

出國報告（出國類別：實習）

ACSR 架空導體腐蝕量化檢測技術

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：張書維 化學研究專員

派赴國家：日本

出國期間：105 年 7 月 25 日至 7 月 30 日

報告日期：105 年 9 月 28 日

出國報告審核表

出國報告名稱： ACSR 架空導體腐蝕量化檢測技術

出國人姓名 (2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
張書維	化學研究專員	台灣電力公司綜合研究所
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：105 年 7 月 25 日 至 105 年 7 月 30 日 報告繳交日期： 105 年 9 月 23 日

出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4.內容充實完備.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5..建議具參考價值
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正,原因:
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	9.本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表:
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(3) 其他 <u>已於 8/23 赴本所公館所區辦理返國座談會</u>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式:

報告人：  單位：  主管處：  總經理： 

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「公務出國報告資訊網」為原則。

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：ACSR 架空導體腐蝕量化檢測技術

頁數 29 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

張書維/台灣電力公司/綜合研究所/化學研究專員/(02) 8078-2252

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 25 日至 7 月 30 日

出國地區：日本

報告日期：105 年 9 月 28 日

分類號/目

關鍵詞：架空導體、鋼芯鋁線、腐蝕、渦電流

內容摘要：(二百至三百字)

本次任務乃針對 ACSR 架空導體腐蝕量化檢測技術，派員赴日本 Fujikura 公司研習架空導體內部腐蝕量化檢測，以了解其技術發展與應用現況，此行也與東京電力公司交流身為電力營運單位對於輸電導體檢測技術之經驗，另在 Fujikura 公司的安排下，於比奈車站見習導體檢測之現場工作，並參訪 VISCAS 位於東京靜岡縣的沼津工廠，了解新型導線的技術特點與適用環境。架空導體腐蝕量化檢測技術除可進行非破壞性檢測外，亦可同時定量分析導體之內部腐蝕與外部腐蝕情形，有助於輸電線路之運維管理，可提升電力供應之穩定性及降低輸電運維成本等效益，技術與成果值得參考，也有助於相關研究計畫之推行。

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

目錄

出國報告書審核表.....	1
出國報告提要.....	2
目錄.....	3
圖表目錄.....	4
第一章 前言.....	5
1.1 任務之起源.....	5
1.2 任務之目標.....	5
1.3 行程與內容.....	6
第二章 心得報告.....	7
2.1 FUJIKURA 公司設備技術研習.....	7
2.1.1 日本 ACSR 架空導體現況與腐蝕機制.....	7
2.1.2 ACSR 架空導體腐蝕量化檢測技術特點.....	10
2.1.3 設備功能與原理.....	13
2.1.4 資料庫建立方法.....	14
2.2 東京電力技術使用經驗討論.....	16
2.2.1 檢測技術發展緣起與現況.....	16
2.2.2 使用者經驗討論.....	17
2.3 比奈車站現場實際運行見習.....	19
2.3.1 現場檢測適用環境與工作流程.....	19
2.3.2 實際運行見習概述.....	21
2.3.3 檢測數據判讀.....	24
2.4 參訪 VISCAS 沼津工廠之新型輸電導線.....	26
2.4.1 VISCAS 沼津工廠.....	26
2.4.2 新型輸電導線.....	26
第三章 感想與建議.....	28
參考資料.....	29

圖表目錄

圖 1 Fujikura 總公司	7
圖 2 鋼芯鋁線(ACSR)構造示意圖	9
圖 3 導線主要腐蝕之成因統計與分類.....	9
圖 4 導線內部腐蝕特徵-海鹽	9
圖 5 導線內部腐蝕特徵-酸霧	10
圖 6 導體腐蝕檢測設備架構示意.....	11
圖 7 導體腐蝕檢測設備現場示意.....	12
圖 8 導體腐蝕檢測設備原理-渦電流檢測	13
圖 9 導體腐蝕檢測設備原理-渦電流檢測	14
圖 10 建立檢量線樣品的範例.....	15
圖 11 殘餘線徑與量測訊號之相關性分析.....	15
圖 12 殘餘線徑與拉伸強度之相關性分析	15
圖 13 建立檢量線與資料庫之完整流程圖	16
圖 14 導體腐蝕量化檢測實績數統計.....	17
圖 15 東京電力交流討論情形.....	18
圖 16 比奈車站實際運行見習位置與環境.....	21
圖 17 導線腐蝕檢測見習-1	22
圖 18 導線腐蝕檢測見習-2	22
圖 19 導線腐蝕檢測見習-3	22
圖 20 導線腐蝕檢測之數據範例-內部腐蝕	24
圖 21 VISCAS 沼津工廠主力輸電導線產品	26
圖 22 VISCAS 新型輸電導線產品型式與研習剪影	27
表 1 目前可應用導體腐蝕檢測之線徑規格	11
表 2 導體腐蝕檢測設備尺寸與重量分布規格	12
表 3 建議施作導線腐蝕檢測之環境狀況	19
表 4 現場檢測所需人員基本配置與職掌	20
表 5 導線腐蝕檢測間隔標準.....	23
表 6 導線腐蝕檢測數據結果評估與建議	25

第一章 前言

1.1 任務之起源

近年來供電吃緊，架空輸電線路擴建困難，為了維持供電的可靠性，防範輸電線路發生斷線事故，供電系統已採用紅外線診斷接點發熱，直昇機、高倍望遠鏡、影像分析等表面的劣化狀況判斷導體表面鏽蝕或斷股方式，現場維護除了加強點檢與維護等方法外，目前架空輸電線路點檢皆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構成導體鋼氣因腐蝕、疲勞、應力腐蝕等現象，導致無預警的斷線停電事故，故有必要將現有的架空輸電線路設施建立 ACSR 架空導體腐蝕量化檢測及使用年限評估技術，以保持穩定的電力供應及輸電運維合理成本。

本次任務乃依 105 年度「ACSR 架空導體腐蝕量化檢測技術」出國計畫內容，針對 ACSR 架空導體腐蝕量化檢測技術，派員赴日本，對現行相關技術進行資料收集、歸納與評估，掌握研究領域的發展趨勢與實況，並與其他相關從業人員交流吸收經驗，將有利於技術的引進與後續技術推行。

1.2 任務之目標

本次出國任務目標為(1)研習 ACSR 架空導體腐蝕量化檢測技術之裝置、原理與應用方式(2)了解先進國家對於架空輸電線路的腐蝕評估

與管理方式，以供借鏡，依此建立研發能力與相關技術。本次實習內容，可概略分為 4 大要點：

研習：Fujikura 公司設備技術研習。

討論：東京電力技術使用經驗討論。

見習：比奈車站現場實際運行見習。

參訪：參訪 VISCAS 沼津工廠之新型輸電導線。

1.3 行程與內容

日期	前往機構	詳細工作內容
07/25	台北→東京	路程
07/26	Fujikura Ltd.	Fujikura公司設備技術研習
07/27	東京電力公司 (Fujikura Ltd.)	東京電力技術使用經驗討論
07/28	Fujikura Ltd. VISCAS	比奈車站現場實際運行見習 參觀VISCAS沼津工廠產線作業
07/29	Fujikura Ltd.	討論技術引進之可行性
07/30	東京→台北	路程

