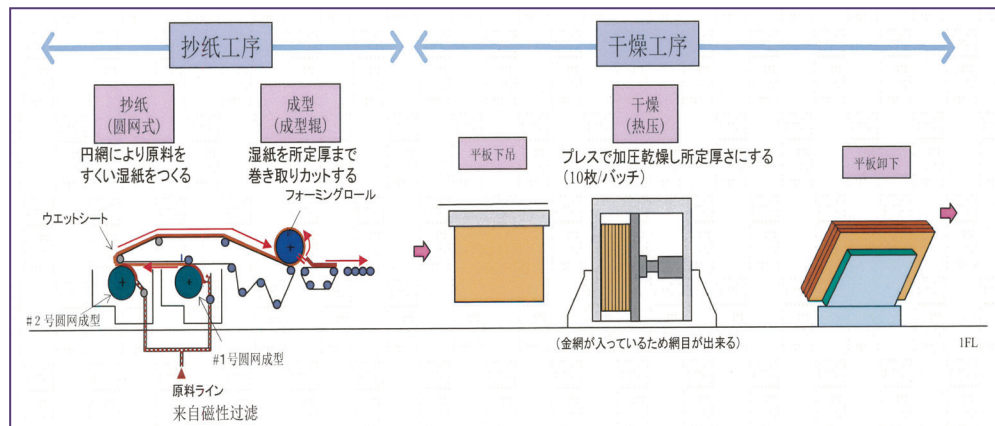
攪拌後的木漿送至沉降槽，大量加水稀釋，使其含水量達到 98% 以上，緩慢放流原料，讓較重的異物沉澱在槽底。接著送往除塵機，利用離心力去除較重異物。再送至精篩機，通過細微篩板去除異物，最後再用高強度磁場進行磁性過濾。經上述步驟濾除木漿中所含之砂粒雜質和磁性粒子。



調成及去除雜質階段示意圖

### (三) 抄紙階段

將過濾後的木漿原料持續噴灑在圓網滾筒上，原料氾覆蓋在滾筒上開始被輾軋成紙張。濕紙再送至成形滾筒（加熱）依設定厚度捲繞，濕紙成品約留下 4% 至 6% 水分。



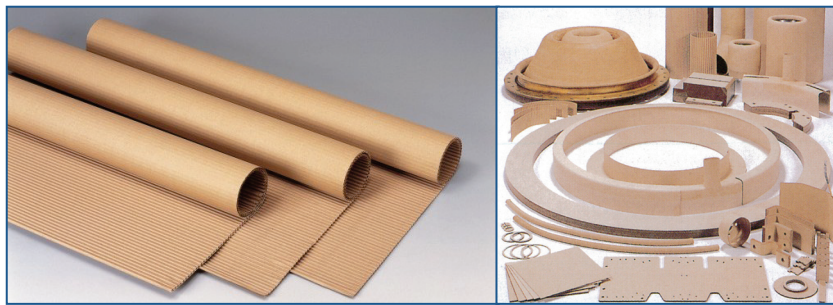
圖三 抄紙及乾燥階段示意圖

#### （四）乾燥階段

乾燥步驟對於絕緣紙（板）未來的介電能力和機械特性極為重要，如果溫度不足，使絕緣紙（板）內纖維含水量過高，將增加介電損耗，加速絕緣紙（板）老化；反之溫度過高的話，將導致絕緣紙（板）纖維在製造過程中就明顯老化。成形後的濕紙用垂吊方式送入乾燥爐，以 10 張為一單位加壓乾燥，溫度控制約在 100°C 至 140°C 間，每平方單位所加壓力為八千噸。完成加壓乾燥的濕紙即為絕緣紙（板）之成品。

#### （五）處理檢測階段

絕緣紙（板）成品在出廠前尚需經過相關檢測，首先是厚度測定，成品厚度規格最薄為 0.8mm，最厚為 8mm，接受標準為規格±2%以內，接著使用剪切機進行耳部（乾燥過程時濕紙掛耳處）裁切，最後經過金屬檢知器以高周波磁力線檢測，如發現存有金屬雜質立即銷毀不得回收，通過上述檢測步驟後，送往濕度管控倉庫存放。



圖四 成品示意圖

### 三、OJI F-TEX 層壓板製造過程

變壓器內部的絕緣支持物（層壓板剪裁）係由絕緣紙（板）加熱壓製而成，紙板之間塗有黏著劑，不論是時間、溫度及壓力都必須嚴格管控。若使用品質不佳的黏著劑或是壓製不當，可能造成絕緣支持物內部存在空洞，日後在變壓器內部長時間高溫高電壓的運轉環境下，將造成部分放電現象，並持續劣化，最後導致事故。另外，像是靜電環、套管位置之絕緣罩等，因為大小形狀不定，則使用濕紙手工塑造，再經乾燥而成。

### 四、OJI F-TEX 絕緣紙（板）相關規範

OJI F-TEX 的絕緣紙（板）引用 IEC 相關規定，物理性能規範可參考 IEC

60641-3-1 如表一。在電氣特性方面，介質耗散因數（ $\tan \delta$ ）須小於 0.004。絕緣紙（板）的機械強度即為其聚合度（Degree of Polymerization）或拉伸強度，新品聚合度約在 1000 至 1400 之間。

表一 IEC 60641-3-1 技術規範

項目	厚度	MIN. /MAX. OR RANGE	標準值
厚度公差	≤1.6 mm	Max	±7.5 %
	>1.6 mm		± 5.0 %
表面密度	≤1.6 mm	Range	1.00 - 1.20 g/cm <sup>3</sup>
	>1.6 - 3.0 mm		1.10 - 1.25 g/cm <sup>3</sup>
	>3.0 mm		1.15 - 1.35 g/cm <sup>3</sup>
縱向抗拉強度	≤1.6 mm	Min	100 N/mm <sup>2</sup>
	>1.6 - 3.0 mm		105 N/mm <sup>2</sup>
	>3.0 mm		110 N/mm <sup>2</sup>
橫向抗拉強度	≤1.6 mm	Min	75 N/mm <sup>2</sup>
	>1.6 - 3.0 mm		80 N/mm <sup>2</sup>
	>3.0 mm		85 N/mm <sup>2</sup>
斷裂伸長率	NA	Min	3.50%
壓縮量	≤1.6 mm	Max	10.0 %
	>1.6 - 3.0 mm		7.5 %
	>3.0 - 6.0 mm		5.0 %
	>6.0 mm		4.5 %
壓縮回復量	≤1.6 mm	Min	45 %
	>1.6 - 3.0 mm		50 %
	>3.0 - 6.0 mm		50 %
	>6.0 mm		50 %
灰含量	NA	Max	0.70 %
Aqueous Extract 導電率	≤1.6 mm	Max	5.0 mS/m
	>1.6 - 3.0 mm		6.0 mS/m
	>3.0 - 6.0 mm		8.0 mS/m
	>6.0 mm		10.0 mS/m
Aqueous Extract PH 值	NA	Range	6.0 - 9.0
縱向收縮量	NA	Max	0.50 %
橫向收縮量	NA	Max	0.70 %
厚度收縮量	NA	Max	5.00 %



水分含量	NA	Max	6.00 %
層間結合性	NA	Min	250 N/30 mm
吸油量	≤1.6 mm >1.6 - 3.0 mm >3.0 - 6.0 mm >6.0 mm	Min	11.0 % 9.0 % 7.0 % 6.0 %
空氣中電氣強度	NA	Min	12 kV/mm
油中電氣強度	≤1.6 mm >1.6 mm	Min	45 kV/mm 35 kV/mm

