

出國報告（出國類別：實習）

輸電系統管理績效指標及線路防雷技術研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：廖吉義 電機工程監

派赴國家：日本

出國期間：99年10月13日至19日

報告日期：99年12月27日

出國報告審核表

出國報告名稱：輸電系統管理績效指標及線路防雷技術研習		
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
廖吉義	電機工程監	高屏供電區營運處
出國期間：99年10月13日至99年10月19日		報告繳交日期：99年12月27日
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input type="checkbox"/> 3.內容充實完備. <input type="checkbox"/> 4.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7.退回補正,原因: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8.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"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同人進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9.其他處理意見及方式:	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 2.退回補正,原因: _____ <input type="checkbox"/> 3.其他處理意見:	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、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。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

	單位	主管處	總經理
報告人：	主管：	主管：	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：輸電系統管理績效指標及線路防雷技術研習

頁數 100 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/(02)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

廖吉義/台灣電力公司/高屏供電區營運處/電機工程監/ (07) 3214110

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：99年10月13日至19日 出國地區：日本

報告日期：99年12月27日

分類號/目

關鍵詞：輸電系統、管理績效指標、線路防雷技術、IKL、線路避雷器

內容摘要：(二百至三百字)

有鑑於大用戶對於電力品質的要求逐年提高，如何有效地管理輸電線路使其電力穩定傳輸之首要目的可以如期達成，並將其維護績效具體展現，擬參考日本電力公司的管理做法，藉由剖析其輸電系統之管理績效指標，以達自我改善之成效而進行資料蒐集與了解。另針對近年來輸電線路受雷擊影響加劇，如何針對線路防雷技術進行自我提昇，實有必要參考他國做法以為改進之依據，擬再利用出國實習機會進行實習及了解。

本次實習目的主要係在於了解輸電系統之管理績效指標及管制方法，另針對雷擊事故及防雷措施再借鏡日本電力公司的改善經驗及做法。

此外，架空線路鐵塔結構對於線路預防雷擊之成效評估與線路避雷之資料蒐集、試驗及使用情形。在本次出國實習中也特別收集日本國內統計之落雷密度分析圖及 IKL 表並針對未來架空輸電線路之防範雷擊事故與最新技術資料取得。

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

目 錄

壹、出國緣由.....	1
一、實習任務.....	1
二、緣由與目的.....	1
三、行程規劃.....	2
貳、研習內容與心得.....	3
一、日本電業現況介紹.....	3
二、日本輸電系統管理績效指標.....	11
三、雷擊事故及防雷技術介紹.....	49
四、送電線的雷害防止對策.....	64
參、感想與建議.....	82
肆、參考文獻.....	91
伍、誌謝.....	92

圖目錄 (1/2)

圖 2-1、日本電力系統概況介紹圖	6
圖 2-2、日本主要的輸電線網絡圖	6
圖 2-3、日本自然環境對送電線之威脅圖	13
圖 2-4、送電線故障原因分類圖	18
圖 2-5、以月別區分之故障發生頻率圖	19
圖 2-6、故障種類狀況分析圖	19
圖 2-7、系統擴大減少電壓驟降示意圖	20
圖 2-8、故障清除時間縮短改善推移圖	21
圖 2-9、A 電力公司故障原因及發生件數統計圖	28
圖 2-10、過去 20 年間線路故障率的變遷圖	29
圖 2-11、自走式不良礙子檢出機	31
圖 2-12、自走式電線點檢機	32
圖 2-13、複合式直昇機點檢系統示意圖	35
圖 2-14、送電線避雷裝置動作特性示意圖	36
圖 2-15、送電用避雷裝置效果改善示意圖	37
圖 2-16、小氣隙式鳥害防止弧角圖	38
圖 2-17、送電線故障區間檢出器動作示意圖	40
圖 2-18、接地點表示器動作示意圖	41
圖 2-19、故障區間標定系統動作示意圖	42
圖 2-20、各國送配電線損失率比較示意圖	45
圖 2-21、A 電力公司送配電線損失率逐年趨勢示意圖	46
圖 2-22、個人勞動生產力逐年趨勢示意圖	47
圖 2-23、2002 年至 2008 年日本落雷密度示意圖	53
圖 2-24、1992 年至 2008 年日本落雷數之年度變化圖	53
圖 2-25、續流遮斷型之弧角裝置示意圖	53