第二章 心得報告

2.1 Fujikura公司設備技術研習

Fujikura 集團創立於 1885 年，總公司位於東京，最早以棉絹卷線製造起家，從 1890 年開始絕緣電線的製造，並持續擴展國際化事業活動，除日本外，企業版圖涵蓋亞洲、中國、歐洲、中東、非洲等地區，全世界的相關公司與辦公處近百家，全集團員工總數超過 5 萬人，公司原本以電力電纜線起家，集團目前以四大事業體為核心，分別為電力與通訊傳輸、電子零組件事業、汽車產品與房地產事業等。此行 ACSR 架空導體腐蝕量化檢測設備技術研習的地點為 Fujikura 位於東京總公司旁的 R&D Center，其定位近似於本所，主要為技術研發與評估，如圖 1。



圖 1 Fujikura 總公司

2.1.1 日本 ACSR 架空導體現況與腐蝕機制

目前在最常用的架空輸電線材料中，鋁已逐漸取代銅，雖然欲達成相同損失，鋁導體之截面積比銅導體大，但是鋁成本較低，重量較輕，且較銅含量豐富，並較易取得。在輸電線路中，常使用的導體之一即鋼芯鋁線（Aluminium Conductor Steel Reinforced, ACSR）。如圖 2 所示，其結構是由中心為鋼線，外圍由鋁線絞成，且因為鋁絞線導體可以容易

被製造出，因此較大尺寸的導體只要依序增加其外圍線層數即可獲得，又因此導體便於排列成股導體，較實心導體之應用彈性佳，且此導體中心使用鋼線，並使得導體具有較高之強度重量比。

此行經與日方人員討論了解到，日本與台灣狀況近似，同樣有架空輸電線路設施老化之問題，至今為止，超過 30 年仍在服役的線路總計超過 60 萬公里[1]，而腐蝕情形依其成因分類並統計結果如圖 3[1]所示，顯示主要腐蝕之成因為海鹽、沿海工業區、工廠與工業廢棄物等，其中海鹽與沿海工業區合計超過 80%，顯示沿海地區為最高風險區域，而現今本公司對於架空導體線路的維護準則，也同樣以距離海岸線的距離作為分級依據，以最高風險之維護等級為 0~1km 為例，每年須點檢一次，導線汰換週期為 10~15 年[2]。

導線腐蝕依其特徵，可分成內部腐蝕與外部腐蝕，海鹽便是內部腐蝕之主要肇因，其特徵為在導線內部形成含鋁之白色腐蝕生成物，不易從外觀發覺腐蝕現象，腐蝕部位為內部鋁絞線，如圖 4 所示，而另一種內部腐蝕現象，腐蝕部位則為內部鋼絞線，如圖 5 所示，主要的肇因則為工廠排放的酸霧，其特徵為外部與內部鋁素線均無嚴重腐蝕現象，然鋼素線的截面積(殘餘面積)實已大幅減少，對於導線的使用安全有嚴重影響。

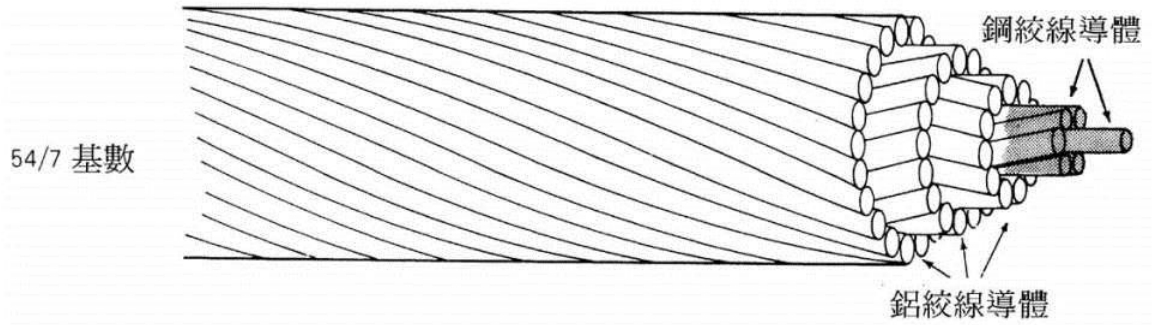


圖 2 鋼芯鋁線(ACSR)構造示意圖

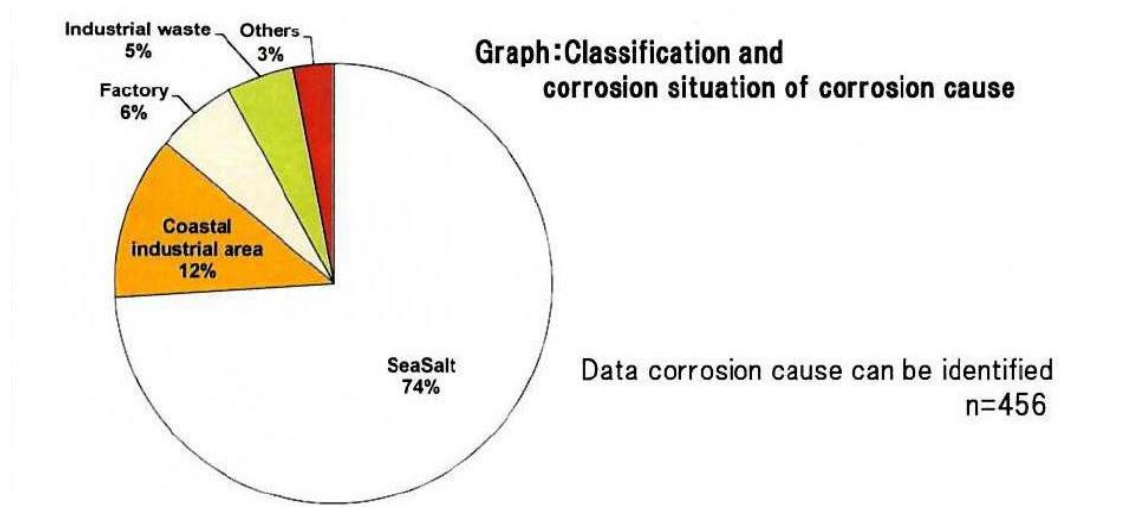


圖 3 導線主要腐蝕之成因統計與分類[1]