## 五、絕緣紙（板）劣化主因

隨變壓器運轉時間越長，絕緣紙（板）纖維的分子鏈將會逐漸分解，使聚合度降低，而溫度、氧氣、水分及酸等因素則是加速劣化之主因。溫度對於老化速率有主導作用，運轉溫度若升高 6 至 10°C，則劣化速度會增加一倍；絕緣紙（板）中的纖維素則易與氧作用，轉換為碳氧化物，即 CO 與 CO<sub>2</sub>；絕緣油中水分含量若增加，絕緣紙（板）的電氣性能將大幅降低，劣化速率也隨著增加（但此現象在溫度約 120°C 時會趨近飽和）；從絕緣油中產生的酸會催化絕緣紙（板）中的纖維素水解，水解是一種化學反應，過程中的水分子（H<sub>2</sub>O）被分成氫離子 H<sup>+</sup>和氫氧離子 OH<sup>-</sup>，進而分解纖維素的聚合物，降低聚合度。

## 六、中部電力公司及牛島町變電所簡介

中部電力公司（Chubu Electric Power Co.）成立於 1951 年，總部設在日本中部地區的 Nagoya 市（日本第四大城市），以日本中部地方為營業範圍是日本第三大電力公司。

牛島町變電所位於名古屋車站附近，目前置入使用的是地面上室內 154kV 變電所，在 2004 興建完成，負責供應名古屋車站鄰近地區用電。所內一樓配置兩台浸油水冷式主變壓器(154kV / 33kV 150MVA)，每台配備有四組油水熱交換器，熱水經循環水管送至頂樓冷卻塔冷卻，二樓是電纜室，三樓則配置 33 kV GIS 室及控制室（含電驛盤面），由於使用水冷方式，建築物外觀與一般商業大樓無異。

為因應車站附近區域規模龐大的都市重劃需求，在現有變電所地下規

劃增建三層樓之 275kV 變電所，裝置容量共計 60 萬 kVA，預計於 2017 年 2 月完工。新建工程將兩台主變壓器(275kV / 77kV 300MVA)配置於最底層，中間層是電纜室，最頂層是 GIS 及盤面控制室。兩部主變壓器及其附屬開關設備採取實體隔離配置，避免單一設備故障造成兩部主變壓器同時失效，開關場設置兩組蓄電池組，亦採實體分離配置，提升操作電源的可靠度。保護電驛盤面則設置在 GIS 室內，一般開關場控制盤與電驛盤面則設在同一房間內。



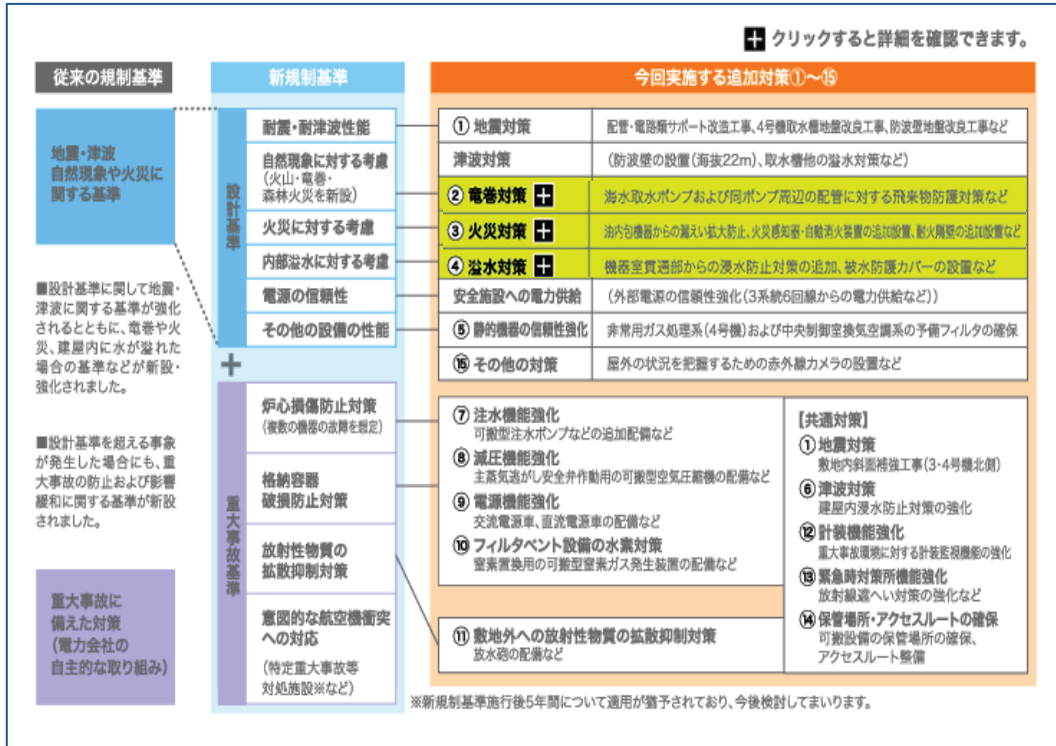
圖五 牛島町變電所外觀

#### 七、中部電力公司開關設備維護策略

- (一) 中部電力公司對於電力變壓器使用壽命規劃，輸配電變壓器使用目標為 70 年，當設備運轉 35 年時執行全面性檢查，相關附屬設備如套管，避雷器，保護電驛等則視設備狀況更換，並未訂定更換週期。
- (二) 平常僅執行設備基本點檢，變壓器運轉 25 年後，每兩年取絕緣油送驗，分析油中氣體成分。
- (三) 監視機制方面，依照設備重要性，裝設線上油中氣體分析儀器。
- (四) 在耐震設計上，套管式設備可耐水平加速度 0.5g，垂直加速度 0.3 g，一般開關設備可耐水平加速度 0.33g，垂直加速度 0.22 g。根據中部電力公司內部統計，此次福島災變並無開關設備受損。
- (五) 若發現電力變壓器運轉狀況異常，故障檢修步驟如下，先取絕緣油進行油中氣體分析，通知原廠家到場檢視設備情況，並執行相關試驗，依上述結果，決定變壓器可否繼續運轉或是回廠檢修。

## 八、中部電力公司核能電廠電源強化措施

2011年5月，浜岡核電廠停爐停機，失去360萬千瓦的電力來源，三年來持續發展海嘯及嚴重事故預防對策，包含電源、水源、防海嘯、耐震及防火災等方面。參考東京電力公司福島電廠事故，其變電設施被海嘯中淹沒，因而喪失所有外部電源，因此，中部電力持續發展供電來源多元化，擬訂策略並設置各種替代電源，分述如下：



圖六 福島後中部電力公司 15 項核能電廠電對策

- (一) 在輸電線路規劃上，建立雙電源系統分別從「駿遠變電所」及「静岡變電所」供電（500kV 電源線：4 迴線，275 kV 電源線：2 迴線）。
- (二) 把握任何可能的機會，在電廠喪失外電以及廠內備用電源的情況下，可從電廠鄰近地區配電線路電桿（6.6 kV）拉接臨時電源供給機組使用，以確保電力供應。
- (三) 在 40 公尺高平台建造氣渦輪發電機，裝置容量 19.2 MW，並儲備 7 日燃料，發電量等於是中型水力發電廠。在收到起動訊號可在 40 秒內供電至機組。
- (四) 除了原先廠內起動變壓器（500kV/ 6.6kV），在 25 公尺高平台配置不受海嘯影響的供電用變壓器，透過此變壓器確保 500 kV 電源可靠。



### ガスタービン発電

(左) 海拔40mの高台に設置される前のガスタービン発電機。新設する免震構造の建屋に6台設置します。  
(右) 海拔40mの高台では、ガスタービン発電機、地下式燃料タンク、電源盤および配電盤などの設置工事中です。

