

出國報告（出國類別：實習）

## 輸電線路鹽害防制技術

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：林彥廷 電機工程專員

派赴國家：日本

出國期間：105 年 7 月 21 日至 7 月 30 日

報告日期：105 年 9 月 21 日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：輸電線路鹽害防制技術

頁數 39 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台電 人資處/陳德隆/(02) 2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

林彥廷/台灣電力公司/綜合研究所/電機工程專員/(02) 8078-2224

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：105 年 7 月 21 日至 7 月 30 日

出國地區：日本

報告日期：105 年 9 月 21 日

分類號/目

關鍵詞：高電壓試驗、絕緣診斷方式、絕緣礙子、導線腐蝕

內容摘要：(二百至三百字)

台灣地區因地形及所處環境特殊，架空輸電導線、礙子遭受鹽霧害污染甚為嚴重，因此本公司對輸電線路鹽霧害防治之管理極為重視。為提升台灣地區輸電線路設備對鹽霧害之防治，有必要進行輸電線路鹽害防治之研究。本次擬派員前往日本礙子(NGK)株式會社參訪，研習有關懸垂礙子製造、聚合礙子進行加速老化試驗設備、檢驗、測試程序及礙子耐鹽霧害之設計方式，以提升礙子鹽害防制之相關技術；亦前往 Fujikura 公司與專業廠商及業者技術人員研討架空輸電線路導線腐蝕診斷技術與施行方式。除了針對先進相關技術進行收集、歸納與評估外，另前往東京電力公司與架空線路維護部門之技術人員交流，了解日本在使用導線腐蝕診斷檢知器之經驗，以掌握研究領域的發展趨勢與實況，其成果將有利於相關研究計畫的推行與完成。

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

# 目 錄

行政院及所屬各機關出國報告提要-----	2
目錄-----	3
第一章 前言-----	4
1.1 任務之起源-----	4
1.2 任務之目標-----	4
1.3 行程與內容-----	5
第二章 心得報告-----	6
2.1 線路礙子加速老化試驗設備、礙子耐鹽霧害之設計-----	6
2.1.1 輸電線路礙子使用上之特點-----	8
2.1.2 懸垂礙子製造過程-----	9
2.1.3 聚合礙子之發展歷史-----	12
2.1.4 聚合礙子進行鹽霧試驗程序之試驗方式-----	13
2.1.5 礙子試驗之分類-----	14
2.1.6 聚合礙子試驗樣品-----	15
2.1.7 電爬與腐蝕試驗 - 1000小時鹽霧試驗程序-----	15
2.2 輸電線路腐蝕診斷技術-----	19
2.2.1 導線斷股之原因-----	19
2.2.2 導線的腐蝕現象-----	20
2.2.3 導線內部腐蝕診斷技術-----	23
2.2.4 東京電力公司使用導線腐蝕診斷檢知器之經驗-----	30
2.2.5 Fujikura 現場量測-----	32
2.2.6 導線腐蝕情況之評估案例-----	35
第三章 感想與建議-----	37
參考資料-----	39

# 第一章 前言

## 1.1 任務之起源

台灣地區因地形及所處環境特殊，架空輸電導線、礙子遭受鹽霧害污染甚為嚴重，因此本公司對輸電線路鹽霧害防治之管理極為重視。為進行輸電線路鹽害防治之研究，擬派員前往日本礙子(NGK)株式會社參訪，研習有關礙子、高壓絕緣塗料應用於輸電設備以提升鹽害防制之相關技術；亦前往 Fujikura 公司研討架空輸電線路導線腐蝕診斷技術與施行方式。除了針對先進相關技術進行收集、歸納與評估外，另將與專業廠商及業者技術人員交流，吸收經驗以掌握研究領域的發展趨勢與實況，以提昇研究品質，其成果將有利於相關研究計畫的推行與完成。

## 1.2 任務之目標

本次派員出國選定：(1)赴 NGK 株式會社，研習礙子進行加速老化試驗之設備建置與進行方式；並瞭解國外專業廠商對輸電設備進行高電壓、高電流試驗程序與量測方式及設備絕緣劣化之診斷評估方式；(2)赴 Fujikura 公司，與技術人員研討架空輸電導線腐蝕診斷技術，並前往東京電力公司了解日本電力公司在輸電導線腐蝕診斷的實際做法，所獲得之資訊將可提供本公司輸電線路遭受鹽霧害污染之解決方案。

### 1.3 行程與內容

日期	前往機構	詳細工作內容
07/21-07/21	台北→名古屋	路程
07/22-07/25	日本礙子(NGK)株式會社	赴NGK株式會社，研習礙子進行加速老化試驗之設備建置與進行方式；並瞭解國外專業廠商對輸電設備進行高電壓、高電流試驗程序與量測方式及設備絕緣劣化之診斷評估方式。
07/25-07/25	名古屋→東京	路程
07/26-07/29	Fujikura	赴Fujikura公司，與技術人員研討架空輸電導線腐蝕診斷技術，同時了解日本在輸電導線腐蝕診斷的實際做法。
07/30-07/30	東京→台北	路程

## 第二章 心得報告

台灣地區屬於典型的海島型季候地帶，在夏季不但常有颱風來襲，午後雷陣雨之雷擊事故亦佔線路事故之大部分。此外，冬季更由台灣海峽吹來強烈的東北季風，常在鹽霧季時於大氣中挾帶大量鹽份，加上高濕度的參予，對電力設備尤其是架空輸配電線路，在絕緣特性及材料腐蝕特性上形成極為不利的運轉條件。

由於鹽害、雷害、風害對輸電設備所造成之影響，首以架空輸配電線路由於受到鹽霧害影響導致礙子表面絕緣劣化，以致發生閃絡接地跳脫事故，引發大小區域停電或系統不穩定、電壓驟降等影響電力品質的情形，對於此種類似於天然災害之現象，雖然加強維護及進行各項改善，但有時僅係短時間內發生的急速鹽霧污染，仍會導致線路礙子絕緣能力的大幅降低。因此，如何提升礙子本身耐鹽霧污染之特性，應係首要考慮的事項。

### 2.1 線路礙子加速老化試驗設備、礙子耐鹽霧害之設計

日本礙子(NGK)株式會社成立於西元 1919 年。公司成立之初即開始進行礙子的製造及開發，並針對不同環境與電壓等級持續發展研發製造技術。至今 NKG 世界知名之跨國企業，除位於日本東京的總公司與名古屋的高壓研究所，另外在亞洲的中國、泰國、印尼、南韓；歐洲的法國、比利時、波蘭；美國、墨西哥都有據點或工廠，其產品銷售至超過 100 個國家。在產品的研發方面，目前已成功開發出使用於超高壓(UHV)輸電線路的礙子，亦積極利用其先進之陶瓷技術，將技術擴大應用到不同產業與產品的研發，包含 NAS 電池儲能系統、汽機車使用之火星塞、NO<sub>x</sub> 感知器、電子半導體元件等方面。圖 1 為 NGK 株式會社位於名古屋的電力技術研究所，NKG 在礙子於其他產業的成果如圖 3~圖 6 所示。