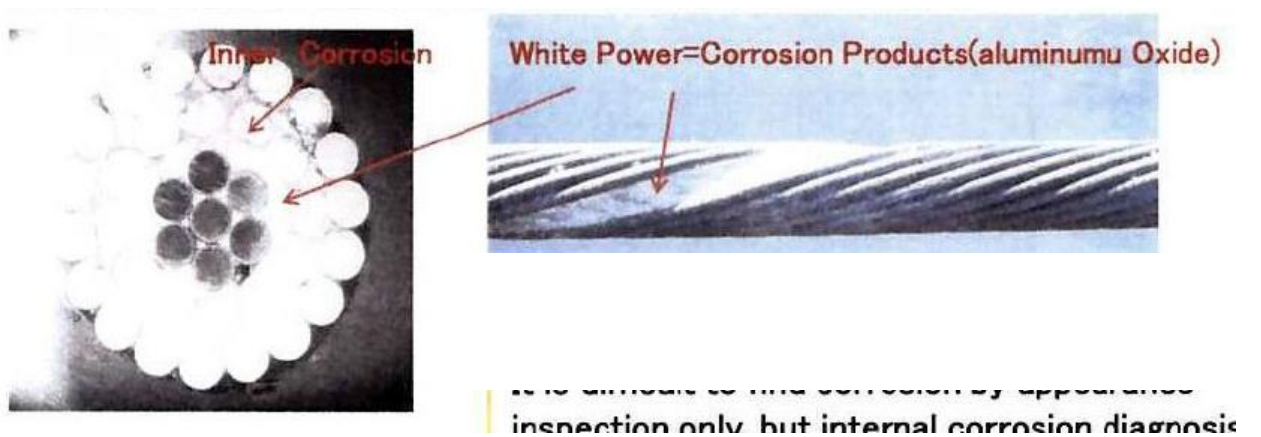


圖 4 導線內部腐蝕特徵-海鹽

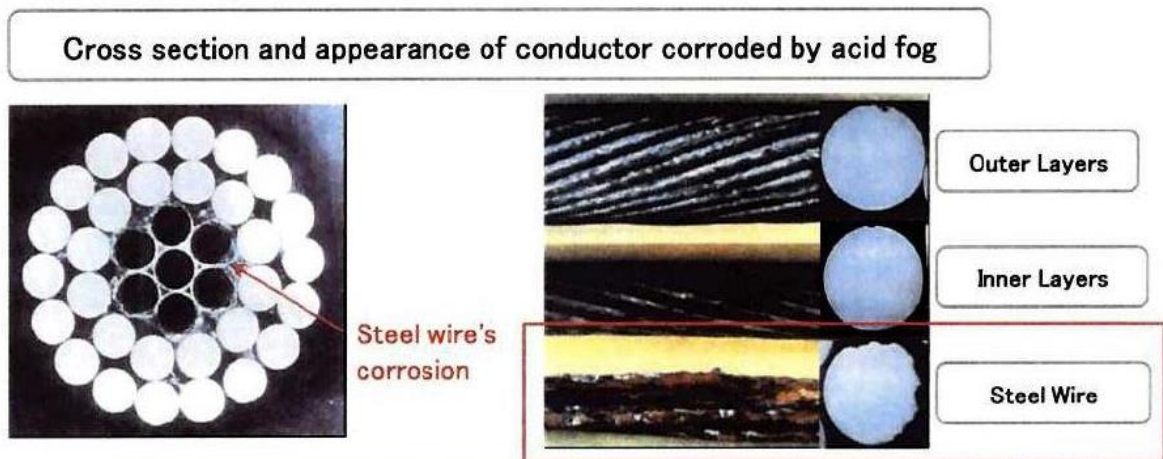


圖 5 導線內部腐蝕特徵-酸霧

2.1.2 ACSR 架空導體腐蝕量化檢測技術特點

由於 ACSR 架空導體內部腐蝕不易從外部目視檢測發覺，現行內部腐蝕的檢測評估僅可部分抽樣後，量取殘餘線徑並配合拉力試驗的結果評估導體殘餘壽命，然其方式為破壞性試驗，且限於取樣長度，無法獲取大量數據，也不易量化表示，Fujikura 人員表示，他們所開發之架空導體腐蝕量化檢測除可量化表示腐蝕程度，且可同時量測內部與外部腐蝕情形，可量測的導體型式如除 ACSR 外，另包括 TACSR、ACSR/AC、IACSR、UTACSR 及其他與 ACSR 構造形式類似之導線，因應日本的導線規格，目前可應用導體腐蝕檢測之線徑規格如表 1 所示，線徑範圍為 80~1520mm²，設備架構示意如圖 6 所示，設備尺寸與重量分布規格如表 2。

表 1 目前可應用導體腐蝕檢測之線徑規格

編號	導體尺寸	外徑
1	80mm ²	(13.00mm Φ)
2	97 mm ²	(16.00mm Φ)
3	120 mm ²	(16.10mm Φ)
4	IACSR 120 mm ² (架空地線)	(17.50mm Φ)
5	160 mm ²	(18.20mm Φ)
6	170 mm ²	(18.35mm Φ)
7	200 mm ²	(20.30mm Φ)
8	240 mm ²	(22.40mm Φ)
9	260 mm ²	(22.30mm Φ)
10	330 mm ²	(25.30mm Φ)
11	410 mm ²	(28.50mm Φ)
12	520 mm ²	(31.50mm Φ)
13	610 mm ²	(34.20mm Φ)
14	680 mm ²	(36.00mm Φ)
15	810 mm ²	(38.40mm Φ)
16	1520 mm ²	(52.8mm Φ)

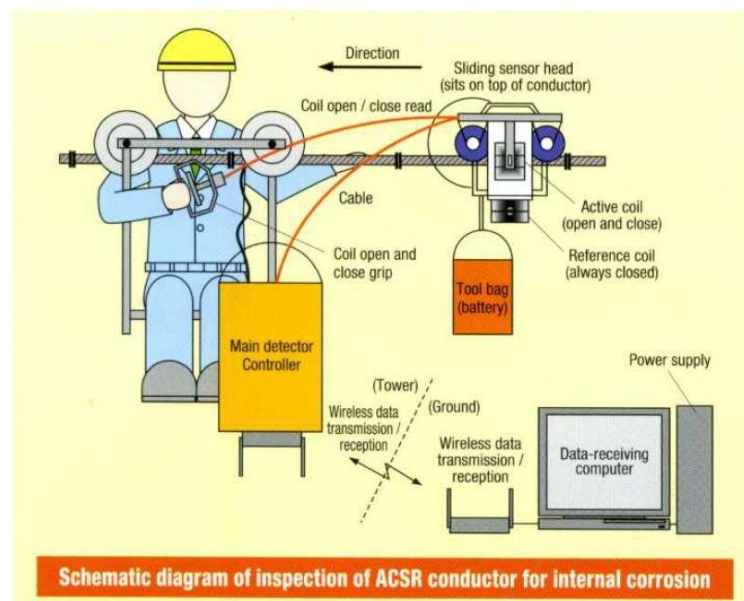


圖 6 導體腐蝕檢測設備架構示意

表 2 導體腐蝕檢測設備尺寸與重量分布規格

估計重量	主偵測器本體	約 8kg
	滑動式感應線圈	約 9kg
	電池與其他	約 3kg
	總計	約 20kg
尺寸	主偵測器本體控制器	(W) (H) (D) 200mmx90mmx270mm
	滑動式感應線圈	(W) (H) (D) 300mmx380mmx120xx