## 七 浜岡核電廠氣渦輪發電機

- (五) 在反應器廠房頂樓配置 480V 可移動式柴油發電機，提供廠內緊要設備用電。
- (六) 安裝備用電池，將電廠之蓄電池容量提升 2 倍。
- (七) 中部電力公司在福島事故發生後，在浜岡核能電廠內反覆進行各種緊急的情況之訓練，持續強化人員反應力，一旦發生災難可迅速熟稔應變，確保電力來源無虞。

## 九、日立公司及國分變壓器製造工廠簡介

本次係透過日立先端科技公司安排，洽訪日立公司及參觀國分變壓器製造工廠，日立先端科技屬於日立集團的子公司，成立於 2001 年，位在東京市西新橋港區，在台北、新竹、台中及台南也設有辦事處，主要負責電子設備系統、電子材料及環境能源等業務。

日立公司總部位於東京，其產業涵蓋家用電器、電腦產品、半導體、產業機械等產品，是日本最大的綜合電機生產商。在電力系統方面，亦是聞名全球的設備製造商，產品包含變壓器，氣體斷路器和氣體絕緣開關等，目前國內著名華城電機及中興電工其技術支援亦來自日立。2013 年更與華城電機合資，在台中成立日立華城變壓器公司，結合日立在全球的銷售通路與先端變壓器技術，主要製造外銷的大型電力變壓器（500kV）。

日立國分工廠位於茨城縣的日立市，是典型的工業造鎮，居民大多數是日立公司員工，主要製造產品包含發電設備、電力傳輸設備、鐵路電氣設備、受電用變電設備等。由於設備製程涉及商業機密，在參觀時並不允許拍照，僅能將所見轉為文字敘述。



圖八 日立國分工廠

#### 十、日立變壓器製程參觀

配合工廠作業本次參觀變壓器製造過程（不含外殼、鐵心夾件製造），分述如下：

##### （一）絕緣紙（板）材料檢驗

廠內採用絕緣紙板需百分百由紙漿製成，共有三種厚度，容許誤差需在 $\pm 1.0\%$ 內，其他特性規格詳需符合下表。層壓板則需執行 X 光檢測，避免內部接合度不佳與存在金屬雜質，造成日後運轉問題。

表二 日立絕緣紙（板）進料要求

特性要求	0.1T (cm)	0.5T (cm)	0.125T (cm)
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.7~ 0.85	0.8~ 0.9	0.78~ 0.93
張力 (kg/mm)	8.0 以上	14.0 以上	12.5 以上
延展 (%)	縱向 2.0 以上 橫向 5.0 以上	縱向 1.8 以上 橫向 4.0 以上	縱向 2.0 以上 橫向 4.0 以上
水分 (%)	10 以上	10 以上	8 以上
灰分 (%)	0.8 以下	0.8 以下	0.8 以下

導電度 ( $\mu V/cm$ )	50 以下	50 以下	50 以下
絕緣 (kV/mm)	空氣中 6 以上 油中 60 以上	空氣中 5.5 以上 油中 50 以上	空氣中 5.5 以上 油中 60 以上
加熱劣化率 (%)	5 以下	5 以下	5 以下

(二) 矽鋼片剪裁

選用低損失之方向性矽鋼片，可降低鐵損。矽鋼片材料送至裁剪機，依需求設定尺寸裁剪，按規定時間更換刀具並執行毛邊檢查。裁剪後成品送至防塵空間進行濕度管制，避免切面生鏽(濕度控制 20%以下)。

(三) 鐵心堆疊

每次堆疊先執行矽鋼片表面檢查，確認無髒污、凹凸不平、皮膜破裂、波浪狀、折曲、鏽蝕。作業時按設計張數及厚度進行堆疊，每日作業完畢時，在矽鋼片裁切斷面塗漆防鏽。

(四) 線圈捲繞

在國分變壓器製造工廠所有大型變壓器線圈皆採用直立式捲繞(小型變壓器才使用橫向捲繞)，該捲繞方式可以節省吊掛成本，方便後續鐵心與線圈組立作業。捲繞方向、層數、間隔片即出線位置等，均需按圖施工。繞製完成之線圈，其導體需逐一執行導通試驗，並相互確認有無短路。

(五) 鐵心線圈組立

吊運繞製完成線圈與鐵心進行組合，從內而外依序為高壓線圈、絕緣桶、低壓線圈，最後將上部鐵心接合。組立完成後，需執行鐵心絕緣量測(鐵心區塊及夾件)。

(六) 出廠試驗 - 絕緣電阻量測

當變壓器完成製造在送交客戶前，需執行出廠試驗，以確保設備可用性與製作品質，本次參訪正巧遇見工廠執行絕緣電阻量測(銷往馬來西亞三相一體電力變壓器)，使用 1000V 電壓，分別對高壓側線圈-外殼、低壓側線圈-外殼及高壓側線圈-低壓側線圈進行加壓。

		單位：MΩ					
公称電压	變压器溫度 (°C)	10	20	30	40	50	60
	6.6kV		1200	800	500	300	200
22kV		1500	1000	700	400	250	150
66kV		2000	1200	800	500	300	200
66kV 以上		2000	1500	1000	700	400	250