圖目錄 (2/2)

圖 2-26、入侵至變電所之雷擊突波侵入路徑圖	58
圖 2-27、EMTP 程式使用參數之元件模組化示意圖	59
圖 2-28、模擬解析回路之建構示意圖	60
圖 2-29、四段式鐵塔模擬模型示意圖	61
圖 2-30、送電線遭受雷擊閃絡之始末機制示意圖	66
圖 2-31、架空送電線之耐雷對策圖	67
圖 2-32、北松江幹線路徑分布圖	72
圖 2-33、探挖工法概要示意圖	76
圖 2-34、送電線用避雷裝置設置處所檢討流程圖	77
圖 2-35、線路避雷器之裝置設計圖	80
圖 2-36、線路避雷器設置範例圖	80
圖 3-1、日本送電線的事故率統計圖	83
圖 3-2、台電輸電線的事故率統計圖	83
圖 3-3、日本雷暴日數(IKL)分布圖	85
圖 3-4、台灣雷暴日數(IKL)分布圖	85
圖 3-5、日本防雷措施實施對策圖	86
圖 3-6、台灣防雷措施實施對策圖	86
圖 3-7、應用直昇機於鐵塔工事示意圖-1	88
圖 3-8、應用直昇機於鐵塔工事示意圖-2	88
圖 3-9、防墜裝置「Key-Lock」使用示意圖-1	90
圖 3-10、防墜裝置「Key-Lock」使用示意圖-2	90

表 目 錄

表 2-1、國際間各國年度事故停電時間比較表	8
表 2-2、各年度內停電回線數及停電時間比較表	8
表 2-3、送電電壓等級別之線路長度一覽表	11
表 2-4、瞬間壓降及系統跳電名稱定義表	17
表 2-5、高速度故障清除時間及保護方式表	21
表 2-6、從系統面考量之線路故障主要防止對策表.....	22
表 2-7、線路巡視及點檢的執行事例表	26
表 2-8、送電線路設備補修作業範例表	27
表 2-9、再復閉及強行送電策略執行成效統計表	30
表 2-10、A 電力公司各年份預定工作計畫表	44
表 2-11、日本送電用避雷裝置使用數量統計表	55
表 2-12、各電壓等級假設雷擊電流值	60
表 2-13、雷害事故種類表	65
表 2-14、送電用避雷裝置分類表	70
表 2-15、耐雷強化對策檢討表	73
表 2-16、500KV 用避雷裝置基本規格表	79

壹、出國緣由

一、實習任務

輸電系統管理績效指標及線路防雷技術研習。

二、緣由與目的

(一)有鑑於大用戶對於電力品質的要求逐年提高，如何有效地管理輸電線路使其電力穩定傳輸之首要目的可以如期達成，並將其維護績效具體展現，擬參考日本電力公司的管理做法，藉由剖析其輸電系統之管理績效指標，以達自我改善之成效而進行資料蒐集與了解。另針對近年來輸電線路受雷擊影響加劇，如何針對線路防雷技術進行自我提昇，實有必要參考他國做法以為改進之依據，擬再利用出國實習機會進行了解。

(二)本次實習目的主要係在於了解輸電系統之管理績效指標及管制方法，另針對雷擊事故及防雷措施再借鏡日本電力公司的改善經驗及做法。此外，架空線路鐵塔結構對於線路預防雷擊之成效評估與線路避雷之資料蒐集、試驗及使用情形。在本次出國實習中也特別收集日本國內統計之落雷密度分析圖及 IKL 表並針對未來架空輸電線路之防範雷擊事故與最新技術資料取得。

(三)本次實習目的可再約略整理如下：

- 了解日本電力公司對於輸電系統之管理績效指標
- 針對雷擊事故及防雷措施借鏡日本電力公司的改善經驗及做法。
- 蒐集日本國內近年來線路事故的處理經驗及應變措施。
- 日本國內對地落雷密度偵測及其國內近年之 IKL 分佈圖。
- 鐵塔結構改善對於線路預防雷擊之成效評估及其施工程序。