圖 1 NGK 株式會社電力技術研究所

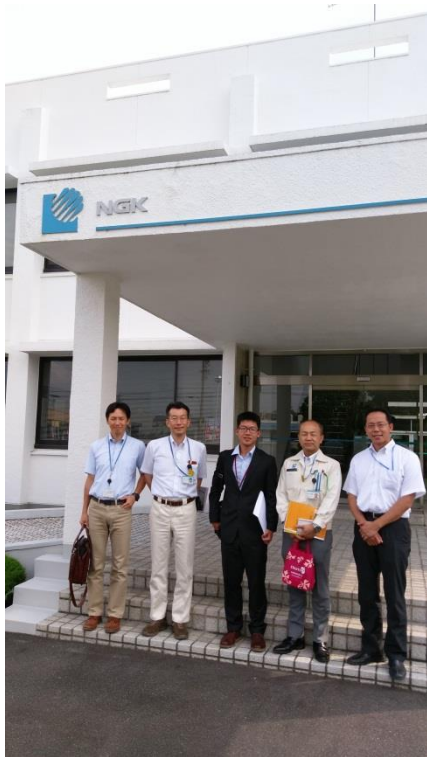


圖 2 與 NGK 技術人員合影

### 2.1.1 輸電線路礙子使用上之特點

架空輸電線用礙子使用上之特點，在於必須安裝至各種複雜多變而嚴酷之自然環境下，長期承受系統電壓或異常電壓、正常荷重或異常荷重。在電氣特性方面，除了要能耐受商用頻率電壓及雷、開關衝擊電壓等各種耐電壓特性以外，對於累積污染或急速污染也必須具有優良的污染耐電壓特性；除此之外，耐電弧特性、耐雜訊特性亦為必須加以考慮的事項。在機械特性方面，除了在最惡劣的颱風天候下所發生的抗張荷重以外，也必須承受導線由於隨時反覆受到風吹擺動，或故障電流電磁力等所產生之荷重。此外，也必須考慮到在施工或維護時對有可能發生之扭轉應力等具有充分的強度。這些應力有時並非單獨發生，因此必須在電應力、機械應力複合之狀態下要求具備所需之性能，此種原則適用於所有不同類別的礙子(陶瓷、聚合礙子等等)。



圖3 NGK 製造之陶瓷礙子



圖4 NGK 製造之聚合礙子



圖5 NGK 製造之突波吸收器



圖6 NGK 製造之NAS電池



## 2.1.2 懸垂礙子製造過程

一般懸垂礙子是由陶瓷製成，用來提供鐵塔與導線之間的絕緣功能。由陶瓷所製成的礙子本體完成後，需要用水泥將金屬製成的插銷(PIN)與帽(CAP)固定，使其能承受支撐導線與鐵塔連接之張力。為確保輸電系統的可靠性，礙子的性能必須要高度可靠，再設計與製造上必須要達到能忍受惡劣環境之要求，圖7為NGK製造之懸垂礙子構造圖。

陶瓷材料製作之懸垂礙子需經過製土、成形、施釉、燒成、品質檢查、組立、最終檢查、發送等一連串過程以確保礙子的品質。NGK礙子製造工廠從製土到組立都以全程自動化製造，在最終檢查才由人工目視檢查礙子是否有破損或是其他損壞的地方。

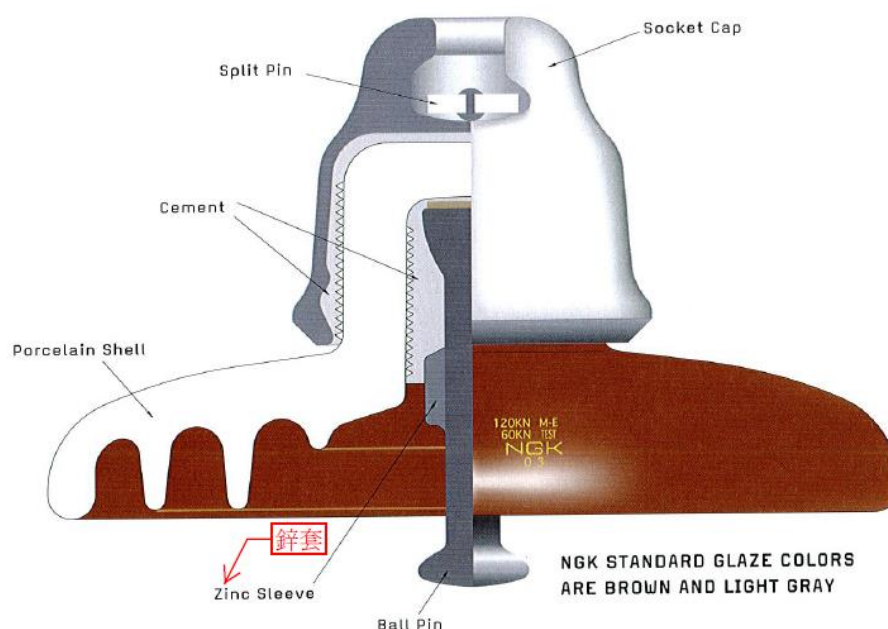


圖7 NGK製造之懸垂礙子構造圖

### 製土

製作陶瓷懸垂礙子的成分包含瓷石、長石、粘土、礬土等，NGK在原料的選用上有一套嚴格的標準，並在製造前會對原料進行檢驗，以確保產品的品質。將其混和後加入卵石、水，均勻粉碎成為微小粒子。之後再經過震動與電磁等過濾技術去除外物、鐵等雜物。最後將其脫水，並壓製成圓盤形狀。



圖8 製土過程

## 成形

將處理後的原料經過真空壓縮成圓柱體後裁剪成礙子的形狀，成型後以熱風吹乾至其含水量到達1%。

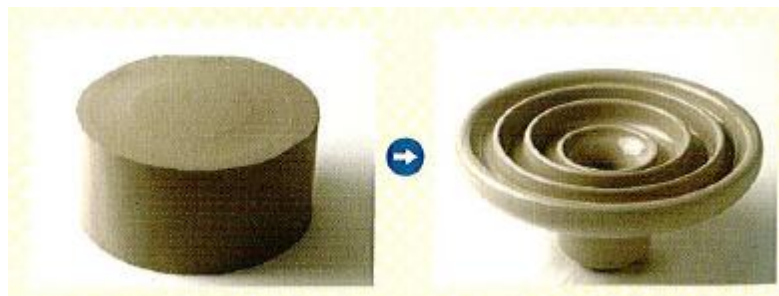


圖9 成形過程

## 施釉

釉的顏色可以依照客戶的要求製作，將釉噴塗在礙子表面上，可以讓礙子增加電性與機械性的強度，也可以防止灰塵附著於表面上。隨後將直徑約1mm的瓷顆粒噴塗在礙子頂部(與金屬材料相接的部分)。

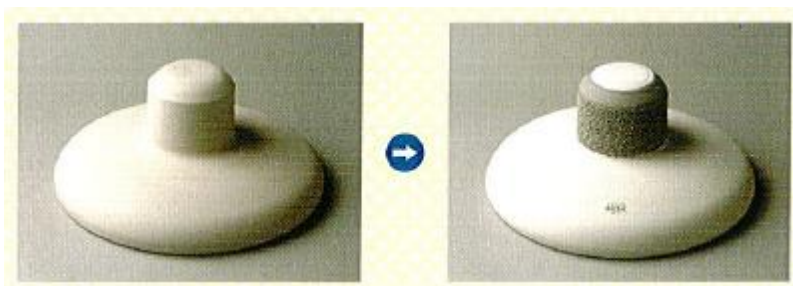


圖10 施釉過程

## 燒製

將噴塗釉原料的礙子放上輸送帶上，準備進入燒製的程序，其燒制的總長度為146公尺，最高溫度可達1300°C。整個燒製過程由電腦全程自動化控制，並考慮當日氣候條件等因素。以維持燒製的最佳品質。

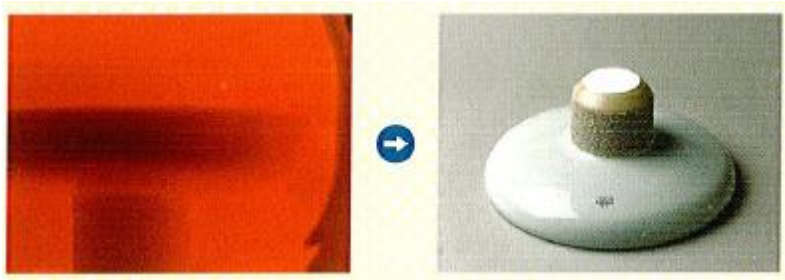


圖11 燒製的程序

### 組立與檢查

由目視檢查礙子表面受否有瑕疵，再經由水壓測試與壓力測試檢驗陶瓷礙子頂部、底部是否有瑕疵，以確定礙子在燒製過程無誤。之後再由水泥將插銷、帽與陶瓷礙子固定，再經過張力測試與電性測試確認礙子成品的品質。