圖九 變壓器新品絕緣電阻接受標準

十一、日立變壓器維護建議

依照變壓器的型式、設置場所及負載量，進行適當檢查。

(一) 巡視檢查

變壓器運轉中檢查，確認設備運轉狀況，以提早發現異常，原則上每天檢查一次。

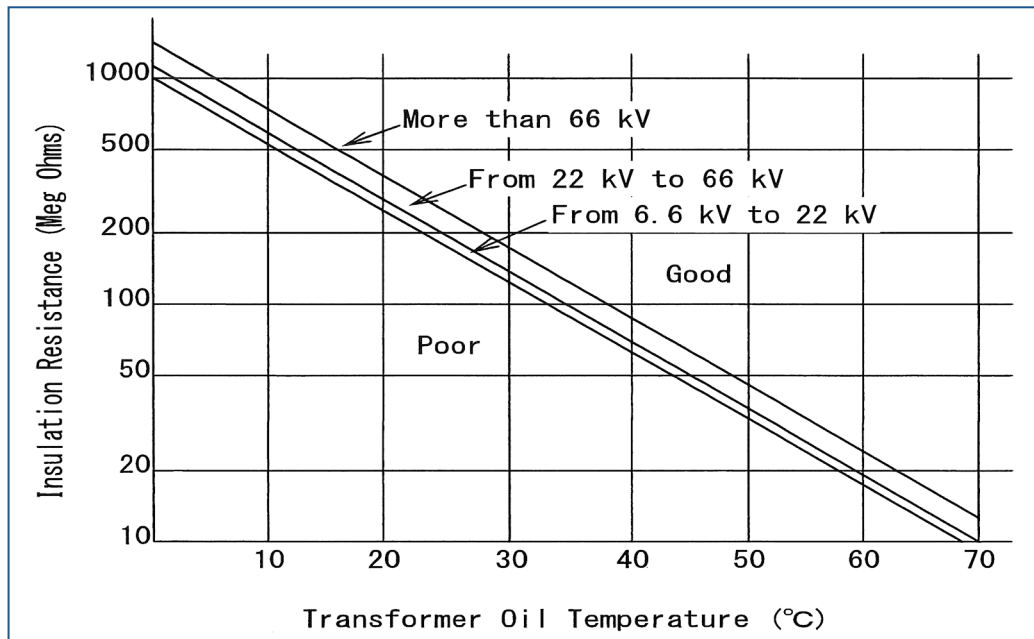
(二) 定期檢查

變壓器停機檢查，執行更細部的設備狀態查驗，配合相關測試，調查設備有無異常。

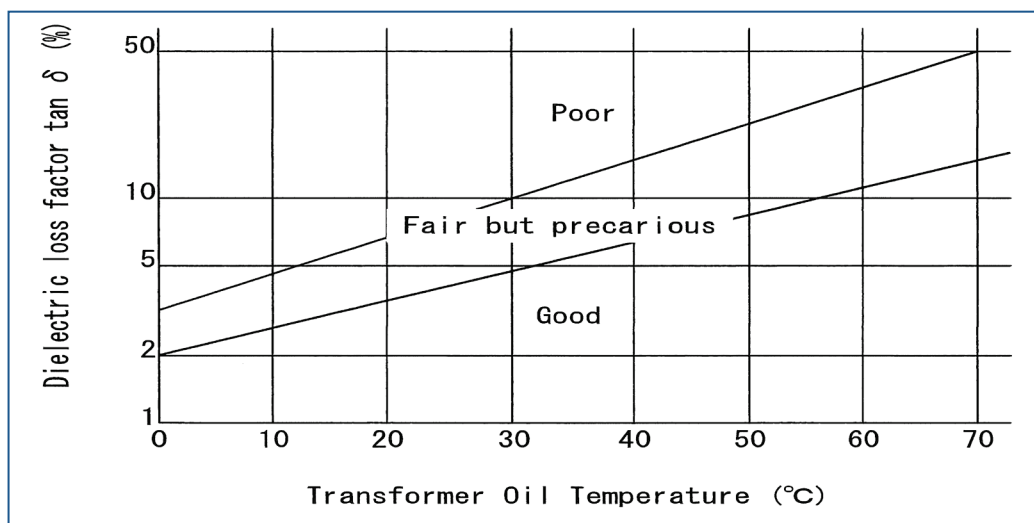
表三 巡視檢查建議

項次	巡視組件	巡視項目	內容方法
1	變壓器本體	(1) 油溫、周溫、線溫	周溫及負載量都會影響油溫、線溫，必須紀錄並觀察其變化
		(2) 油面計	位置是否正確
		(3) 異常震動及噪音	有無異常
		(4) 漏油	目視檢查有無漏油
2	冷卻裝置	(1) 異常噪音與震動	冷卻風扇及油泵是否異常，在設備長期停機後啟動時需特別注意
		(2) 漏油	冷卻器、散熱器、油泵是否漏油
		(3) 動作異常	冷卻器、油泵是否停止
		(4) 塵埃附著	散熱器積塵太多會降低冷卻效果
3	OLTC	(1) 油面計	油位是否異常，如異常上升代表可能洩漏
		(2) 漏油	目視檢查有無漏油
		(3) 機構異常震動	動作時出現異音或異常震動
		(4) 動作狀況	確認電動操作機構停止位置，切換角度有無異常

4	呼吸器	乾燥劑顏色確認	約 2/3 以上變色需更換
		油杯無漏油，油位正常	溫度變化會使油位些許變化
5	套管	(1) 漏油	檢查是否漏油
		(2) 油面計	油位有無過低
		(3) 破損、汙染、端子過熱	目視檢查套管有無異常，有無變色
6	釋壓裝置	(1) 漏油、漏氣	有無噴油的痕跡
		(2) 有無動作	裝置有無損壞或動作



圖十 絕緣電阻接受標準



圖十一 消散因數 (tan  $\delta$ ) 接受標準



表四 定期檢查建議

項次	巡視組件	巡視項目	週期	內容方法	判定基準
1	變壓器線圈	絕緣電阻	2 年	(1) 1000V 測試電壓 (2) 各項線圈對地 (3) 測量結果容易受環境影響，如有異常，綜合其他試驗確認	(1) 詳參圖十 (2) 若數值異常，配合油中氣體分析，綜合判斷 註：絕緣阻抗降低係因線圈吸濕，應該同步檢查油中水分及呼吸器。
		消散因數 tan δ	2 年	測量線圈絕緣介電損耗值	詳參圖十一
2	絕緣油	耐壓測試	2~3 年	絕緣油耐壓試驗設備	30kV 以上
		水分檢測	判定需要 註：絕緣阻抗降低及絕緣油劣化時實施	水分量測法	初期油中水分 10ppm 絕緣物及油中水分在穩定溫度下保持平衡，變化不大
		油中氣體分析	(1) 0.5 至 1 年 (2) 臨時檢測（氣體檢測異常或保護電驛動作或設備檢修）	取油樣分析氣體如下： O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> 、CO、CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 異常判定： H <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 劣化判定： CO、CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub>	下列狀況為異常： (1) TCG 總量上升超過標準 (2) 氣體分量超過標(單位 ppm) 需注意(I)

總量	氫氣	甲烷	乙烷	乙炔	乙炔	一氧化碳
500	400	100	105	10	05	300

需注意(II)

1. 乙炔 ≥ 0.5
-------------

					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> 2. 乙炔<math>\geq 10</math> 及 TCG<math>\geq 500</math>  任一種出現需注意  異常 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> 1. 乙炔<math>\geq 5</math>  2. 乙炔<math>\geq 100</math> 及 TCG<math>\geq 700</math>  3. 乙炔<math>\geq 100</math> 及 TCG 月增加量<math>\geq 70</math>  任一種出現為異常  註：同時觀察負載及油溫變化 </div>
		OLT C室 絕緣油	1年	(1) 絕緣油耐壓試驗 (2) 酸價測定	耐壓 20kV 以下或酸價 0.3 以上，需換油
3	OLTC	內部點檢	依廠家說明	依廠家說明	依廠家說明
		操作機構點檢	依廠家說明	(1) 各部件動作狀態 (2) 絕緣量測 (3) 停止位置	(1) 無異音異常震動 (2) 500V，2M $\Omega$ 以上 (3) 位於指示範圍
		控制與保護裝置	1年	開關、電驛接點狀態檢查	狀態正常
4	附屬設備	套管	2~3年	漏油、油面	有無漏油、油位正常
				礙管有無破損	檢查有無破損、龜裂
				絕緣電阻	詳參圖十
				消散因數 $\tan \delta$	詳參圖十一
				端子狀態檢查	有無變形、變色
				礙管清潔	無積塵
	雙金屬溫度計	1~2年	溫度指示	指示正確指針動作正常	
			內部潮濕、結晶	檢視有無潮濕結晶變色	
			警報測試	導通試驗	
			外觀管線	外觀及管線有無破損龜裂，視需要更換	
溫度感測器	2~3年	阻抗值	如有斷線、阻抗上升需更換新品，同時換油		
		漏油	無漏油		

		溫度井內油量	加入 16cm <sup>2</sup> 新絕緣油
		端子鎖緊	確認有無鎖緊
線圈 油溫 電驛	2~3 年	溫度指示	檢視誤差視需要校正
		動作溫度設定	依廠家說明
		接點動作	接點導通正常
		有無斷線	線路正常
		有無潮濕	有無潮濕、結晶
		管線外觀	有無破損
		布氏 電驛	2~3 年
有無氣體存在	無氣體累積，如有氣體累積需進一步分析		
警報接點測試	接點導通測試		
電驛狀態	有無龜裂或破損		
衝擊 油壓 電驛	2~3 年	漏油	有無漏油
		警報接點測試	接點導通測試
		電驛狀態	有無龜裂或破損
氣體 偵測 器	2~3 年	漏油	無漏油
		有無氣體存在	無氣體累積，如有氣體累積需進一步分析
		接點動作	接點導通正常
		外觀	有無龜裂破損
釋壓 裝置	2~3 年	釋壓板狀態	有無龜裂、破損
		漏油	有無漏油、噴油現象
		漏氣	無氣體洩漏
		彈簧機構正常	無損壞
		接點動作	接點導通測試
儲油 箱	2~3 年	油面計指示	油溫及對應油面正常
		漏油	無漏油
		膜片檢查	有無破損
呼吸 器	2~3 年	乾燥劑吸濕	有無變色，可乾燥再生
		外觀檢查	有無破損
油位 計	2~3 年	油面計指示	油位正常
		表面汙損破損	無汙損破損
		高低油位警報	導通測試正常
油泵	1~2 年	異音	如有異音軸承可能受損
		漏油、結晶	有無漏油、結晶
風扇	1~2 年	異音及異常震	若有異常可能軸承有問