- 避雷器製造公司對於線路避雷之資料蒐集、試驗及使用情形。
- 未來架空輸電線路之防範雷擊事故與最新技術資料取得。

三、行程規劃

(一)研習日期：99 年 10 月 13 日至 99 年 10 月 19 日，共計 7 日。

(二)出國行程：

出國實習行程，如下表所示。

日期	前往機構	工作內容
99.10.13	高雄至大阪	往 程
99.10.14 99.10.15	關西電力公司 日本カタン株式会社	1. 參觀避雷礙子製造廠 2. 進行線路防雷技術研習交流 3. 參觀關西電力公司進行輸電系統管理績效指標交流
99.10.16	大阪至福岡	行 程
99.10.17 99.10.18	九州電力公司 九州建設公司	1. 參觀鐵塔防雷結構設計改良 2. 進行線路防雷技術研習交流 3. 參觀九州電力公司進行輸電系統管理績效指標交流
99.10.19	福岡至高雄	返 程

貳、研習內容與心得

本篇實習報告內容規劃部份，大致可分為三大區塊。首先個人認為有必要藉此機會向大家簡略地介紹日本電業現況，包括其輸電線路之概況介紹；其次針對此次實習過程日方電力公司所提供之相關資料內容經過整理後，將有關其輸電系統管理績效指標部份予以介紹；最後乃是再將有關最新線路防雷技術及線路雷害狀況進行相關比較及剖析，使輸電線路工作相關人員均能從本篇實習報告內容中，不僅得以知道公司目前作法更能比較日方防範情形以為將來改進之參考。

最後是將本次實習之感想與建議，藉由本報告之提出分享給所有針對本次實習主題有興趣者一些建議與個人的感想，更希望藉由持續性的雙方交流，讓彼此對於輸電線路之維護管理提供最佳的改進方向。

一、日本電業現況介紹

日本是世界上電力工業發達的國家之一。裝機總容量和年發電量均居世界第三位。以下分別針對其電力工業管理、電能生產及電力系統部份進行介紹並輔以相關圖片供參考：

● 電力工業管理

1951年，日本建立了九個電力公司，即北海道、東北、東京、中部、北陸、關西、中國、四國和九州電力公司。九大電力公司與沖繩地區的沖繩電力公司一起，分別管理全國十個區域的發電、輸配電建設和運營業務。1952和1957年，又先後建立

了電源開發公司(EPDC)和原子能開發公司(JAPCO)，從事水電、煤電和核電的開發。EPDC 公司和 JAPCO 公司是僅次於九大電力公司的公用事業單位(如圖 2-1)。

- 電能生產

1973 年石油危機之前，日本全國發電量年增長率一直保持在 10% 以上，發電量由 1951 年的 473.5 億千瓦小時增長到 1973 年的 4703 億千瓦小時，總裝機容量由 1084 萬千瓦增長到 9550 萬千瓦，年發電量和總裝機容量僅次於美、蘇兩國。石油危機發生後，日本迅速調整了能源政策，逐步擺脫了過分依賴石油的局面，使電能生產又出現了穩步增長的勢頭，發電量年平均增長率為 5% 左右。調整能源政策後，能源結構發生了變化，油電比重從 1973 年的 72.0%，降低到 1980 年的 44.8%。70 年代中期，開始大量進口天然氣，使天然氣發電從 1973 年的 3.0% 增加到 15.0%。1989 年，日本發電總量達 7988 億千瓦小時，總裝機容量達 18623 萬千瓦。日本發電用能源占一次能源消費的比重達 32.3%，每美元產值的能源消費僅為 0.7 千克標準煤，是世界上能源利用率最高的國家之一。預計今後 10 年，日本年發電量將以 3~4% 的速率穩步增長，1995 年全國年發電量將達到 9100 億千瓦小時，全國總裝機容量將達到 22800 萬千瓦。發電能源仍採用多樣化，並使各種一次能源的發電比例為：核電占 35%，天然氣發電占 25%，油電占 16%，煤電占 10%，水電占 12%，地熱和其他能源發電占 2% 左右。