圖12 組立的程序

### 裝運

通過張力測試與電性測試的礙子以木條裝箱固定後，運送給項場使用單位。



圖13 與NGK礙子製造工廠人員合影

### 2.1.3 聚合礙子之發展歷史

使用有機類高分子礙子在 20 世紀初期就已進行研究開發，但有機類絕緣材料若使用於屋外時，由於容易受到紫外線、臭氧、污損或濕潤等影響，導致分子間之偶合分解滋生劣化，因此當時都使用於屋內。特別是若使用於高電壓之情況下，由於電暈或局部污損時發生之局部放電，將使外覆橡膠之表面產生侵蝕或電蝕，使葉片發生電氣貫穿之絕緣破壞問題。在 1950 年代所開發的屋外用樹脂製礙子，係著眼於其耐衝擊機械性能，但以當時之技術所製造出來的產品，重量十分可觀而且電氣特性不佳。1960 年代，使用於屋外配電線之樹脂製礙子在美國被加以商品化，但使用於現場時發生表面劣化及葉片貫穿之異常狀況，以致無法普遍使用。1960 至 1970 年中，電氣絕緣用有機高分子材料之開發極為盛行，使用於屋外者有 PTFE、EPR 等材料，並利用 FRP 作為分擔強度之芯材，即以複合材料構成，大致上類似現在聚合礙子的構造。

義大利則由 1960 年代後半至 1970 年代初期，使用 PTFE 作為絕緣材料，將聚合礙子商品化，由於其耐電蝕的特性極為優異，因此使用於電車線路，但其後因發生葉片貫穿或 FRP 芯體斷裂之離斷事故而中斷生產。

1970 年代中期聚合礙子均使用 EPDM 材料，主要係著眼於其耐環境特性穩定，且在污損環境下具有優良的電氣特性，此時具有優異耐污損特性之矽橡膠有機礙子也開始使用。

進入 1990 年代，除了北美地區以外，世界各國也以配電級至

230kv 之範圍擴大使用聚合礙子，但也曾發生一些如脆性破斷等各種異常狀況之經驗，因而對於使用在較高電壓階級時較為慎重。

#### 2.1.4 聚合礙子進行鹽霧試驗程序之試驗方式

聚合礙子是由一種或兩種以上的絕緣材料組成，其絕緣體一般是由碳或矽等元素交連而成的有機化合物，其可以是有機或非有機的成分。儘管有這些一般性的特徵，不同聚合礙子的材料成分和結構會因為不同製造商而有所不同。

聚合礙子相較傳統陶瓷礙子具有價格便宜、重量輕、易於安裝、洩漏電流低等優點，自民國 80 年代中期已廣泛應用於台灣輸電線路之 69kV 及 161kV 系統上，經過多年的研究及使用經驗，台灣地區聚合礙子適用環境與裝設原則已較為完備，並配合定期拆撤試驗機制，其分析結果，大致能反映線路聚合礙子實際使用情況。

惟台灣地處亞熱帶地區，高溫、高濕度，夏天常遭受颱風侵襲，冬天東北季風帶來的鹽霧害更是影響輸電設備之可靠性甚具，有些使用地區除了等效鹽份附著量較高外，不溶性物質之附著為最重要因素之一。以往之檢測礙子適用性之方式，往往選定代表性的實際線路進行活線吊掛，定期進行礙子紫外光放電影像觀測、定期拆撤對其電性與化學性進行分析。此方式雖能實際反映礙子應用於輸電線路之實際情況但往往曠日廢時，一般至少需進行三年以上的觀測與資料蒐集才能有所可判斷其適用性。

NGK 株式會社於日本名古屋建設有礙子製造工廠與高壓實驗室，進行礙子的製造與輸電設備相關試驗。其實驗室並於 1999 年獲得 ISO/IEC 17025 之認證。其對於聚合礙子之檢驗設備乃依照 IEC 62217 所規範之項目進行設計，並依照 IEC 等國際標準進行礙子之設計與製造，本次藉由參訪 NGK 株式會社，實際了解礙子進行加速老化試驗之設備建置與進行方式，未來或許可以建立鹽霧加壓試驗室，以人工汙染之方式模擬礙子等輸電設備運轉於現場之環境，其成果可應用於評估輸電設備應用於現場環境之適切性，以提升鹽害防制之相關技術。

### 2.1.5 礙子試驗之分類

聚合礙子的試驗方式可區分為以下四種：

#### 1. 設計試驗(Design tests)

設計試驗的目的是要驗證礙子在設計、製造、材料等方面的可行性。包含：芯桿材料、包覆之製造；末端的設計、接附等方法；葉片厚度的設計等等。

#### 2. 形式試驗(Type tests)

形式試驗是從礙子的形狀與大小驗證聚合礙子的特性。

#### 3. 抽樣試驗(Sample tests)

抽樣試驗的目的是從礙子製造的品質與材料的使用上驗證聚合礙子的特性。



#### 4. 例行試驗(Routine tests)

例行試驗的目的是減小甚至是消除製造上所產生的瑕疵。

### 2.1.6 聚合礙子試驗樣品

進行試驗之聚合礙子應符合以下要求：

聚合礙子之尺寸應在下列誤差內

- $\pm(0.04 \times d + 1.5)$  mm ,  $d \leq 300$  mm ;
- $\pm(0.025 \times d + 6)$  mm ,  $d > 300$  mm ; 其中最大忍受誤差  $\pm 50$  mm

### 2.1.7 電爬與腐蝕試驗 - 1000 小時鹽霧試驗程序

長期鹽霧老化試驗的基本原理是以藉由噴灑鹽霧於礙子，以產生連續性的放電現象。放電所產生的熱、紫外線、氣體將以兩種模式影響礙子的絕緣性：一、由於鹽份對礙子表面的侵蝕會使礙子表面潑水性逐漸減小，絕緣體的電介質強度也將隨之減小，其過程將導致閃絡現象的發生，我們可以將其視為鹽霧汙染測試。二、礙子芯體、葉片產生之腐蝕、電爬、擊穿或水分滲透等不同種類的損傷，可以將其視為老化測試。

此試驗需於鹽霧試驗室中持續商頻加電壓於被試驗物 1000 小時以確認其耐受性與可靠度。特別須說明的是，其並不是一個加速老化試驗，因為此試驗不是直接模擬礙子實際壽命之裂化情況，也不是在一短時間內進行加速壽命等校測試，而是施加連續的應力以檢測礙子

材料上與設計上可能存在的弱點，以了解礙子實際裝設於運轉中之線路可能會遭遇的問題。

一個礙子從良好的狀態轉變成生命終期，經常是快速且沒有預警的。此一轉化之過程受會很多的因素影響，包含絕緣材料、絕緣設計與運轉中的環境等因素。此老化測試無法評斷礙子真正的生命終期，其試驗之資料只可用於評估在相同的環境之下對礙子所產生的風險，評估礙子可能遭受之損害與劣化情況。因此本試驗之主要目的是模擬一般環境的條件下(非極度嚴苛環境下)，建立評估礙子在設計上與材料上之指標。

## 測試實驗室

- 此房間應具有防濕氣、防腐之功能，其空間大小為  $15\text{m}^3$ 。
- 應有一個  $80\text{cm}^2$  的小孔與外部空氣流通。

## 鹽霧產生器

此鹽霧實驗室應具有可以持續噴霧的噴霧器，並可以應使水霧化形成大小為  $5\mu\text{m}$  至  $10\mu\text{m}$  的水滴。其噴嘴可以產生交替產生或持續產生相同大小的水滴。噴霧器或噴嘴應安裝在該實驗室的底部，而不是被直接噴射到試樣上。鹽霧應由 NaCl 與去離子水調配而成。