檢測設備本體由主偵測器、滑動式感應線圈及電池所組成，操作方式為利用滑動式感應線圈通過待測導體量測訊號後，透過主偵測器自高空發送訊號至地面的電腦，其傳輸方式為透過無線電波，因此傳輸距離有限，約 800~1000m，另由於導體腐蝕檢測需高空作業，因此設備重量為重要考量，最早為總重為 70kg，現已改良為含電池總重 20kg，且體積也大幅縮小，由 Fujikura 人員現場示範如圖 10 所示，職現場測試，確屬一般人可手提接受之重量。

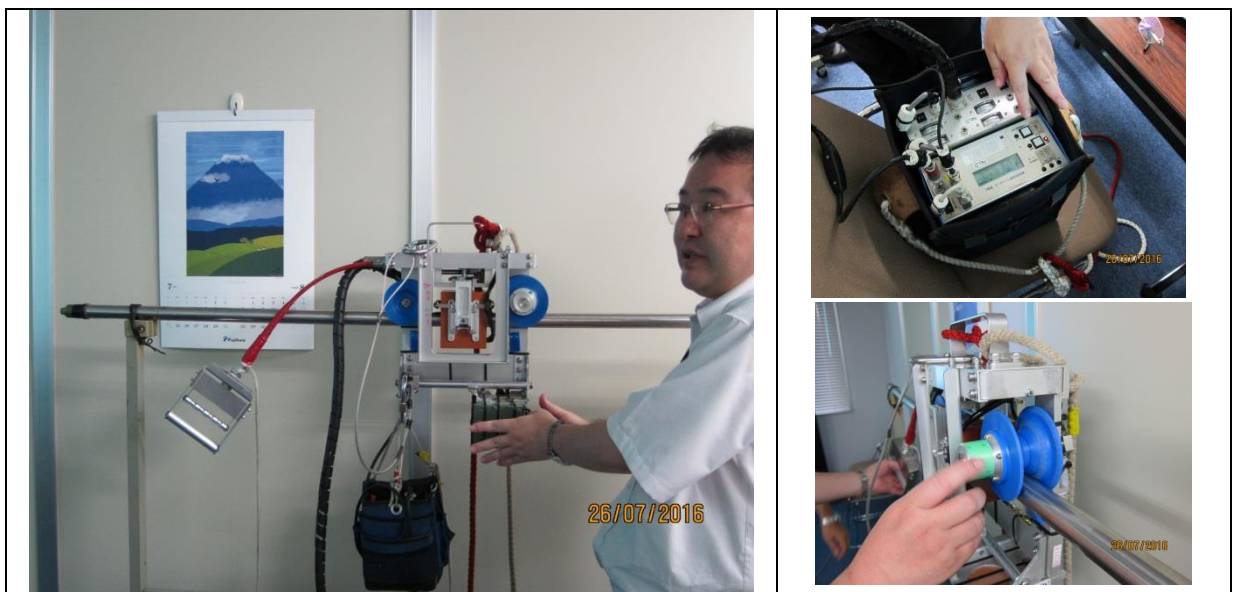


圖 7 導體腐蝕檢測設備現場示意

2.1.3 設備功能與原理

導體腐蝕檢測設備採用渦電流(Eddy current)檢測法，一般此檢測法適用於檢測金屬導體，其原理為將載有交流電之激發線圈接近金屬物體，使得金屬導體引發交變磁場，感應產生旋渦狀電流，由於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，依此改變感應線圈之磁場及阻抗，如圖 8 所示，並藉由阻抗變化的原理，目前已普遍應用於金屬表面或次表面瑕疵之探傷、量測金屬物理性質(如導電率)、鑑別、控制熱處理及加工條件、量測金屬薄片及薄管厚度及量測塗層膜厚等，而導體腐蝕檢測設備則應用殘餘線徑與阻抗變化之關係達到量化檢測之效果。

由於 ACSR 導體內外層的材質並不相同，為能明確鑑別不同材質的腐蝕情形，可藉由控制渦電流感測頻率之差異將兩種不同材質之訊號分開，情形如圖 9 所示，低頻時對鋼線感應的訊號敏感而高頻時反而鋁線較敏感，依此原理可明確區分外部鋁絞線及內部鋼絞線的腐蝕情形，鋼絞線之最佳感應頻率約為 20Hz，鋁絞線則視需要其最佳感應頻率在 1kHz 以上。

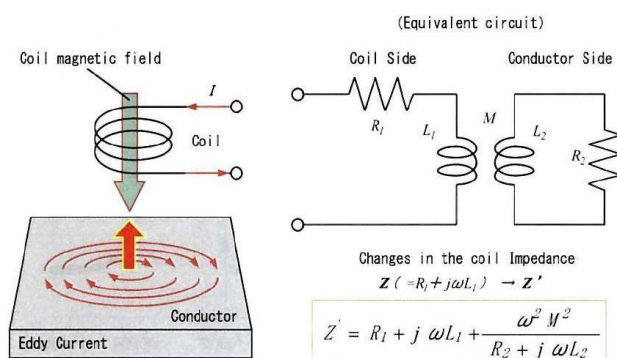
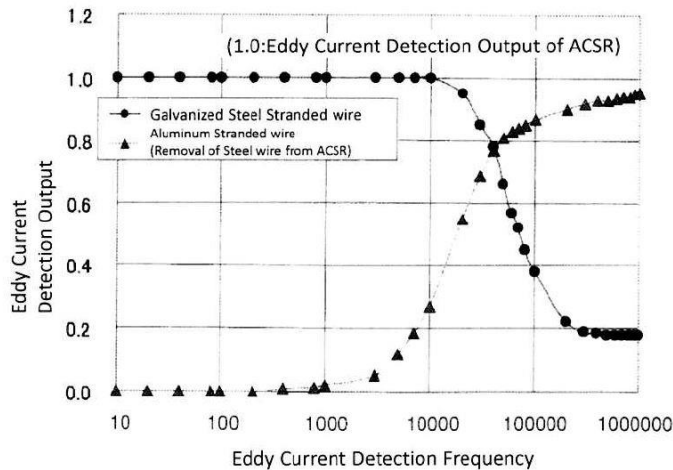