● 電力系統

隨著發電裝機容量的迅速增長和全國聯網的需要，超高壓交、直流輸電技術發展很快，其主要輸電幹線採用 500 千伏、275(220、187)千伏和 154(110)千伏。1985 年，全國擁有 500 千伏線路 6841 公里，變電容量為 9867 萬千伏安；275 千伏等級線路 24697 公里，變電容量為 8994 萬千伏安。電力系統的發展以九大電力公司電力系統為基礎，並於 1980 年形成了全國統一電力系統，採用 500 千伏為骨幹(如圖 2-2)。東、西部電力系統分別以 50 赫茲和 60 赫茲運行，由兩個直流背靠背變頻站互聯，北海道和本州之間採用直流海底電纜互聯，最終採用雙極±250 千伏輸電線路。日本超高壓輸電的特點是輸送距離較短而輸送容量大，500 千伏輸電距離一般在 100~200 公里範圍內；採用耐熱鋁合金導線雙回路，可輸送 1000 萬千瓦以上電力。大城市電力系統均採用 500 千伏、275 千伏環形供電線路，並以 275 千伏或 154 千伏高壓線路引入市區，廣泛採用地下電纜系統和六氟化硫(SF₆)變電站。由於大容量輸電的需要，日本對 1000 千伏特高壓輸電中的絕緣配合、避雷器、桿塔和導線佈置等進行了大量的研究工作。此外，日本中央電力研究所在鹽原實驗場，通過模擬試驗評價了±500 千伏輸電特性、經濟性、環保特性等技術因素，取得了一定的成果。

圖 2-1、日本電力系統概況介紹圖

圖 2-2、日本主要的輸電線網絡圖

● 系統運轉績效簡介

日方資料內亦有部份統計數字可以供我們進行線路運轉之參考，其中國際間各國年度事故停電時間比較表(如表 2-1)中特別將日本、美國、英國、法國及德國等國之年度事故停電時間予以表述比較，日本的資料為 2007 年的年度實績、美國的資料為 2006 年的實績、德國為 2006 年的實績、法國為 2004 年的實績，另外英國的部份為 2006 年的實績。

由表中雖可以明顯看出日本的平均每戶事故停電時間約在 16 分鐘左右，較其他國家時間為低。但因無法詳細了解其計算基準及各國之參考背景，其數據真正的顯示意義可能須進行更深一層之了解方可為本公司之比較依據。

從各年度內每戶平均停電回線數及停電時間比較表(如表 2-2)可知，以日本十家電力公司之總用電戶數得知其作業停電連同事故停電之總停電時間及總停電回線數之推移圖可看出，除年間遇有較大規模之自然因素侵襲(如颱風)導致其實績值較高外，可明顯看出其營運成效隨著近年來的技術進步而有顯著的改善。其計算基準係包含作業停電和事故停電兩種，因此由本比較表可知如何儘量縮短作業停電時間及停電次數，並整合各維護單位之停電維護時間，除可避免對用戶造成停電頻繁之不良印象外，對於評估電力公司的營運績效亦是一項相當重要的參考指標。

表 2-1、國際間各國年度事故停電時間比較表

表 2-2、各年度內停電回線數及停電時間比較表
(作業停電時間加上事故停電時間/每戶-10 家電力公司合計)

● 日本輸電系統概況介紹

■ 最長的送電線

日本國內最長的送電纜為 275KV 新北陸幹線，總長 351 公里屬關西電力公司轄管線路。線路延伸由富山縣新愛本變電所至大阪府枚方變電所間，自 1953 年開始運轉，其間連接線路長度原為 321 公里，於 1961 年因黑部川第 4 發電所完成，使線路再延伸 30 公里達總長度為 351 公里，為日本國內最長的送電線路。

■ 最高的送電鐵塔

日本國內最高的鐵塔為 220KV 中四幹線線路中的鐵塔，其高度有 226 公尺。該區間係跨越其國內瀨戶內海兩端而設，為保持離海面高 42 公尺之標準而設計，鐵塔本身高度為 214 公尺，另為安全考量特別外加 12 公尺長之避雷針而成為總高度 226 公尺高之送電鐵塔，該塔也成為日本國內最高的送電鐵塔。

■ 最多回線數的送電鐵塔

目前其國內送電鐵塔上回線數最多者當屬 77KV 和 154KV 共架之堺港新生駒線，其鐵塔上共有 12 回線共架，為關西電力公司所轄管線路，其線路共架情形為 77KV 有 4 回線和 154KV 有 8 回線。相較於一般標準型鐵塔單邊架線為 3 相 1 回線，雙邊架線則有 2 回線，因此由此可知單座鐵塔上有 12 回線共架時，其規模是相當宏大的。