## 鹽分校準

鹽份的校準應該要在試驗開始之前實施。此程序至少應有兩個容量為  $8000\text{mm}^2 \pm 2000\text{mm}^2$ 、最大高度 100 mm 的容器。每個應放置於離被試物最近、不會被被試物遮蓋到，且不會有水滴掉落的地方。



其每小時必須要蒐集 1.5 ml 與 2.0 ml(蒐集至 8000mm<sup>2</sup>), 並依照 IEC 60068-2-11 的規定, 時間週期為 16 小時。

## 測試礙子樣品

測試樣品應在測試前以去離子水清洗乾淨。第一個測試樣品應以水平的方式安裝, 高度大約為房間高度的一半; 第二個應以垂直的方式安裝。樣品與樣品之間間隙、樣品與實驗室頂部、牆壁、地板應小於 400mm。

## 測試電壓

- 測試電壓: 14 - 20KV。
- 最大電壓降: 高電壓側 1 秒期間須經歷 250mA (r.m.s) 5%
- 電流防護等級: 1A (r.m.s)。

## 測試狀態

- 測試環境中之周圍溫度: 20°C ± 5K
- 為進行觀測試驗中礙子狀態之需要, 1000 小時的試驗過程中可允許不超過 1 小時的中斷時間, 其中斷的時間不應被計算在 1000 小時的試驗過程中。最後的測試報告要記錄所有的中斷試驗的紀錄。
- 噴灑之初始的鹽霧成分如下表 1 所示:

表 1 噴灑鹽霧成分與礙子尺寸對照表

直徑 mm	初始的 NaCl 成分 kg/m <sup>3</sup>	
	I/A ≤ 3	I/A > 3
< 50	8 ± 0.4	4 ± 0.2
50 ~ 150	4 ± 0.2	2 ± 0.1
> 150	2 ± 0.1	1 ± 0.1
I/A 延面距離/電弧距離		

如果於初始的階段發生超過一個閃絡，此測試需要重新啟動，並將初始的 NaCl 成分減半。礙子以自來水清洗後，重新測試 8 小時(中斷的時間將不會被計算於此測試中)。這流程將持續重複，直到閃絡不再發生。所有的閃絡次數與跳脫次數都應被記錄在測試報告中。

### 試驗後可接受的標準

- 沒有電爬發生。
- 對於複合型礙子：腐蝕路徑小於 3mm，且並沒有到達芯體。
- 對於樹脂型礙子：腐蝕路徑小於 3mm。
- 沒有葉片、被覆、表面被擊穿。

## 2.2 輸電線路腐蝕診斷技術

在台灣，冬季更由台灣海峽吹來強烈的東北季風，常在鹽霧季時於大氣中挾帶大量鹽份，加上高濕度的參予，對電力設備尤其是架空輸配電線路，在絕緣特性及材料腐蝕特性上形成極為不利的運轉條件，且部分之架空輸電線路大多已建立超過 30 年，為了維持供電的可靠性，防範輸電線路發生斷線事故，現場維護除了加強點檢與維護等方法外，目前已採用紅外線診斷發熱點，直昇機、高倍望遠鏡、影像分析等方式判斷導體表面鏽蝕與劣化狀況等。

目前架空輸電線路點之方法雖能大致判斷導線的腐蝕情況，但只能對導體表面鋁絞線腐蝕或斷股狀況的定性分析判斷，無法對導體承受拉伸應力的鋼線腐蝕程度(內部與表面)、斷面積與殘餘強度進行分析。

因此，隨著舊架空輸電線路設施的數量日漸老化增多，線路經歷沿海地區海風鹽份，工業地區硫化物、氮氧化物、酸鹼廢氣等侵蝕，加上微風振動或暴風雨等現象，將導致無預警的斷線停電事故，故有必要針對現有的架空輸電線路設施建立 ACSR(Aluminum Conductor Steel Reinforced, or ACSR)架空導體腐蝕量化檢測及使用年限評估技術。儘早更換或修復腐蝕嚴重之導線，以保持穩定的電力供應。

### 2.2.1 導線斷股之原因

導線斷股原因分類如下：

(1)由電弧熱所引起者:

1. 由雷、鹽害發生礙子閃絡。
2. 冰雪、電線跳躍(Sleet Jump)、導/地線下垂、桿距間逆閃絡等在桿距間發生的閃絡。
3. 外物碰觸(如吊車、挖土機、卡車)等

(2)拉力增加所引起者: 積冰雪、風壓增加荷重等。

(3)振動所引起者:

1. 由漩渦所引起的微風振動(Vibration)
2. 由振動(Galloping)等所引起的異振動。

(4)腐蝕所引起者

1. 二氧化硫、氯氣等工業鹼、煤煙等
2. 海風鹽份侵蝕

(5)導、地線退火(Annealing)所引起者

1. 接線套管、地線之雙溝夾板或接地板等出口處

### 2.2.2 導線的腐蝕現象

鋼芯鋁纜，或稱鋼芯鋁線，是使用於架空輸電線上以輸送電力，其內層中心導體是以拉力較強之鋼素線作為導線之芯體，在實務上作為導線芯體的鋼素線會在其表面鍍鋅，鍍鋅鋼線是以鋼線施加熱浸鍍鋅或電鍍鋅而成，具有防鏽、防蝕功能，緩和腐蝕速度。雖然鋼素線的導電性較差，但由於集膚效應，電流大部份經由纜線外層通過，

因此內層導電性較差對導線整體之輸送能力影響不大。因鋁具有良好的導電性、重量輕、較銅便宜之優點，故芯體外層繞以鋁素線包覆。鋁素線包覆 ACSR 電線外部並直接曝露於大氣中，當鋁表面與氧氣作用後會生成保護性的氧化膜於表面上，阻隔了底材與周圍腐蝕環境的接觸以防止腐蝕。

因為 ACSR 導線由鍍鋅鋼素線及鋁素線兩種電線包覆而成，腐蝕情形比一般鋁導線及銅導線複雜。ACSR 的電線壽命一般依大氣腐蝕、鋅層腐蝕、裂縫腐蝕、疲勞腐蝕情況而定，如森林大火所伴隨的高溫、溼度、煙霧也會造成鍍鋅鋼線壽命減低，而溫度提高會造成強度損失並導致導線下垂而減低安全高度，降低導線可靠度。

根據日本對輸電線路的腐蝕情況的統計資料顯示，在 456 筆的資料中，因海鹽而使導線腐蝕的比例高達 74%，工業汙染等其他因素約占 33%。

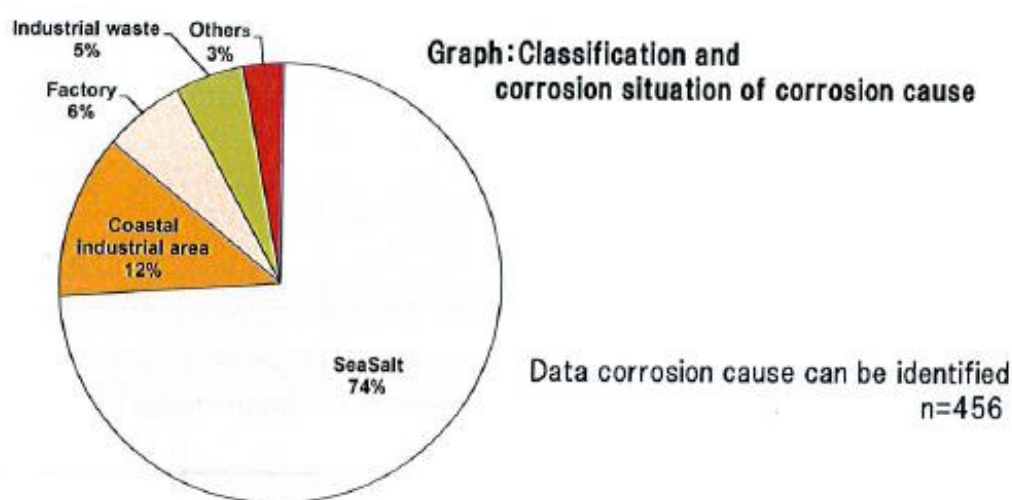


圖 14 導線腐蝕之原因

## 海鹽之腐蝕特徵

海鹽侵蝕會侵蝕鋁素線的內導體，愈內層孔蝕愈嚴重，使內部的鋁素線產生氧化，粉狀腐蝕生成物分布於導線內的空隙中，阻礙電流的流動而使鋼素線的溫度上升，與水氣結合會更加速導線腐蝕的過程。鍍鋅鋼素線也會因腐蝕而逐漸失去防腐能力。當鋁素線長期受到腐蝕及荷重影響逐漸失去材質延展性與強度，產生斷股的機率便大大提升。