圖 8 導體腐蝕檢測設備原理-渦電流檢測

Optimal Frequency Band of Aluminum parts and Steel parts



Drawing: Optimal Frequency of Eddy Current Detection of Aluminum and Steel

圖 9 導體腐蝕檢測設備原理-渦電流檢測

2.1.4 資料庫建立方法

定量分析的關鍵在於檢量線及資料庫的建立，為了能定量檢測不同線徑與形狀規格之導體，Fujikura 人員表示須依導體的規格差異設計不同的感應線圈，並各自建立檢量線及資料庫，建立檢量線樣品的範例如圖 10 所示，先將指定規格的導線設計成 10 種不同型態的樣品，逐一減少其絞線數量，以達控制殘餘線徑之目的，根據其減少之絞線截面積與量測訊號的減量幅度，建立相關性分析，如圖 11 所示，而後量測不同型態樣品之拉伸強度，並分別將鋼絞線與鋁絞線的拉伸強度與殘餘面積進行相關性分析如圖 12，最後再進行量測數據與實際線徑之驗證，便完成單一規格之資料庫，其完整流程如圖 13 所示，目前 Fujikura 已有 16 種不同規格導線之對應線圈與資料庫，未來本公司如有意引進其技術，由於台日導體規格之差異，資料庫的建立為首要之務。



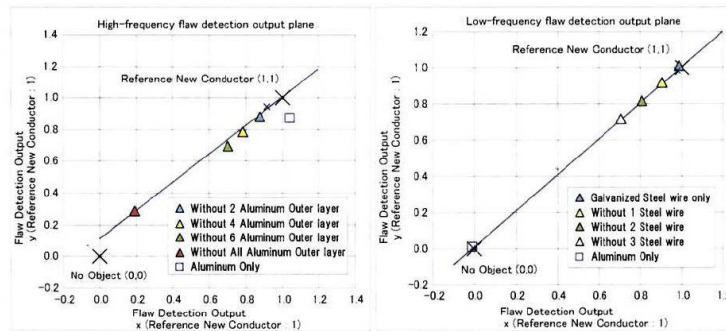
Corrosion Sample Pattern

01. Reference Conductor
02. Without 2 Aluminum Outer layer
03. Without 4 Aluminum Outer layer
04. Without 6 Aluminum Outer layer
05. Without All Aluminum Outer layer
06. Galvanized Steel Wire only
07. Without 1 Steel wire
08. Without 2 Steel wire
09. Without 3 Steel wire
10. Aluminum Only



圖 10 建立檢量線樣品的範例

The relationship between Flaw Detection Output and Cross-sectional Flaw

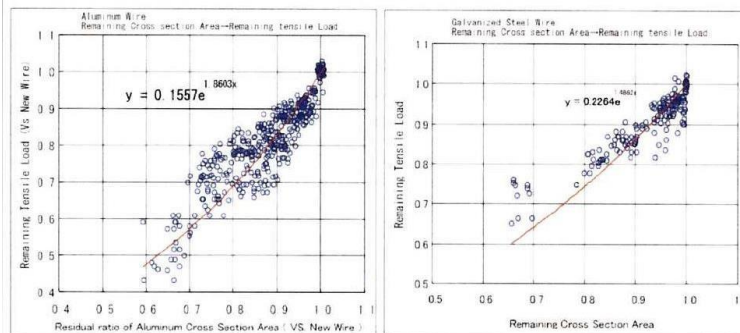


Drawing:
The relationship between Flaw Detection Output and Cross Sectional Flaw
Al(Aluminum) : Ra

Drawing:
The relationship between Flaw Detection Output and Cross Sectional Flaw
St(Steel) : Rs

圖 11 殘餘線徑與量測訊號之相關性分析

The Relationship between the cross-sectional area and The tensile strength



Drawing: The relationship between the cross section Area and the tensile strength(Al:Aluminum)
DB2 (Data Base2)

Drawing: The relationship between the cross section Area and the tensile strength(St:Steel)
DB2 (Data Base2)

圖 12 殘餘線徑與拉伸強度之相關性分析

Analysis Flow of Measurement Data

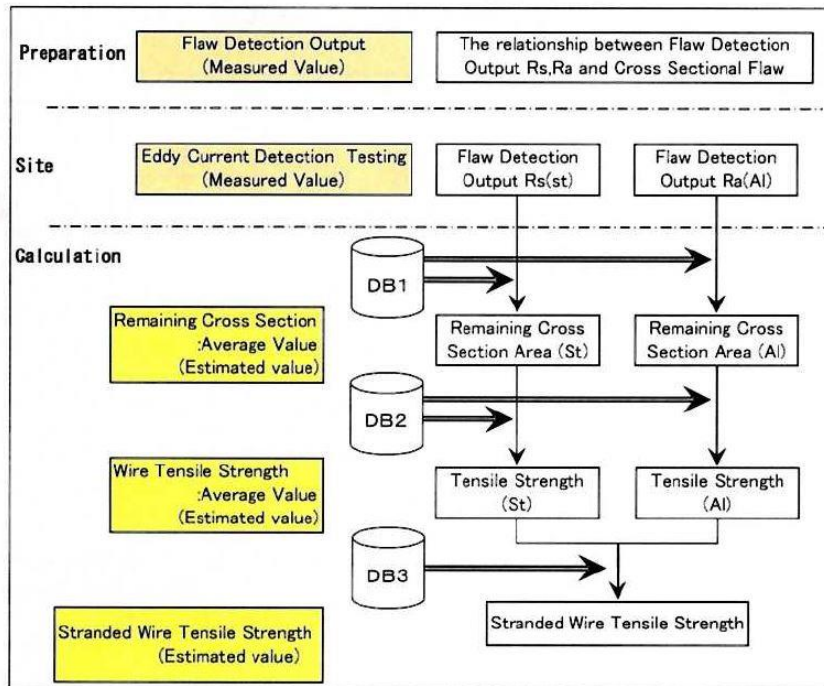


圖 13 建立檢量線與資料庫之完整流程圖

2.2 東京電力技術使用經驗討論

2.2.1 檢測技術發展緣起與現況

ACSR 架空導體腐蝕量化檢測技術在日本最早源自於東北電力公司的研究，當時目標是以自走式機器人進行檢測，而後由東京電力公司 (TEPCO) 與 Fujikura 共同技術改良並應用於實際場域，並於 2004 年透過 J-Power 將此技術推廣至日本其他電力公司，目前全日本 10 家電力公司均採用此技術進行架空導體的腐蝕檢測，統計自 2001 年至 2015 年，已有超過 3800 組線路之使用實績，統計資料如圖 14 所示，如以單一組線路 400m 計算，已有 1520 公里，且隨著線路老化，其實績數可望持續增加。