■ 最高送電電壓

目前日本國內送電系統概分為交流送電線及直流送電線兩種。其中交流送電線部份之最高送電電壓為 1000KV 之西群馬幹線，屬於東京電力公司所有。而直流送電線部份之最高送電電壓為±500KV 之阿南紀北直流幹線，屬於關西電力公司所有。

● 日本送電線設備概況介紹

日本其輸電系統可概分為以下幾種等級：

■ 22KV

■ 33KV

■ 66KV 及 77KV

■ 110KV 及 154KV

■ 187KV 及 220KV 及 275KV

■ 500KV

■ 1000KV

經統計依其送電電壓等級區分，架空線路及地下電纜線路長度及個別回線長度表所示(如表 2-3)，其架空線路長度約 82000 多公里及地下電纜線路長度約 11000 多公里，相較於本公司架空線路長度約 9800 多公里及地下電纜線路長度約 2000 多公里，可見得相較於其架空線路約為本公司的約 8 倍長度，本公司的地下電纜長度明顯較日方為多，可能係考慮雙方的民情及環境背景不同，我方選擇的是線路敷設成本較高的地下電纜方

式，或許也應該仔細評估在這種營運條件下，各種維護方向所需投注的維護人力分布的重新分配。

表 2-3、送電電壓等級別之線路長度一覽表

二、日本輸電系統管理績效指標

- (一)有鑑於大用戶對於電力品質的要求逐年提高，如何有效地管理輸電線路使其電力穩定傳輸之首要目的可以如期達成，並將其維護績效具體展現，擬參考日本電力公司的管理做法，藉由剖析其輸電系統之管理績效指標，以達自我改善之成效而進行資料蒐集與了解。另針對近年來輸電線路受雷擊影響加劇，如何針對線路防雷技術進行自我提昇，實有必要參考他國做法以為

改進之依據，擬再利用出國實習機會進行了解。

(二)關西電力公司經營現況：

關西電力公司設立於 1951 年 5 月 1 日，資金 4893 億日元，計有 148 所水力發電廠，12 所火力發電廠，3 所核能發電廠，合計 163 所發電廠。送電線部份總長計有架空線路 14,096 公里、地下電纜 4,300 公里，配電線部份總長計有架空線路 122,718 公里、地下電纜 6,024 里，變電所部份計有 1,569 所。總發電力量計有 1,591 億 kWh，而總販售電力量計有 1,458 億 kWh，單日最大發電量為 3,306 萬 kW(2001 年 8 月 2 日)，電力供給地域計有大阪府、京都府、兵庫縣、奈良縣、滋賀縣、和歌山縣、三重縣、岐阜縣及福井縣等，公司員工計有 2 萬 2,106 人。

(三)九州電力公司經營現況：

九州電力公司設立於 1951 年 5 月 1 日，資金 4893 億日元，計有 139 所水力發電廠，16 所火力發電廠，2 所核能發電廠，合計 157 所發電廠。送電線部份總長計有 10,463 公里，配電線部份總長計有 136,041 里，變電所部份計有 583 所。總販售電力量計有 873 億 kWh，電力供給地域計有福岡縣，佐賀縣，長崎縣，大分縣，熊本縣，宮崎縣，鹿兒島縣等，公司員工計有 1 萬 2,553 人。

二、日本輸電系統管理績效指標

(一)前言

日本國內共 10 家的電力公司自從成立至今運轉已有超過 60 年以上之經驗了，縱觀其國內環境與台電公司之營運環境，其實是有著相當程度之雷同。因此，對於面臨著相同自然環境挑戰的送電線路而言，雙方的作法和因應對策實有著不可細分之連結，緊接著將針對其輸電系統之營運與管理面進行介紹，也希望透過簡略的探討可以讓我們得知雙方之差異性及其展現果。