			動	題，以新品更換
	油流指示	1~2 年	漏油	無漏油
			破損	無破損
			指針動作	動作正常
	冷卻器	1 年	漏油	無漏油
			結晶	無結晶
			積塵	無積塵，每年清潔 1 次
	控制保護迴路	2~3 年	警報動作迴路	警報功能驗證、電驛測試
			風扇及油泵	啓動停止試驗
			線路絕緣	500V，2MΩ 以上
			線路狀況	有無牢固、變色、熔損

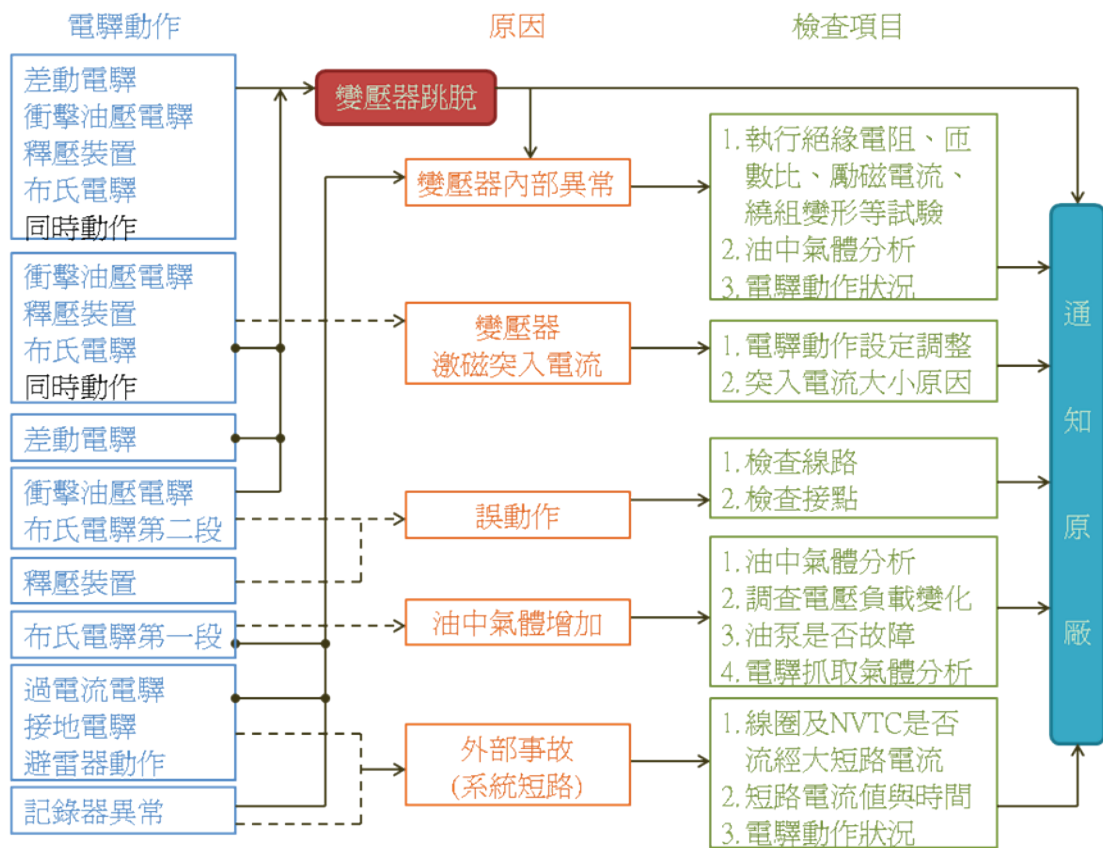
表五 組件更換周期建議

項次	組件	更換周期 (年)	項次	組件	更換周期 (年)
1	OLCT 接觸子	5~20	24	布氏電驛	10~15
2	OLCT 彈簧組件	10~20	25	溫度感測器	10~20
3	OLCT 絕緣油	2~5	26	雙金屬溫度計	10
4	OLCT 電驛	10~15	27	棒狀溫度計	10
5	OLCT 油流電驛	10~15	28	溫度電驛	10~15
6	操作機構馬達	5~10	29	抗震橡膠	10
7	操作機構電磁開關	10~20	30	金屬伸縮囊	15~20
8	操作機構電驛	10~20	31	油位計	10~15
9	操作機構彈簧組件	10~20	32	氣體偵測器	10~15
10	操作機構開關	10~20	33	油袋	10~20
11	操作機構潤滑油	5	34	呼吸器	3~5
12	油泵	15~20	35	呼吸器乾燥劑	0.5~1
13	油泵軸承	7~8	36	防水襯墊	10
14	冷卻器	15~20	37	輔助管路	15~20
15	風扇馬達	10~15	38	輔助線路	10~15
16	風扇軸承	3	39	端子台	10~15
17	風扇潤滑油脂	1~2	40	電纜	10~15
18	衝擊油壓電驛	10~15	41	閥	10~20
19	油流指示器	10~15	42	散熱器閥	15~20
20	放壓板	10	43	除鏽油漆	3~5
21	釋壓裝置	10	44	套管	15
22	油溫電驛	10			
23	線溫電驛	10			

## 十二、日立故障檢修程序

為防範電力變壓器發生故障，以及減少設備故障所造成的損失，執行定期巡檢、維護及試驗均屬必要，執行絕緣電阻、消散因數、油中氣體分析、絕緣油含水量試驗等，可從其變化趨勢，發現設備早期的異常狀況，立即執行改善行動，避免設備持續劣化造成更大損失。

但若變壓器不幸在運轉中發生事故，則需依照以下「設備異常處理程序」進行故障調查，根據保護電驛動作狀況，研判故障類型，並通知原製造廠家告知事故發生時間、事故狀況，再根據調查結果，實施必要之電氣試驗，經綜合研判後，確認實際故障原因。



圖十二 電力變壓器故障之調查程序

相關電氣試驗包含以下：

### (一) 絕緣電阻

確認線圈絕緣狀況，使用 1000V 電壓，分別對高壓側線圈-外殼、低壓側線圈-外殼及高壓側線圈-低壓側線圈加壓，判定基準依照圖十所示。

(二) 匝數比

確認線圈是否有層間短路，使用 200V 電壓從高壓側加壓，不可從低壓側加壓，避免感應出高電壓危及人員與設備安全，判定基準依照銘牌電壓值的 $\pm 0.5\%$ 以內。

(三) 激磁電流

判斷鐵心狀況以及線圈有無層間短路，使用 200V 電壓從高壓側分別加壓各相，一般三相變壓器之判定基準，在 Y 接線時，V 相約等於 U 相，W 相讀值較小；在 $\Delta$ 接線時，V 相約等於 U 相，W 相讀值較大，若是層間短路激磁電流會偏高。

(四) 繞組變形

變壓器內部或外部發生短路事故其極大的短路電流，若流經變壓器繞組，將產生極大的機械應力，可能造成繞組變形或位移。試驗原理係將變壓器繞組轉換為電阻、電容、電感等組成電路，再把輸入與輸出之響應轉化為函數關係並予以描繪，可得到變壓器繞組特性的轉移函數曲線。變壓器結構固定，其內部的參數和函數曲線也會為定數，相對在發生異常時，參數亦會改變，所對應的函數曲線也會隨之變化。判定基準係以變壓器出廠試驗初次執行繞組變形試驗結果，作為設備基本資料進行比對。