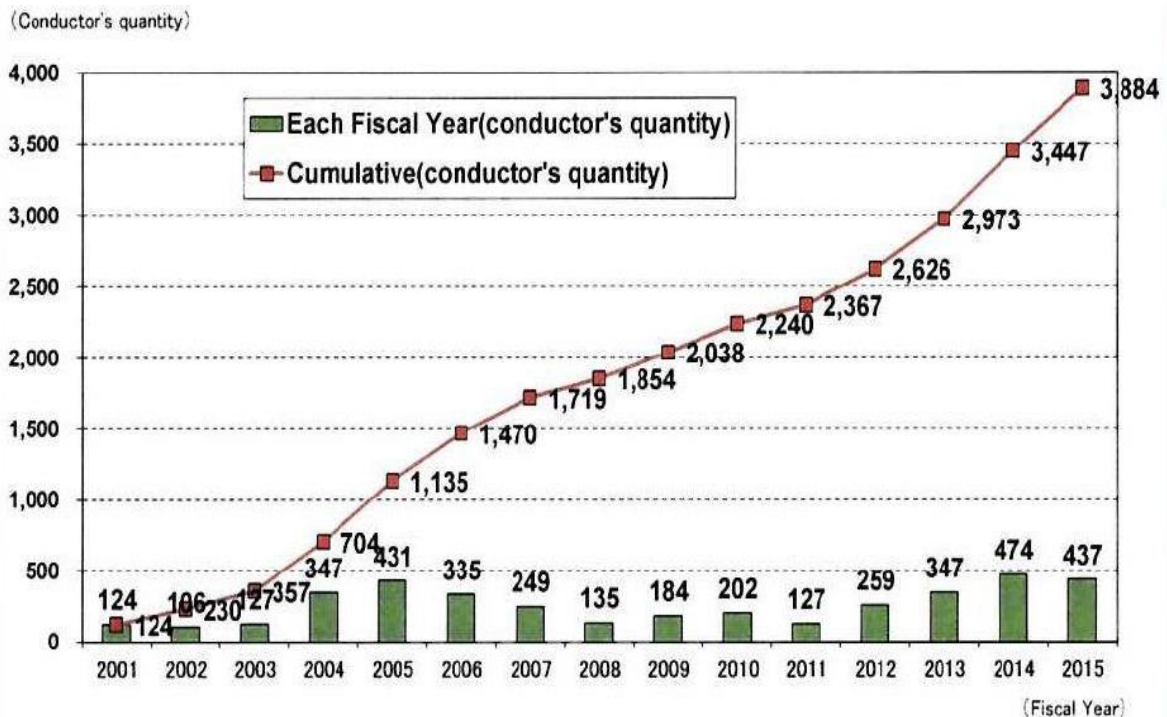


圖 14 導體腐蝕量化檢測實績數統計[3]

2.2.2 使用者經驗討論

由於東京電力公司身為此項技術的共同發展參與者，也同時是技術的使用單位，同樣是電力供應端，其定位與本公司類似，為了解身為使用者對於這項技術之評價與經驗，此行也安排赴東京電力總公司與負責輸電線路之維護人員進行經驗與技術交流，討論情形如圖 15，根據討論與交流之結果，重點摘錄如下：

1. 日本 10 家電力公司均採用 Fujikura 所開發的設備進行導線內部腐蝕量測，歷程已超過 10 年，單東電已有 2000 組線路的實績，為目前該技術實績數最多的電力公司。
2. 依風險等級，選擇沿海以及靠近工廠的導線進行檢測。
3. 至目前為止，最常檢測的導線規格為 160、240 與 410mm² 等 3 種線徑規格。

4. 腐蝕檢測的需求與決定層級為各地方供電支社，等同於本公司的供電區營運處，由當地提出需求，總公司僅核備。
5. 高空作業人員由東電委託當地民間的協力廠商協助配合，其作業方式無需執照，其作業資格由各電力公司認定即可，儀器設備之教育訓練由 Fujikura 負責，儀器數據的判讀與資料擷取也由 Fujikura 派遣之工程師辦理，電力公司視需要派員監督以確保工作安全。
6. 目前在日本，導線腐蝕檢測之服務以 Fujikura 提供技術服務的方式辦理，由 Fujikura 提供評估報告，根據檢測情形提供建議，然更換線路與否及維護方式則由各電力公司決定。
7. 由於部分導線可能鏽蝕嚴重，必要時仍需取樣檢測，送測樣品委由外界的研究機構或由東京電力本身的研究所進行檢測與分析。



圖 15 東京電力交流討論情形

2.3 比奈車站現場實際運行見習

2.3.1 現場檢測適用環境與工作流程

根據 Fujikura 人員表示，以一組導線 400m 為例，現場完整檢測需時約 3 小時，一天最多 2~3 組導線，其可施作導線之數量受限於地域環境，如高山區域由於作業不便，也可能一天只能施作 1 組，又或者由於環境氣候，如下雨天等，均影響其作業之速度。根據先前章節所述，日本超過 30 年仍在服役的線路總計超過 60 萬公里，無法也無需針對所有線路進行檢測，因此針對其風險等級，Fujikura 提出建議施作腐蝕檢測之環境狀況，如表 3 所示，依其建議可知其建議思考邏輯仍以海鹽造成的內部腐蝕為主，輔以其他工業區、工廠周遭、濕氣較重之區域及山區融雪等較細微之內部與外部腐蝕之狀況。

表 3 建議施作導線腐蝕檢測之環境狀況

編號	適用環境與狀況
1	半島與島嶼環境
2	西半部海岸(海岸可見之地點)
3	海洋與輸電線路間無障礙(例如山區)之區域
4	塔座與塔座間有山澗，且其山澗走向為往海邊方向
5	面向外海
6	降雪嚴重之區域
7	降雨期間較長之區域
8	塔間跨過水壩、湖與河
9	海拔高且多霧之區
10	酸雨及酸霧嚴重之區域

據 Fujikura 人員表示，由於高空作業之安全及專業考量，其導線腐蝕檢測作業其標準配置為至少 7 人，分別為現場管理人(領班)1 名、電氣技師 3 名、檢測專門人員 1 名、檢測儀器操作人員 1 名及內部腐蝕診斷工程師 1 名，其職掌分別如表 4 所示，另可依需要增派人員，現行除導線腐蝕診斷工程師 1 名由 Fujikura 派遣外，其他人員均由電力公司委派當地之協力廠商，每天最多可檢測之線路長度總計約 800~1000m。

表 4 現場檢測所需人員基本配置與職掌

人員	人數	執掌
現場管理人(領班)	1	現場總指揮
電氣技師	3	基礎工事、接地、吊掛作業等...
檢測專門人員	1	目視檢測
檢測儀器操作人員	1	儀器操作
導線腐蝕診斷工程師	1	儀器維護、資料擷取與前處理

現場作業工作流程整理如下：

1. 驗電、接地、安裝隔離桿等電力相關作業
2. 人力攀爬鐵塔並安裝繩索
3. 高空鐵塔吊掛纜車與安裝作業
4. 高空鐵塔吊掛檢測儀器與安裝作業
5. 量測開始與完成，量測過程中需與地面儀器操作員確認作業
6. 儀器與纜車拆除等原安裝與吊掛之反向作業
7. 接地等其他裝置拆除之善後作業

2.3.2 實際運行見習概述

此次研習在 Fujikura 的安排下，會同 Fujikura 人員參與見習導線腐蝕檢測之現場工作，安排見習之檢測線路為 Adeka Hina Line 2 號塔至 3 號塔之間的導線，塔間全長約 400m，電壓等級為 66kV，場址靠近富士市的比奈車站，距離最近的海岸線僅不到 3 公里，位址如圖 16 左所示，從地形來看，面海方向無明顯之遮蔽物(高山)，且檢測場址附近有製紙工廠，如圖 16 右，綜其條件，場址同時符合臨海及工業污染兩大要件。