(二)自然環境對送電線之威脅

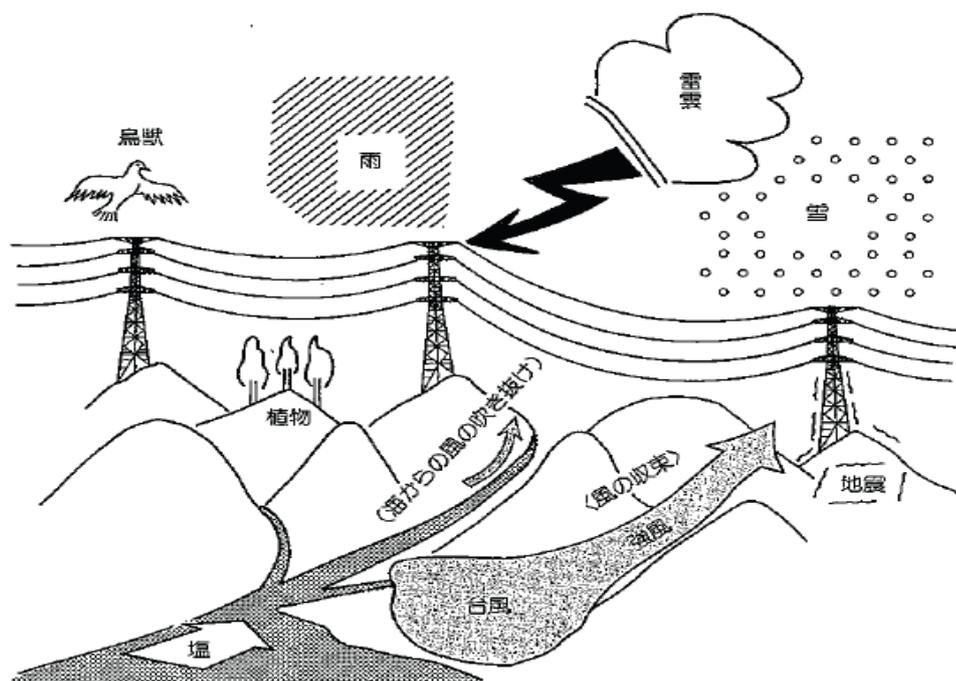


圖 2-3、日本自然環境對送電線之威脅圖

日本和我國同屬海島型氣候國家，自然環境中除了明顯的雷雨雪等因素外，尚須承受像是颱風、地震等不定時之嚴峻考驗。尤其是由海面上帶來的鹽份，長期吹拂的結果，對送電線之各

項設備諸如導地線、礙子及鐵塔結構本身均造成相當大的傷害。

由圖 2-3 之內容中可明顯看出，整個的環境因素中另包含像是鳥獸、線下旁植物及障礙物與地形因素等等，同樣在送電線之營運與維護上帶來影響。

經統計日本送電線之各類事故原因約可歸類如下九大類：

- 設備不佳
 - ◆ 製作不良
 - ◆ 施工不良
- 維護不佳
 - ◆ 維護不良
 - ◆ 自然劣化
- 自然現象
 - ◆ 風雨
 - ◆ 冰雪
 - ◆ 雷
 - ◆ 地震
 - ◆ 水災
 - ◆ 山崩或雪崩
 - ◆ 鹽塵瓦斯
- 故意過失
 - ◆ 作業者疏失
 - ◆ 民眾故意過失

- ◆ 樹木砍伐
- ◆ 火災
- 外物碰觸
 - ◆ 樹木碰觸
 - ◆ 鳥獸接觸
 - ◆ 其他外物碰觸
- 腐蝕
 - ◆ 電氣腐蝕
 - ◆ 化學腐蝕
- 其他(本)
- 其他(他)
- 不明

(三)送電線之事故分析統計

- 事故的種類
 - ◆ 單相接地
 - ◆ 相間短路
 - ◆ 接地短路
 - ◆ 斷線
 - ◆ 其他

另外如果以發生處所來區分的話，經統計其事故原因可知送電線發生事故的位置約略可區分如下：

- 事故發生處所
 - ◆ 支持物

- 鐵塔
- 混凝土基礎
- 鐵柱
- 桿柱
- ◆ 礙子
 - 懸垂
 - PIN
- ◆ 電線
- ◆ 礙子和電纜
- ◆ 架空地線
- ◆ 開關設備
- ◆ 其他
- ◆ 無設備損壞

(四)送電線事故之影響分析

近日，由於電子設備儀器的普遍使用及控制系統的高度精密化使然，有關於瞬間壓降及瞬間停電等問題的產生，會嚴重影響到生產的流程及品質。因此列出電力公司內部有關電力系統瞬停之相關實績及其未來改進的方向供參考。