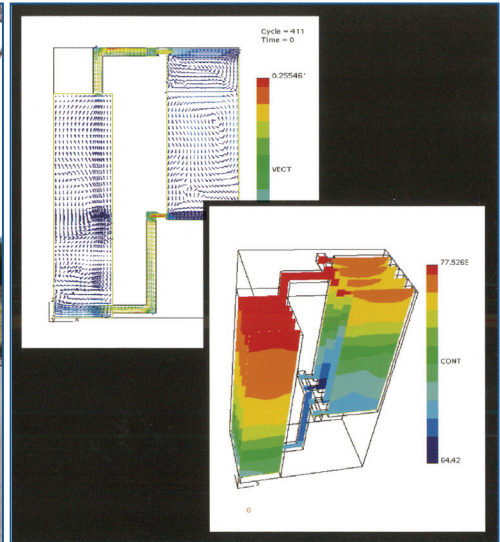
### 十三、日立技術應用

日立通過先進系統的工程，結合了最新的資訊科技，持續開發新產品，精進設備製程，更新診斷技術及試驗方法，技術應用詳如下述：

- (一) 500 kV 和 1000 kV 等級之電力變壓器研發並實際投入使用，目前已累積豐富的經驗和專業知識，能夠滿足高可靠性之要求；國內製造最大容量電力變壓器實績為 525 kV，1450 MVA 三相一體主變壓器，使用在核能電廠。
- (二) 國分製造所內高壓大電力試驗所現正研發 1100 kV 等級之電力變壓器及開關設備。
- (三) 發展新矽鋼片積疊技術，降低交疊處磁阻，讓磁路更通順，減少損失降低噪音，一般電力變壓器其滿載噪音規定在 85dB 以下，另依客戶

需求可製作出滿載噪音低於 70dB 之電力變壓器。

- (四) 利用 3D 熱流體解析技術，推算變壓器熱點位置，直接埋入光纖溫度偵測器，不需透過補償方式探知熱點溫度，可精確掌控設備運轉溫度，以利運轉調度與異常偵測。

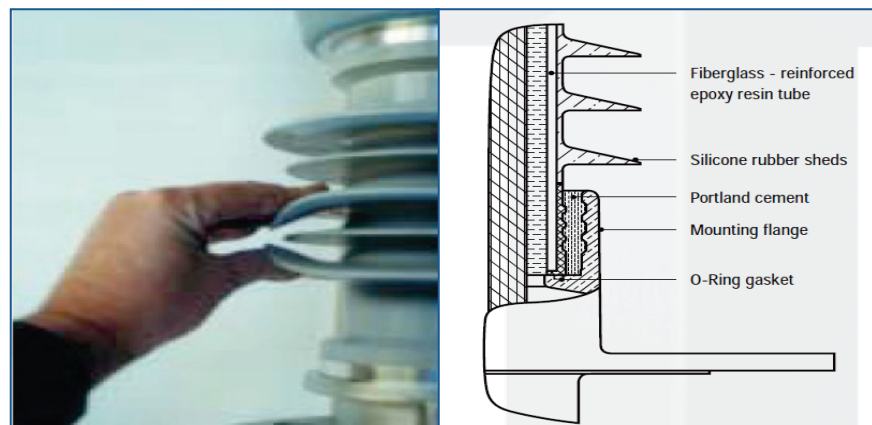


圖十三 1100 kV 變壓器及開關設備

圖十四 3D 熱流體解析

- (五) 目前常用之監視診斷技術，包含線上油中氣體分析、線上部分放電偵測、線上油中含水量測定以及部分放電定位技術。其中部分放電定位技術係利用四組聲音感測器建立起 3D 座標，並用 GPS 及 FFT2D 雜訊濾除等技術，定位放電位置。

- (六) 矽膠絕緣套管係專為高壓套管使用設計，目前已能應用在 154kV 等級之電力變壓器，以矽膠取代傳統套管瓷器部分，內部填充環氧樹脂，具有優良的電氣和機械特性，以及卓越的抗震性能。



圖十五 矽膠絕緣套管

(七) 高抗震電力變壓器的研發上，已完成耐震能力可耐水平加速度 1.0g/垂直加速度 0.7g 高抗震電力變壓器之設計，目前持續往更高耐震等級研發（水平加速度 2.0g/垂直加速度 1.4g）。

#### 十四、電力變壓器老化管理

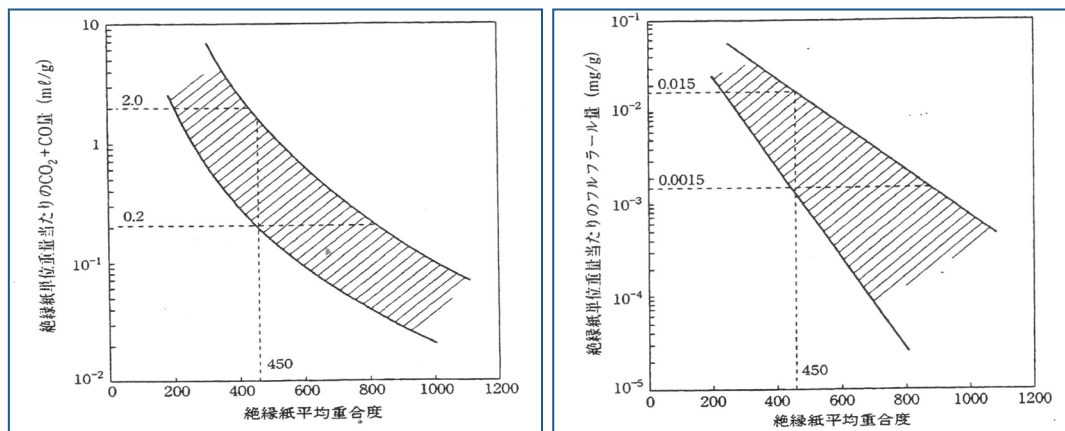
中部電力公司與日立公司對於電力變壓器的老化管理機制相同，主要透過兩個指標綜合判定：

(一) CO 及 CO<sub>2</sub> 含量 → 需注意：超過 0.2 mL/g；危險 20 mL/g

(二) 糠醛濃度 → 需注意：超過 0.0015 mg/g；危險 0.015 mg/g

兩個指標皆以絕緣紙板總質量計算，對應絕緣紙平均聚合度（Degree of Polymerization）詳如圖十八，聚合度愈高，絕緣紙機械強度愈大。纖維素是一種高分子量聚合物，一般分子式為 C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>，纖維絕緣材料裂化時，這些聚合物的鍵結長度會變短，將導致其特性改變，聚合度開始降低，當 CO 及 CO<sub>2</sub> 含量若到達 0.2 mL/g，即表示絕緣紙平均聚合度介於 450 至 800 間，屬於中度劣化；當 CO 及 CO<sub>2</sub> 含量若到達 20 mL/g，表示絕緣紙平均聚合度介於 250 至 450 間，屬於嚴重劣化。當絕緣紙聚合度只剩 250 時，非常容易破損、剝落。

依照日立公司經驗，CO 及 CO<sub>2</sub> 含量及糠醛濃度可作為綜合判斷參考，一般建議，當電力變壓器運轉達 20 年時，需開蓋進行內檢，並利用 3D 熱流體解析技術找出熱點位置，採樣該處絕緣紙進行分析，才可確切反映設備狀態。