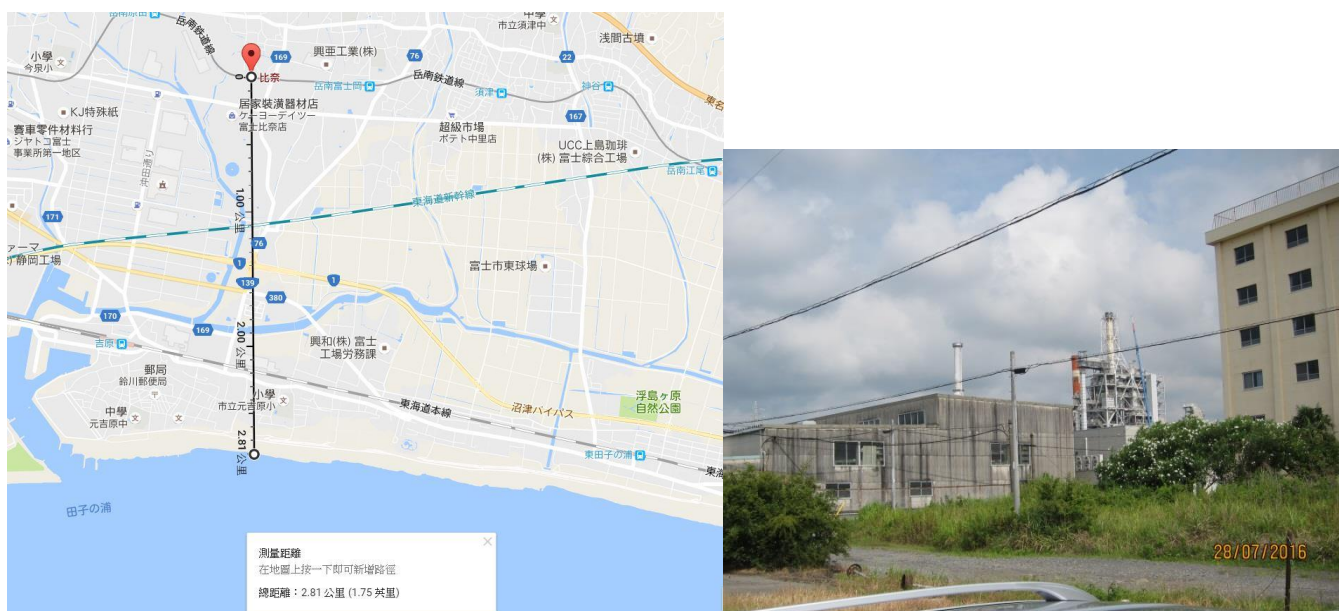


圖 16 比奈車站實際運行見習位置與環境

此次導線檢測工作由東京電力公司所委託，現場檢測情形如圖 17~圖 19 所示，本次導線檢測之導線高空作業員有 3 名，同一線路僅中間導線進行導線內部腐蝕檢測，如圖所示，為維操作員之安全性，每一導線之安全鎖均固定於兩處，以避免原安全裝置失效。



圖 17 導線腐蝕檢測見習-1



圖 18 導線腐蝕檢測見習-2



圖 19 導線腐蝕檢測見習-3

見習當日檢測作業時間約早上 9:00 開始，先進行包括接地與絕緣等地面準備作業，約需時半小時完成地面作業，再花半小時完成人員上塔及其他所有工具及儀器之吊掛作業，全長約 400 公尺之導線檢測僅花 1 小時完成，另 1 小時完成下塔及其他所有善後作業，中午前完成所有作業，全程僅約 3 小時便完成 400 公尺的導線檢測，且在檢測過程中不斷與地面工程師進行訊號檢測之確認，而檢測的間隔隨不同量測位置而有所區別，其量測間格標準如表 5，以見習當日之地形標準為例，由於整段導線非煙氣或酸霧直接接觸之區域，如無檢測異常或表面鏽蝕異常，僅中間區段的檢測間隔縮短為 2m，其餘區段應採 5m 做為檢測間隔即可。見習當日雖僅中間導線進行導線內部腐蝕檢測，然其餘兩組導線也由其他高空作業檢測專門人員完成目視檢測工作，因此如以 1 天 8 小時的工作時數，每天最多可檢測之線路長度總計約 800~1000m 是合理的。

表 5 導線腐蝕檢測間隔標準

量測位置	量測間隔
一般區域	5m
兩塔間導線下垂之約 50m 之中間位置	2m
煙氣或酸霧直接接觸之區域(汙染較嚴重)	1m
目視可見異常之位置 檢測數值異常之位置	1m

2.3.3 檢測數據判讀

見習當日與Fujikura人員交流過程中曾提問其檢測的代表性為何，Fujikura表示由於腐蝕狀況與所處環境息息相關，因此檢測1路導線作已足以代表其他兩路導線之腐蝕狀況，如以量化計算，1路導線之檢測可代表前後延伸各5路腐蝕狀況，意即以當日400m的檢測為例，足以代表12000m長度導線之腐蝕狀態。而腐蝕檢測數據的呈現範例如圖20所示，以300m長度之導線為例，橫軸為兩塔間的距離，縱軸則為殘餘線徑(面積)與資料庫比對之相對值，上方為鋁絞線之檢測數據，下方則為鋼絞線，每一點均是檢測的數據與資料庫比對之結果，其點間距如同前述，與位置相關，導線中間下垂位置之偵測點較密集，兩端則否，這是因為導線下垂之形貌與重力作用，使腐蝕誘發因子易向此中間位置堆積，此例之鋁絞線中間位置的殘餘線徑明顯減少，而鋼絞線未有明顯之腐蝕跡象，為典型內部腐蝕之案例。