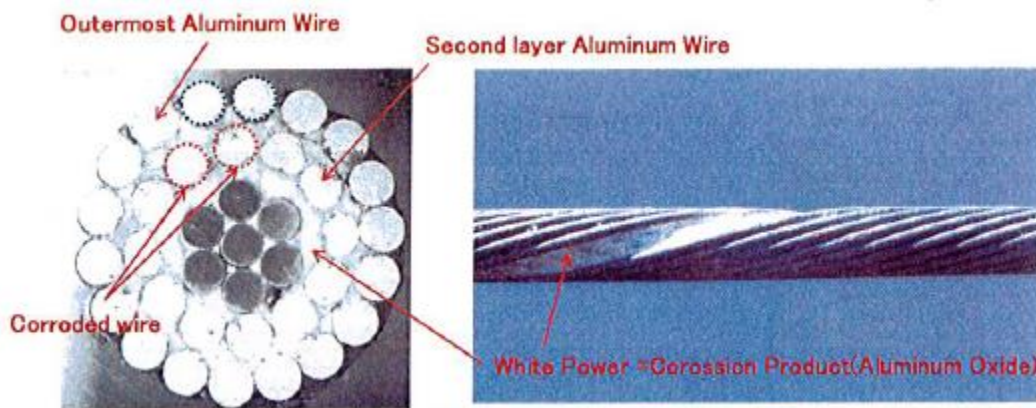


圖 15 導線海鹽腐蝕現象

## 工業排放廢氣之腐蝕特徵

工廠排放之廢棄帶有硫、磷化物等汙染物質，容易引起導線外部的腐蝕現象，從外部可明顯觀察出腐蝕的嚴重程度。

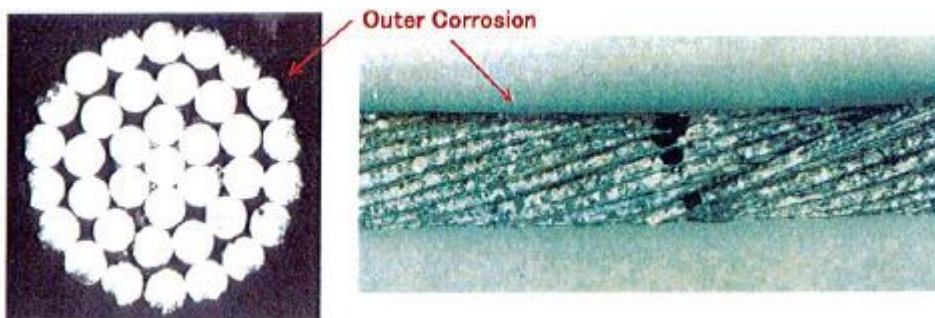


圖 16 工廠排放之廢棄腐蝕現象

## 酸霧之腐蝕特徵

高濃度之酸性物質雖不會對鋁素線產生腐蝕，但鋼線對酸性物質的防腐能力較弱，故從外表上不易觀察出導線的腐蝕情況。

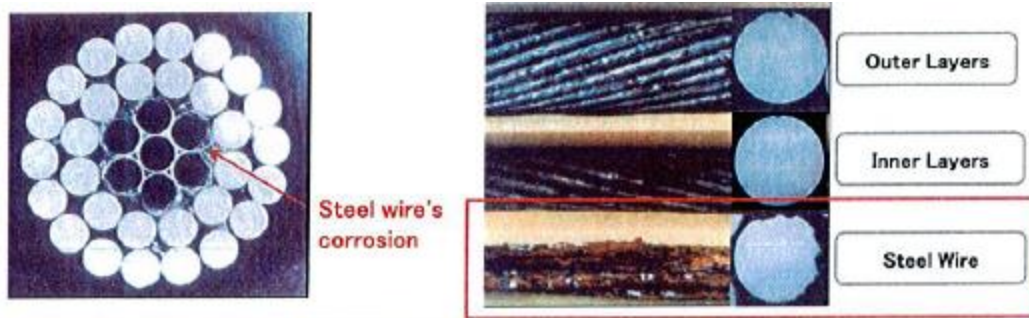


圖 17 酸霧之腐蝕現象

### 2.2.3 導線內部腐蝕診斷技術

Fujikura 公司與日本東京電力公司共同成功開發出架空輸電線路非破壞性渦電流導線腐蝕診斷檢知器，從西元 2001 年開始發展技術，並完成方法驗證、裝置試作和性能確認，於 2004 年開始陸續應用在日本各電力公司之輸點導線腐蝕的點檢上，至今已有超過 15 年之使用經驗，除東京電力公司之外，東北電力公司、中國電力公司、九州電力公司等日本 10 家電力公司均有應用此技術進行導線腐蝕的檢測。

此設備可以診斷導線內部的腐蝕狀況。對於 ACSR (Aluminum Conductors Steel Reinforced) 線路，其可以診斷每一條鋁線與鋼線的腐蝕情況。此設備需手動操作，檢驗員需將設備裝掛於導線之上。檢驗時，檢驗員需於導線上操作檢測設備的行進，對導線之腐蝕情況進行



量測，其設備於現場之檢測如圖 19 所示，可進行檢測之導線規格如表 2 所示。



圖 18 與 Fujikura 公司技術人員合影



圖 19 導線腐蝕現場檢測

導體材料內部腐蝕分析可由電氣、物理、化學、形狀變化等各種因素探討。這些分析方法目標包括下列三點，(1)內部腐蝕分析，(2)定量分析，(3)活線的應用以及素線與絞線分析。根據文獻結果，阻



抗值和導體內部腐蝕具有相互關聯性，一旦內部發生腐蝕現象，導線斷面積因氧化作用而減少，造成阻抗值上升，故依據量測導體之交流阻抗的方法來診斷導體內部腐蝕的方法最有效，因此可藉由依據測量導體的交流電流總和及電壓下降的比例估算阻抗值評估導線之腐蝕程度。

應用渦流檢測方法(eddy current method) 與高頻(1~500 kHz)和低頻(20 Hz)電流的技術診斷鋼芯鋁絞線內部腐蝕情況是 Fujikura 公司研發之專有技術，藉由量測導體內部阻抗值，能夠連續且定量導體材料的腐蝕狀況（殘留率和強度）。低頻電流主要用於量測鋼素線之腐蝕情況；高頻電流可用於量測鋼素線與鋁素線之腐蝕情況，惟高頻電流的頻率是非固定的，檢測選用的最佳頻率會依照導線的種類不同而異，渦流檢測頻率與導線材料之分析，如圖 20 所示。