圖十六 CO 及 CO<sub>2</sub> 含量與糠醛濃度對應之絕緣紙平均聚合度



## 肆、心得與建議事項

### 一、日本企業的 5S 現場管理辦法

本次赴日走訪 OJI F-TEX 公司、中部電力公司、日立公司及相關產品製造工廠等，對其整齊清潔工作環境留下深刻的印象。在拜訪中部電力公司牛島町變電所參觀行程中，該變電所地下增建部分尚在施工中，正進行電纜拉設以及機電設備吊運作業，令人驚訝的是現場環境非常整齊乾淨，走道空曠無雜物，空間採光明亮，與一般施工現場雜亂現象截然不同。

事實上，日本各大企業均廣泛推行 5S 現場管理辦法，且這套辦法亦被引進到台灣企業使用，例如全聯、統一等。所謂 5S 即是整理、整頓、清掃、清潔及教養，將產品、工具、商品分類管理及把放置方法標準化，保持工作場所乾淨，並加以維持，透過訓練養成習慣，恪遵相關規定。良好的工作場所不但可以減少工安問題，對提高工作效率及提升作業品質也有極大助益，讓員工在愉快爽朗氣氛下工作，亦間接提振士氣。



圖十七 牛島町變電所施工環境

### 二、絕緣紙（板）之規範

絕緣紙係為油浸式變壓器線圈導線之絕緣物，關係變壓器壽命以及運轉安全。參考公司內部供電系統近年發生數起變壓器故障案例，其故障的主要肇因即是變壓器內部絕緣支持物不良。絕緣支持物是壓層板裁剪後製成，而壓層板則由絕緣紙（板）加熱壓製的產品，在紙板間塗有黏著劑，若使用材料或製造品質不佳，壓層板在變壓器內部長時間高溫高電壓的運轉環境下，將持續劣化進而導致事故。

OJI F-TEX 公司與日立公司對產品及進料要求均有相關規定，OJI F-TEX

引用 IEC 規範，而日立則是使用 JIS 規範，在國際上 ASTM (American Society for Testing and Materials, ASTM) 亦參考 IEC 等資料，發展出一系列絕緣紙（板）規範。參考公司內部變壓器採購材規及電力變壓器採購規範，目前對絕緣紙及絕緣支持物部分，尚無明確要求，針對這些關鍵性材料，在未來的設備採購規範中，應加入相關接受標準，俾確保用料品質。

建議 1：絕緣紙（板）應該符合 IEC 60641 系列之規範，新品不得有金屬物質檢出，平均聚合度需大於 1000。

建議 2：壓層板則需符合 IEC 60763 之規範，並使用 X 光進行檢測，確認接合面良好，不含金屬雜質。

### 三、中部電力公司開關設備維護策略

中部電力公司在開關設備的耐震設計基準上，與本公司相同，採套管式設備可耐水平加速度 0.5g，垂直加速度 0.3 g，一般開關設備可耐水平加速度 0.33g，垂直加速度 0.22 g，電力變壓器控制箱須評估設置高度，避免豪雨、洪水或海嘯侵襲；變壓器故障檢修之步驟也大致相同；但在維護及監測方面，本公司則較嚴謹，例如變壓器取油分析週期為一年、備品均依廠家建議定期更換、設備及附屬配件定期執行相關電氣試驗等。

### 四、中部電力公司核能電廠強化方案

如同本公司的核能總體檢強化方案，在福島事故後，日本各大電力公司亦針對其轄下核能電廠，持續進行改善強化。日本核能管制委員會所制定的新管制標準共有十大要求，包含提升防地震海嘯基準、航空意外的應對、放射性物質擴散的抑制、防止包封容器破損的措施、爐心損害防止對策、廠房內淹水評估、天災的防治（包含火山龍、捲風、森林火災）、火災預防、設備的能力、電源及水源的可靠度。其主要理念係評估所有可能危及電廠安全之災難，包含自然災害及恐怖攻擊，訂定相關因應對策，並避免單一事故導致所有安全設備不可用。

電源強化方案上，中部電力著重在多樣外電系統的引接，而本公司則在各電廠內建立不同電力來源。以本公司各核能電廠 345kV 輸電線路為例，其至變電所距離短則數十公里，長則數百公里，沿線鐵塔有數十至數百座，若發生嚴重災害（如地震造成之地層位移、走山等），只要其中一座鐵塔倒塌

或傾斜，則整條線路將不可用，因此，本公司持續在電廠內建立各種電力來源，在喪失外電情況下，依然有足夠電力來源保持爐心冷卻。

輸電線路部分本公司則透過維護、監測面進行管控，定期監測、調查山區輸電鐵塔基礎之環境因素，依現況評估分級，若發現塔基環境不佳有潛在危險，立即辦理維護措施，並在今年度針對所有鐵塔實施塔基耐震評估，以確保輸電線路的可靠度。

建議：中部電力與本公司定有維護交流協定，福島後持續發展各種強化方案，大部分已有明確方向或得到相當成果，如海嘯牆、水密門改善等，若有需求可將相關議題提送至交流會議上進行研討。



圖十八 浜岡核能電廠 22 公尺海嘯牆及水密門改善

## 五、電力變壓器製程

電力變壓器製造流程及本公司核能電廠所訂定之製程檢驗點詳如下圖二十一所示，涵蓋所有重要製程階段，而日本廠家，一般僅在心體組立（編號 6）及出廠試驗（編號 12）兩步驟實施中檢。相較之下，各核能電廠對於變壓器之製造要求較嚴謹，確保每個重要生產環節，保障產品品質。

本次實際走訪日立國分製造所，參觀電力變壓器實際製造過程，包含矽鋼片剪裁、鐵心堆疊、鐵心捲繞、鐵心線圈組立及出廠試驗之絕緣電阻量測項目，相關作業方式及品質要求與國內製造廠家大致相同，其中矽鋼片剪裁後的存放管理方式，可供國內製造廠家參考，矽鋼片切面部分易生鏽，尤其在台灣潮濕環境下，更需嚴加管控。

建議：未來新購變壓器製造時，可要求製造廠家對裁剪後 矽鋼片進行塵空及濕度管控，避免生鏽。



圖十九 電力變壓器製造流程及核能電廠檢驗點

表六 製程中檢之檢驗項目

檢驗點	檢查項目		
★ <sub>1</sub> 銅線進料檢查	1. 材料核對 2. 尺寸 3. 導體導通測試	4. 銅線導電率測試 > 98% 5. 導體延伸測試 > 15%	6. 均壓環(靜電環)抽檢 7. 遮蔽線抽檢
★ <sub>2</sub> 線圈捲繞及絕緣作業	1. 尺寸 2. 線圈厚度抽測 允許誤差 0-12%	3. 素線導通測試 4. 遮避線插入位置 5. 油溝片厚度及位置	6. 轉位絕緣處理檢查 7. 繞線匝數抽檢 8. 繞線方向檢查
★ <sub>3</sub> 線圈組立	1. 引繞處理 2. 線圈尺寸及高度確認	3. 締緊壓力確認 159 kgf/cm <sup>2</sup> 4. 油溝片垂直度	5. 素線間導通測試 6. 檢視乾燥時間及溫度
★ <sub>4</sub> 矽鋼片檢驗	1. 材料核對 2. 尺寸	3. 公差 4. 皮膜電阻抽測 > 200 Ω · cm <sup>2</sup>	5. 矽鋼片損失抽測 < 1.37 W/kg At 1.7T 60Hz