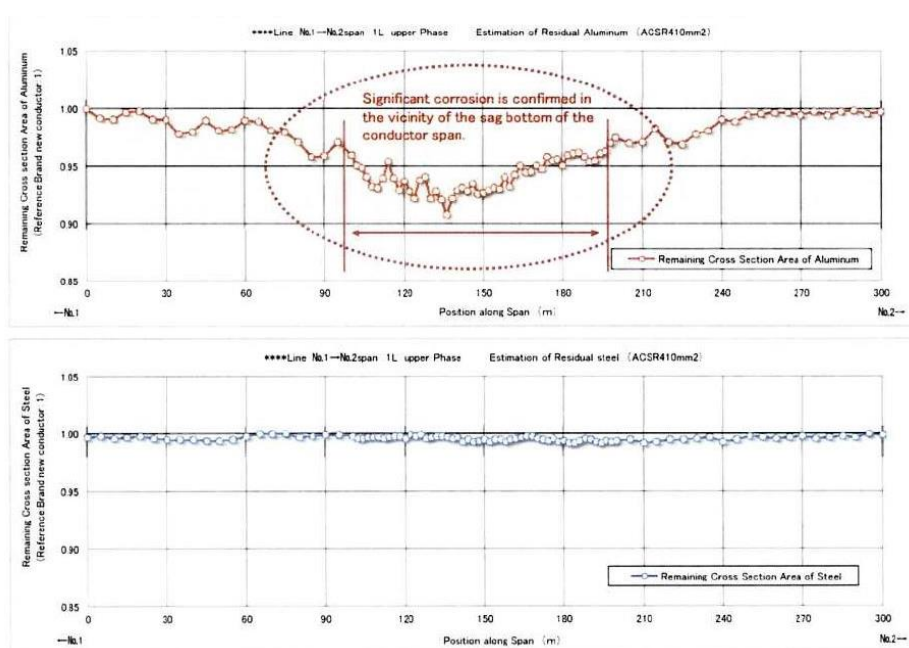


圖 20 導線腐蝕檢測之數據範例-內部腐蝕

根據前述導線腐蝕檢測原理與資料庫的建立方法可知，藉由導線殘餘線徑可推估其殘餘之拉伸強度，假設標準導線之強度比例為 100% 標準值，為保守估計，將全新導線的拉伸強度與標準拉伸強度的比例設定為 110% 標準值，再將量測結果與標準值比例進行比對，再根據結果進行評估與後續建議，其標準如表 6 所示。

表 6 導線腐蝕檢測數據結果評估與建議

估計導線殘餘拉伸強度之比例 (設定全新導線的強度比例為 110%標準值)	結果評估 (建議)
超過 105% 標準值	-----
103~105% 標準值	強度無問題，無立即性危險，然預期將持續衰減，應持續追蹤。 (建議應以年為週期觀測，並建議每隔數年進行一次腐蝕檢測。)
100~103% 標準值	雖然估計值符合標準值，然應考慮未來危險之可能性。 (提升觀測頻率，建議未來考慮更換強度較強的導線，例如 ACSR/AC)
低於 100% 標準值但高於 $T_{max} \times 2.5$ 倍	導線已衰減至產生相當程度，導線的估計強度已低於標準值，未來具高度可能之危險性。 (建議盡快替換強度較強的導線，例如 ACSR/AC)
低於 $T_{max} \times 2.5$ 倍	導線有顯著的衰減現象，導線的強度可能已低於安全係數值，處於高度危險狀態。 (建議立即替換強度較強的導線，例如 ACSR/AC)

2.4 參訪VISCAS沼津工廠之新型輸電導線

2.4.1 VISCAS 沼津工廠

此次研習在 Fujikura 的聯繫下，亦參訪 VISCAS 公司位於東京靜岡縣的沼津工廠，VISCAS 為 Furukawa 與 Fujikura 兩家公司合資所成立，早期以地下電纜及海底電纜的工程建設為主要業務，自 2005 年開始轉型為輸配電系統為主要營運項目[4]。沼津工廠最早自 1954 年便開始營運，初期的製造項目便是架空輸電導線 ACSR，後期並另有 AC 及 OPGW 等不同型式之輸電導線，廠區占地 35000m²，月產 200 噸以上的 AC 導線，主要的輸電導線產品如圖 21 所示。



圖 21 VISCAS 沼津工廠主力輸電導線產品

2.4.2 新型輸電導線

參訪過程除了解到輸電導線之製造與檢測等生產流程外，並在 VISCAS 人員的介紹下，了解 VISCAS 所開發的新型輸電導線(DR-LL 導線)，DR 指的是 Drag Reduced，LL 則為 Low Loss 之縮寫，產品型式與研習剪影如圖 22 所示，一般 ACSR 導線之素線剖面均為圓形，而 DR-LL 導線則由梯形剖面的導線所絞合，其優點為減少導線間的空隙並增加傳導面積，一方面減低電力傳輸的阻抗，達到減少輸電能損的效果，另一方面其導線外型的特殊性可減輕風壓造成的振動情形，據

VISCAS 人員的說法，經評估此新型導線與傳統導線相較可減少 20% 的輸電能損，減輕 25% 的風壓振動，相當於減少輸電導線受力，且在相同輸電規格下，也可將塔座的承重能力及體積減少，同時具備減少能量損耗、降低塔座建設成本及維護安全等效益。



圖 22 VISCAS 新型輸電導線產品型式與研習剪影

第三章 感想與建議

1. 目前架空輸電線路點檢皆只能對導體表面鋁絞線腐蝕或斷股狀況的定性分析判斷導線腐蝕狀況，無法定量分析腐蝕情形，也無法得知內部鋼絞線與鋁絞線的腐蝕情形，本所對於導線腐蝕狀態分析已有多年經驗，然仍受限於須破壞性取樣而仍有代表性不足之疑慮，Fujikura 公司發展之架空導體腐蝕量化檢測技術除可進行非破壞性檢測外，亦可同時定量分析導體之內部腐蝕與外部腐蝕情形，應有助於保持穩定的電力供應及降低輸電運維成本，其技術與成果值得參考。
2. 日本 10 家電力公司均採用 Fujikura 所開發的設備進行導線內部腐蝕量測，歷程已超過 10 年，東京電力公司依風險等級，優先選擇沿海以及靠近工廠的導線進行檢測，由於台灣本身為海島型國家，且地形多高山，其氣候條件與地形條件均與日本相近，如可克服高空作業的工安困難，東京電力公司對於輸電線路的管理策略值得本公司參考與借鏡。
3. 現行導線腐蝕檢測之工作由各電力公司提出需求，Fujikura 以提供技術服務的方式辦理，並由電力公司委託當地協力廠商進行高空作業，Fujikura 負責儀器提供、數據擷取與提供評估報告，並依結果提供電力公司建議，本次現場實際運行見習可知 400m 檢測的完整作業需時 3 小時，一天約可完成 800~1000m 的檢測，由於檢測工作為團隊執行且為高空作業，考量人力配置，未來公司如欲引進相關技術，

應可配合既定之高空作業共同執行，以減少工安及運維成本，提升作業效益。

4. 新型輸電導線具備減少輸電能損及減輕風壓造成振動等優點，考量其特性，未來本公司之高壓輸電容量如需提升，在不更換原鐵塔或其尺寸等條件下，可考慮替換新型輸電導線以減少輸電量擴充所需之成本，在台灣部分風壓較高的場域，也可評估其導線之適用性，以提升輸電之安全與穩定性。
5. 由於目前導體內部腐蝕檢測技術仍仰賴高空人力作業，然考量人員安全，如可朝無人自動化或機器人等模式進行檢測，檢測之安全性與效率將可再提升，未來宜持續關注相關技術之發展。

參考資料

1. Technical report of Institute of Electrical Engineers of Japan, volume986
Corrosion phenomena of overhead power transmission lines 2004, June.
2. 輸電線路維護手冊，台灣電力公司。
3. Fujikura 討論會議資料,105 年 7 月 29 日。
4. VISCAS 官網, <http://www.viscas.com/>.