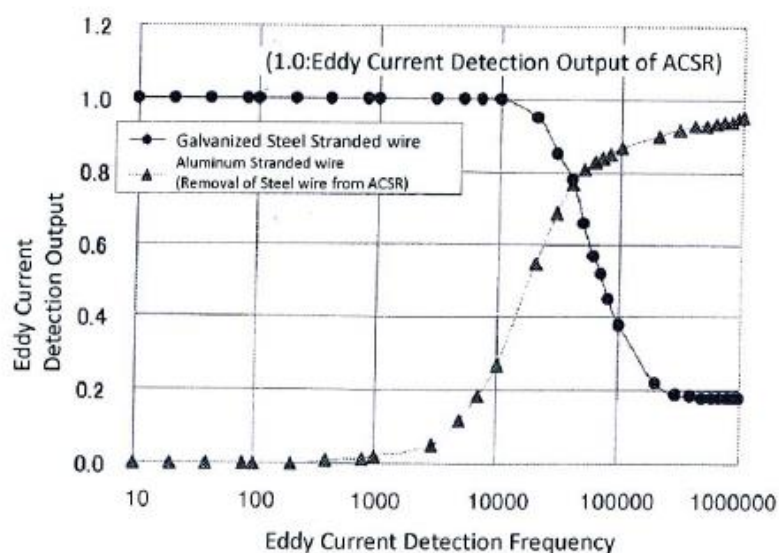


圖 20 渦流檢測頻率與導線材料之分析

表 2 架空輸電線路導線腐蝕診斷檢知器規格

No.	導線尺寸	外徑
1	80 mm <sup>2</sup>	13.00 mmφ
2	97 mm <sup>2</sup>	16.00 mmφ
3	120 mm <sup>2</sup>	16.10 mmφ
4	IACSR 120 mm <sup>2</sup>	17.50 mmφ
5	160 mm <sup>2</sup>	18.20 mmφ
6	170 mm <sup>2</sup>	18.35 mmφ
7	200 mm <sup>2</sup>	20.30 mmφ
8	240 mm <sup>2</sup>	22.40 mmφ
9	260 mm <sup>2</sup>	22.30 mmφ
10	330 mm <sup>2</sup>	25.30 mmφ
11	410 mm <sup>2</sup>	28.50 mmφ
12	520 mm <sup>2</sup>	31.50 mmφ
13	610 mm <sup>2</sup>	34.20 mmφ
14	680 mm <sup>2</sup>	36.00 mmφ
15	810 mm <sup>2</sup>	38.40 mmφ
16	1520 mm <sup>2</sup>	52.8 mmφ

導線腐蝕偵測器主要結構可分為兩部分，主偵測器(Main detector)、滑動偵測器(Sliding sensor head)、其他包含電池等附屬配件，總重量約 20kg，量測的資料以無線傳輸的方式傳送至地面的電腦接收、儲存、分析。導線腐蝕偵測器外觀如圖 21、圖 22。檢測器的規格如表 3。

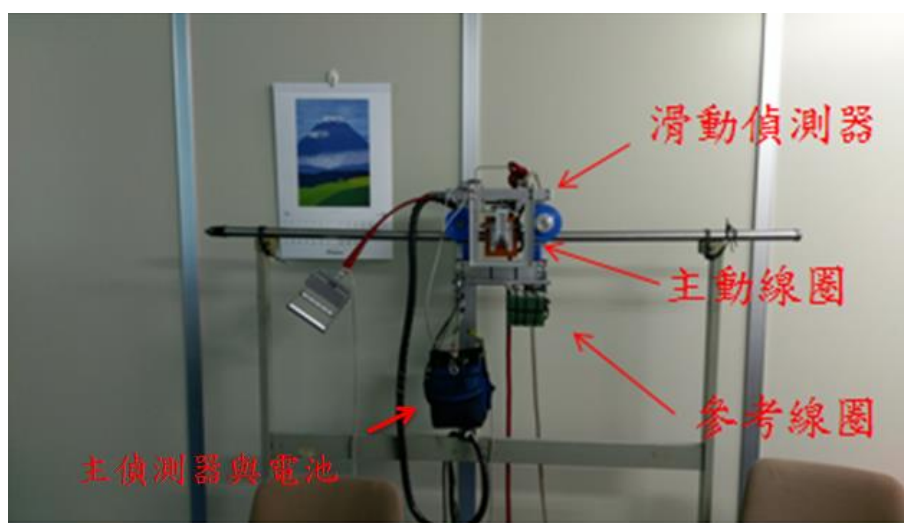


圖 21 導線腐蝕偵測器實品

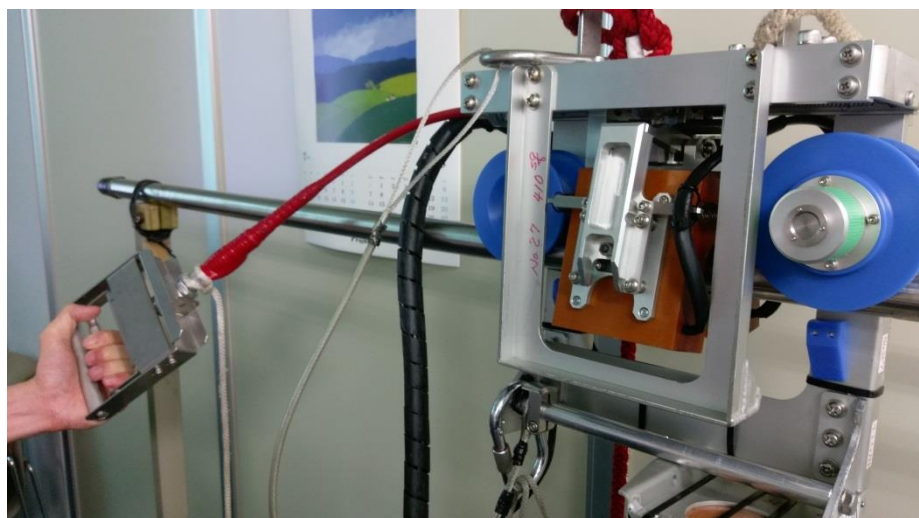


圖 22 滑動偵測器檢知器實品

表 3 架空輸電線路導線腐蝕診斷檢知器規格

導線規格與能力	標準 ACSR 120~810mm <sup>2</sup> (更詳細的導線規格需與 Fujikura 聯繫確認)
偵測原理	使用高頻(1~500 KHz)與低頻(20 Hz)電流，以渦電流法(eddy current)量測鋼與鋁素線的電流
檢測器推進能力	里程：約 1000m/單一電池 速度：約 10m/min 爬坡能力：約 20°
電源供應方式	鋰電池
重量	偵測器本體：8 kg 滑動偵測器：約 9 kg 電池與配件：約 3kg 總重量：約 20 kg
外部尺寸	偵測器本體：200×90×270 mm (W×H×D) 滑動偵測器：300×380×120 mm (W×H×D)
檢測區間	10cm ~ 10 m
資料傳輸方式	量測的資料可以以無線傳輸的方式傳送至地面的電腦接收並儲存。(傳送距離約 1km)
檢驗結果	根據量測結果計算鋼線與鋁線的殘餘比率
控制方式	手動操作或由無線電遙控操作

渦電流檢測主要由滑動偵測器進行，其結構包含主動線圈與參考線圈，滑動偵測器會產生一電壓源，其電流經過主動線圈後，利用電磁感應效應在導體內所產生之循環的電流與參考線圈的電流相比較，再將測量的感應電流值和電壓下降值數據傳送到主偵測器。主偵測器可以將量測到的資料進行阻抗值計算，估算導線截面積之殘餘比率，進而分析導線之拉伸載荷的殘餘比率。此外，檢驗員可以依照不同地形條件與量測標準對主偵測器進行滑動檢測器的前進、後退速度，取樣區間等控制。量測之資料再藉由無線傳輸的方式傳送至地面的電腦接收。渦電流檢測方法如圖 23，渦電流檢測導線之診斷方式示意圖如圖 24，資料分析與資料庫建立流程如圖 25，檢驗結果如圖 26。