★5 鐵心檢查	1. 尺寸 長寬高 $\pm 3\text{mm}$ 2. 防鏽塗裝 3. 積疊平整性 4. 毛刺抽查 $< 0.03\text{ mm}$	5. 設計積厚檢查 6. 落塵管制 7. 鐵心油道距離及絕緣	8. 鐵心區塊電阻 $< 0.05\text{M}\Omega$ At DC 100V 9. 夾件絕緣檢查 $> 0.1\text{M}\Omega$ At DC 500V
★6 心體組立	1. 清潔度確認 2. 上部繼鐵插入接合(接合間隙) $2\text{mm}$ 內 3. 高低壓線圈引線絕緣距離量測	4. 漏磁防護設計檢視 5. 電場防護設計檢視 6. 匝比試驗 7. 相序檢測	8. 絕緣電阻試驗 鐵心及夾件 $> 0.1\text{M}\Omega$ 500V DC 鐵心區塊 $< 0.05\text{M}\Omega$ 100VDC
★7 釋壓裝置試驗	1. 規格確認	2. 動作試驗 $0.7\text{ kg/cm}^2 \pm 10\%$	
★8 套管檢查	1. 規格確認	2. 電力因數試驗 $< 0.5\%$ At $20^\circ\text{C}$	3. 電容值 銘牌值 $\pm 5\%$
★9 絕緣油試驗	1. 取樣化驗 (1)比重 $< 0.91$ (2)閃點 $> 145^\circ\text{C}$ (3)流動點 $< -30^\circ\text{C}$ (4)黏度 $100^\circ\text{C}$ (cSt) $< 3.0$ $40^\circ\text{C}$ (cSt) $< 12.0$ $0^\circ\text{C}$ (cSt) $< 76.0$ (5)界面張力 $25^\circ\text{C}$ $> 40\text{ dynes/cm}$ (6)中和價 mg KOH/g $< 0.03$	(7)抗氧化劑 質量比 $< 0.08\%$ (8)含水量 $< 35\text{ ppm}$ (9)氧化安定性試驗 72 hr 油泥 $< 0.15\%$ 總酸價 $< 0.5$ 164 hr 油泥 $< 0.3\%$ 總酸價 $< 0.6$ (10)電介質強度 kV 交貨時 $> 35\text{ kV}$ 濾油後 $> 56\text{ kV}$	(11)功率因數 $60\text{Hz}$ $< 0.3\%$ (12)不含多氯聯苯 (13)糠醛含量 $< 5\mu\text{g/L}$ (14)不含腐蝕硫 (15)絕緣油須灌裝於 容量 200 公升之 新油桶中，密加 封閉，完全防水 防塵
★10 焊道非破壞檢測及氣密試驗	1. 材料 2. 尺寸 3. 外觀 (1)噴砂後放置 1 小時開始塗底漆	(2)外殼層漆模厚(總厚) $> 40\mu\text{m}$ ( $> 120$ ) 4. 焊道檢測	5. 氣密洩漏試驗 加壓 $1.0\text{ kgf/cm}^2$ 維持 12 小時
★11 心體入殼檢查	1. 清潔度確認 2. 鐵心與夾件絕緣及接地處理	4. 介質電力因素檢測 (乾燥過程監測) $\tan \delta < 0.05\%/4\text{hr}$	8. 線圈絕緣電測量 At DC 2500V 電阻 $> 5000\text{M}\Omega$

	3. 出爐時間與濕度 管制	5. 非導電用金屬物 接地處理	吸收比 > 1.2 極化指數 > 2
	4. 螺栓力矩檢查	6. 絕緣物外觀檢查	9. 檢查抽真空紀錄
★ 12 出廠試驗	1. 外觀構造檢查	10. 變壓比、極性、相 序試驗	19. 衝擊電壓試驗
	2. 尺寸	11. 繞組電阻試驗	20. 開關突波電壓 試驗
	3. 銘牌位置及內容 確認	12. 無載損失及激磁 電流試驗	21. 耐壓試驗
	4. 表計動作及零配 件位置確認	13. 負載損失及阻抗 電壓試驗	22. 感應電壓及部 分放電試驗
	5. 高低壓套管外觀 及方向確認	14. 噪音試驗	23. 油密試驗
	6. 接地確認	15. 電力因數試驗	24. 鐵心絕緣電阻
	7. 絕緣電阻試驗	16. 無線電干擾電壓 試驗	25. 繞組變形試驗
	8. 切換器操作位置 確認	17. 冷卻系統損失試 驗	26. 取絕緣油分析
	9. BCT 裝配順序 及極性確認	18. 溫昇試驗	27. 套管試驗
			28. 輔助器材試驗
			29. 控制迴路功能 測試

## 六、電力變壓器維護建議

參考日立提出之維護建議，對照本公司「變壓器維護作業基本規定」以及各核能電廠電力變壓器現行維護程序書，在檢查組件、檢查項目及接受標準上均已含蓋，部分項目之接受標準甚至更嚴謹。各廠維護程序與附屬配件更換週期，基本上依照設備原製造廠家說明書訂定，並依運轉維護經驗持續調整及精進。

日立提供的電力變壓器「設備異常處理程序」，可在設備故障初期，根據保護電驛動作狀況，迅速研判故障類型，是一種方便快速的判斷工具，可供本公司各變壓器設備經管單位參考。針對變壓器發生跳機、外部事故、保護裝置動作後，實施之檢查工作之設備異常電氣試驗部分，在本公司「變壓器維護作業基本規定」之異常檢查部分已有對應。

## 七、電力變壓器新技術之應用

日立持續往更高電壓等級電力傳輸設備發展，500 kV 和 1000 kV 等級的電力變壓器及開關設備現已量產投入市場使用。提升輸電系統的電壓等級，可有效降低線路損失，不失為公司未來降低線損策略之選項。

有關光纖溫度偵測之應用，雖可利用 3D 熱流體解析技術，推算變壓器熱點位置，逕行埋入以測得較精確溫度，但因光纖結構較脆弱，依照日立客戶使用經驗，光纖溫度偵測器容易損壞，且無法更換，故不建議使用。

矽膠絕緣套管的應用將可大大提升變壓器的抗震能力，套管設備均裝置於台架，高度較高且設備本身屬細長形，整體重心高，地震時受震度放大效應影響，參考 88 年 921 集集大地震後，中寮變電所各類設備受損比率統計，大部份集中在套管式設備上。由於矽膠絕緣套管目前只能使用至 154kV 之電壓等級，本公司可持續追蹤後續發展狀況，未來若可應用在 161kV 及 345kV 系統，將可提升變壓器等套管設備之耐震能力。

建議：依照日立之經驗，目前電力變壓器運轉監視設備以線上油中氣體分析及線上部分放電監測儀器為主，雖然國際上尚無任何規範建議裝設線上部分放電監測，但這將是未來的一種趨勢，往後在訂定電力變壓器採購規範時，至少預留其安裝位置，以利將來應用。

## 八、電力變壓器老化管理

電力變壓器一般設計之生命週期為 30 年，但主要還是依照其負載量作為區分，電廠主變壓器及輔助變壓器其平常負載量約 90%，甚至更高，預估使用壽命約為 30 年，而起動變壓器平常負載量約在 10 至 30%，其使用壽命可視運轉狀況延長，中部電力公司輸配電用電力變壓器其預期使用年限就訂為 70 年。

本公司評估電力變壓器的老化指標係依據絕緣油中糠醛含量進行判斷，而日本卻是以絕緣物（紙、支持件）整體重量對糠醛含量及 CO 及 CO<sub>2</sub> 含量之百分比作為判斷依據，由於依循的法規不同，故有不同的計算方式。依照日立經驗，糠醛及 CO 及 CO<sub>2</sub> 含量可作為參考指標，但要確切評估變壓器狀態，還是必需進一步執行內檢，取出熱點附近絕緣紙進行分析。

建議：各電廠電力變壓器均訂有內部檢查週期，建議通知原製造廠家，依設計資料找出熱點位置，擷取附近絕緣紙樣本作進一步分析，再配合絕緣油中糠醛含量、電氣試驗結果及變化趨勢綜合評估，以確認設備狀況。