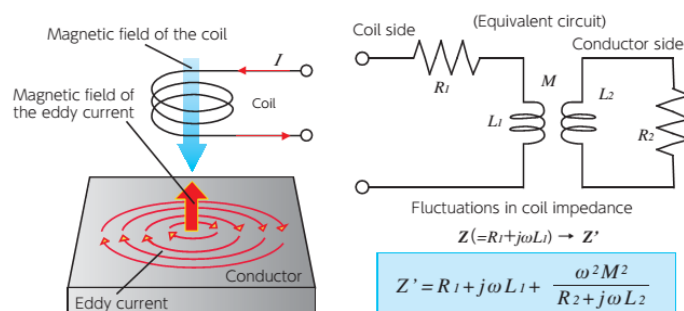


圖 23 渦電流檢測方法

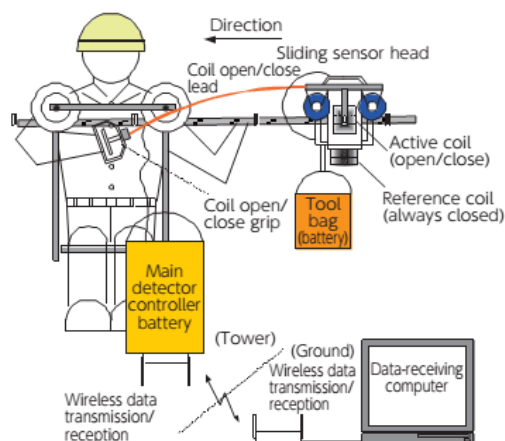


圖 24 導線診斷方式示意圖



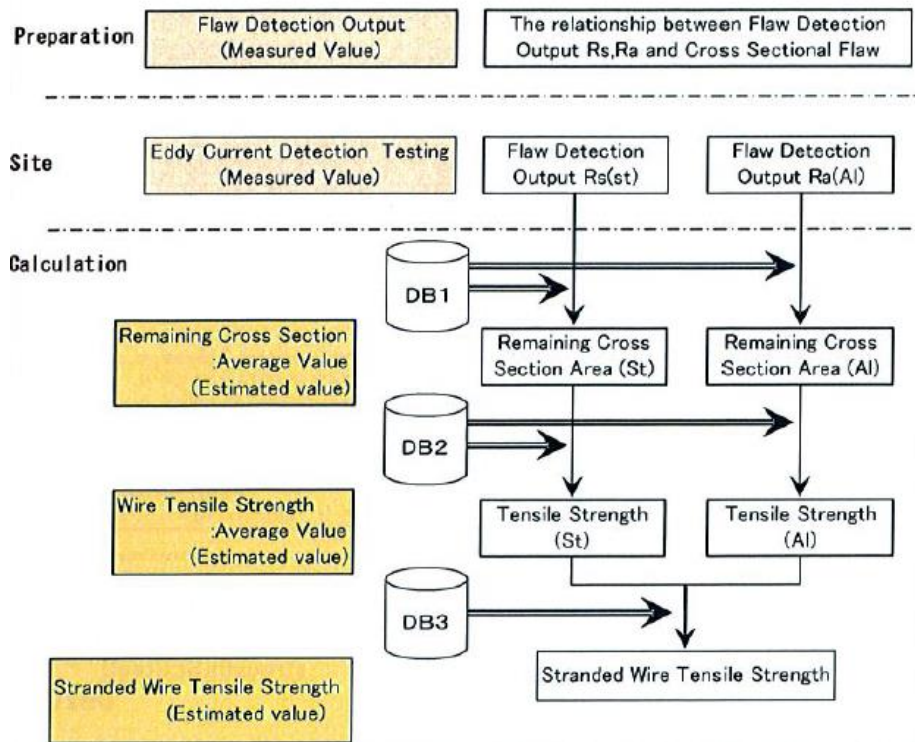


圖 25 資料庫建立流程

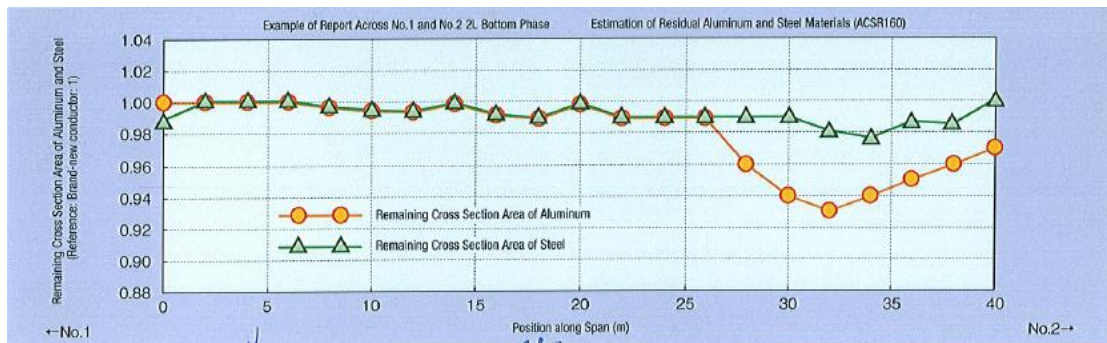


圖 26 根據量測結果計算鋼線與鋁線的殘餘比率

## 2.2.4 東京電力公司使用導線腐蝕診斷檢知器之經驗

Fujikura 公司與日本東京電力公司共同開發架空輸電線路非破壞性渦電流導線腐蝕診斷檢知器，已有 15 年以上的使用經驗。東電架空輸電部門人員表示，此工作一組人力的基本配置約 7~9 員，包含總領班 1 員、導線腐蝕量測技術人員 3 員、地面電腦接收設備操作員 2 員、工安人員 1 員。此項技術在日本已行之有年，東京電力公司視其

需要檢測之線路，將此業務分成兩個部分執行，一部分是人力的方面，東京電力公司將線路上執行儀器操作之高空工作業技術人員發包給當地承攬商執行，其工作含包人力的雇用與配置、檢測的進行；第二部分為資料分析方面，東京電力公司將檢測資料分析等工作委託給 Fujikura 公司執行，其工作包含資料之後處理與導線腐蝕情況的鑑定報告等。Fujikura 公司依電力公司之委託在指定的時間，會同高空作業技術人員前往指定的線路進行檢測。在檢測的過程中，電力公司亦需派員會同監督。最後 Fujikura 需向電力公司提出導線腐蝕評估報告，電力公司依導線腐蝕的報告結果評估架空線路維護的方式。



圖 27 與東京電力公司技術人員討論使用上的經驗



圖 28 與東京電力公司技術人員合影

## 2.2.5 Fujikura 現場量測

此次參訪亦會同 Fujikura 技術人員實際了解導線腐蝕檢測的工作情形。受檢測之線路為 Adeka Hina Line 2 號塔至 3 號塔之間的導線，塔間全長約 400m，線路電壓等級為 66kV，此地距離日本駿河灣約 4 公里，附近有岳南鐵道線及製紙工廠，屬於靠海，有工業污染之平地地形，地理位置如圖 29 所示。

此次高空作業檢驗員 3 源，同時檢測 3 條導線，其中只有中間一條導線進行導線腐蝕檢測的工作，另外上下兩條則進行導線外觀檢查，當日檢測照片如圖 30 ~ 32。檢測當日約從 9:30 開始，並於中午前結束，檢測過程大致可分成上塔 1 小時、檢測 1 小時、下塔 1 小時，總時間約 3 小時。從 Fujikura 提供的資料顯示，一天可以檢測的距離會依照地形而有所不同。約為 800 ~ 1000m。若是檢測的鐵塔位於平地地形，一天約可執行 1~3 段線路；若是山地地形一天可執行 1~2 段線路，一日之檢測能量如表 4 所示。一般的情況下，量測的區間為 1cm ~ 10m，視兩座鐵塔之間的導線檢測位置、當地的外在環境而有所不同，例如靠近鐵塔端的量測的區間為 5m；兩鐵塔之中間導線略為下垂之位置為 2m；汙染較嚴重的位置為 1m 等等。Fujikura 提供的檢測區間標準如表 5 所示。Adeka Hina Line 2 號塔至 3 號塔之檢測區間如圖 29 所示，此底屬於平地地形，故靠近鐵塔端的量測的區間為 5m；在兩座鐵塔中間區段量測的區間為 2m。



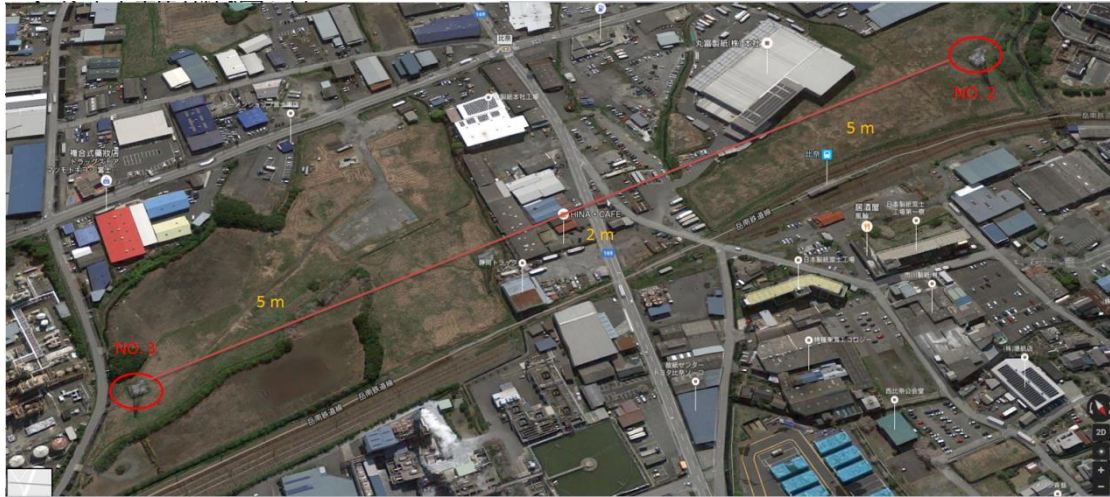


圖 29 Adeka Hina Line 2 號塔至 3 號塔之地理位置



圖 30 Fujikura 執行導線腐蝕檢測(1)



圖 31 Fujikura 執行導線腐蝕檢測(2)



圖 32 Fujikura 執行導線腐蝕檢測(3)

表 4 一日可檢測的工作能量

地面	單導體	2~3 Span/Day
	2-4 導體	1~2 Span/Day
山地	單導體	1~2 Span/Day
	2-4 導體	1 Span/Day

表 5 量測區間

量測點	量測區間
一般地形之區段	5m Interval
兩塔間導線下垂區段(約 50m)	2m Interval
汙染較嚴重之區段	1 m Interval
檢測結果為不正常之區段	1m Interval

## 2.2.6 導線腐蝕情況之評估案例

Fujikura 應用渦流檢測技術計算導線阻抗值後，估算導線截面積殘餘比率，再換算成導線拉伸載荷的殘餘比率，並以百分比呈現計算結果。一般正常的導線標準值為 100%，新的導線標準值為 110%。低於 100% 表示導線強度已有不足的現象。其中  $T_{max}$  為導線最大拉伸強度。ACSR 導線腐蝕診斷之評估與具體處理措施如表 6、表 7 所示。

表 6 ACSR 導線腐蝕診斷之評估範例

評估導線拉伸載荷的殘餘比率 (新的導體標準值為 110%)	導線評估建議
超過標準值 105%	-----
標準值 103% ~ 105%	目前強度無問題，導線無立即性危險，建議持續追蹤。
標準值 100% ~ 103%	雖然目前評估結果符合標準，建議持續追蹤。
小於標準值 100% 且超過 $T_{max} \times 2.5$	導線的強度比標準值低，導線可能已產生相當程度之劣化，未來可能具有危險性。
小於 $T_{max} \times 2.5$ 倍標準值	導線的強度低於安全係數，評估導線有顯著的惡化現象，此導線處於高度危險狀態。

表 7 ACSR 導線腐蝕診斷之具體處理措施範例

<p>評估導線拉伸載荷的殘餘比率 (新的導體標準值為 110%)</p>	<p>具體處理措施</p>
<p>超過標準值 105%</p>	<p>-----</p>
<p>標準值 103% ~ 105%</p>	<p>有必要每年進行週期性觀測，並建議近年內安排導線腐蝕檢測。</p>
<p>標準值 100% ~ 103%</p>	<p>應持續監控，建議未來換裝更高強度的導線 (ACSR/AC)。</p>
<p>小於標準值 100%且超過 <math>T_{max} \times 2.5</math></p>	<p>建議盡快換裝更高強度的導線 (ACSR/AC)。</p>
<p>小於 <math>T_{max} \times 2.5</math> 倍標準值</p>	<p>建議立即換裝更高強度的導線 (ACSR/AC)。</p>

### 第三章 感想與建議

1. 台灣地處亞熱帶地區，高溫、高濕度，夏天常遭受颱風侵襲，冬天東北季風帶來的鹽霧害更是影響輸電設備之可靠性甚具，有些使用地區除了等效鹽份附著量較高外，不溶性物質之附著為最重要因素之一。以往之檢測礙子適用性之方式，往往選定代表性的實際線路進行活線吊掛，定期進行礙子紫外光放電影像觀測、定期拆撤對其電性與化學性進行分析。此方式雖能實際反映礙子應用於輸電線路之實際情況但往往曠日廢時，一般至少需進行三年以上的觀測與資料蒐集才能有所可判斷其適用性，若是能以人工進行加速老化試驗，由實驗室模擬現場嚴苛環境並持續加壓，將能大幅縮短產品驗證與試驗之時間，對電力設備之檢驗、驗收等方面將有所助益。
2. 高壓研究室致力於礙子方面的研究已有多多年之經驗，建立台灣地區鹽害分布之調查與台灣地區與聚合礙子適用環境與裝掛原則，對本公司之輸電線路之維護有所助益。在現場檢測方面，本室使用紫外光放電檢測儀對輸電線路礙子、線路間格器、熱縮套管及相關設備進行檢測，然而此檢測法容易受到外在環境(例如溫溼度、量測距離)影響，此法雖可以對礙子或其他電力設備之放電位置，可進行定性檢測但無法明確定量，亦無法明確判斷礙子或設備之老劣化程度。若是能由實驗室模擬各種環境(溫溼度、紫外線強度、汙染程度)下之放電型態，輔以紫外光影像處理等相關技術，建立

各種條件下之各種放電圖譜資料庫，其成果將有助於本公司建立電力設備紫外線放電影像之判斷標準。

3. 為防範輸電線路發生斷股事故，加強點檢與維護是確保供電品質的方法，傳統利用望遠鏡從鐵塔上和地上進行觀察，或以配合攝影機的自動機檢查導線表層，然而這樣的外觀檢查只能從拍攝影像判斷有沒有腐蝕，無法定量診斷與分析，亦不能判斷導體內部鋼心素線的腐蝕的狀況。Fujikura 公司與日本東京電力公司共同開發架空輸電線路非破壞性渦電流導線腐蝕診斷檢知器可以有效檢測、量化導線外部與內部之腐蝕情況，其成果可提供公司參考與借鏡。

## 參考資料

1. NGK, <http://www.ngk.co.jp/english/>
2. 廖財昌, 「聚合礙子試掛於 345kV 輸電線路之防鹽霧害成效評估研究」, 研究報告, 2009.
3. IEC 62217, “Polymeric insulators for indoor and outdoor use with a nominal voltage >1 000 V – General definitions, test methods and acceptance criteria”, edition 2.0, 2012-09.
4. I. Gutman, R. Hartings, R. Matsuoka, K.Kondo, “Experience with IEC 1109 1000 h Salt fog Ageing Test for Composite Insulators”, IEEE, 1997.
5. <http://www.fujikura.co.jp/eng/>
6. 鄭錦榮, 「69KV 芳苑~二林線#9-#10 導線斷落事故分析」, 研究報告, 2006.