■ 電力系統的瞬停

電力系統的構成乃是由輸電線及變壓器等電力設備所組成。然由於落雷現象等的發生造成故障事故，以致於出現像系統電壓電流及頻率等的異常。

由於系統電壓的影響度其間電壓低下的的程度或中斷時間

與其故障狀態分類表詳如表 2-4 所示。

呼 稱	電壓低下・喪失繼續時間
瞬間電壓低下	數サイクル～數秒
短時間停電	1 分～數分
長時間停電	十數分～數時間

表 2-4、瞬間壓降及系統跳電名稱定義表

其中

- ◆ 瞬間電壓低下 - 係指持續時間數週波至數秒
- ◆ 短時間停電 - 係指持續時間 1 分至數分
- ◆ 長時間停電 - 係指持續時間十數分至數小時

而瞬間電壓低下係指電力系統的故障，引起電壓低下至低壓保護電驛動作前的持續時間，其時間約略為保護電驛動作時間加上斷路器動作時間之和。

其次，短時間停電係指當電力設備故障發生時保護電驛將故障排除至再復電時其所持續時間。

最後，長時間停電係指當發生重大設備故障時致使再送電發生困難間其長時間喪失電力的現象。

■ 電力系統的故障分析及瞬停相關的實際情形

◆ 電力系統的故障分析

● 故障原因

詳細故障原因分類圖詳如圖 2-4 所示 其中約有 3/4 的比例為雷擊造成，其他主要的原因為他物碰觸如鳥

獸或樹木碰觸居多。

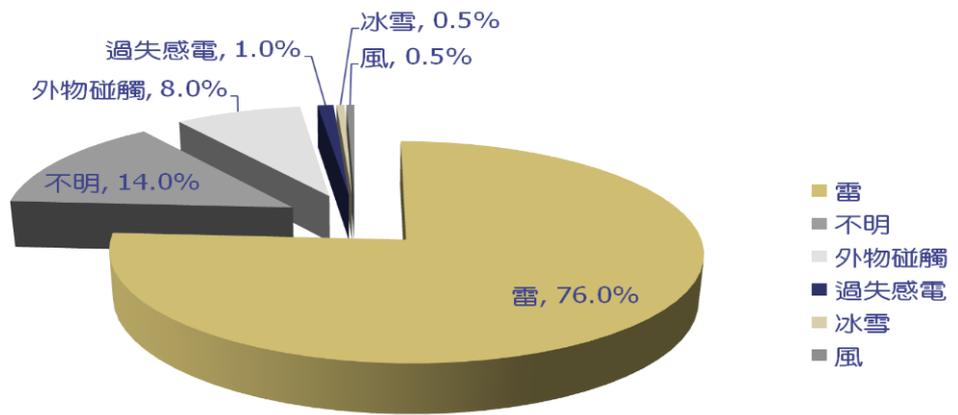


圖 2-4、送電線故障原因分類圖

隨著對於自然天候的了解與各種防範對策的實施，依據最近發表於電氣評論中之數據及參訪之電力公司提供資料顯示，對於事故發生原因之統計分析中，前者表示雷的因素大約佔 40% 左右，如包含自然因素等所引起的話則約有 60%。後者則指稱每年雷害事故仍佔約 60~70% 左右。

可見雷害原因仍然每年佔據送電線路事故原因之首位，因此若能有效降低雷害事故，則對於送電線路之營運績效必會帶來相當大的助益。

- 以月別區分之故障發生頻率

經分析還是以雷擊發生頻率居高的 7 月至 9 月份為主，約佔發生率的 80%。詳細按月別發生率詳如圖 2-5 所示。

圖 2-5、以月別區分之故障發生頻率圖

● 故障種類狀況

由於二相以上接地故障的發生所引發的電壓驟降約佔全體發生的半數詳如圖 2-6。

圖 2-6、故障種類狀況分析圖

■ 電力系統及保護系統介紹

◆ 電壓驟降的趨勢

有效的降低電力系統的故障發生，無形中便是大大地提高電力設施的高度可靠性。除了有賴週全的維護工作外，有鑑於電力設備除遍佈於廣大遼闊的地理區域外，還需要面對數量及種類眾多的各類威脅如雷擊、颱風、鹽霧害、鳥獸接觸及其他物的接觸等等，這已經可以從每年的各類故障發生頻率中可見一般。既然無法全然去避免這眾多危害系統穩定供電的因素存在，為防止故障所引起的電壓驟降我們可從以下二方面著手：

● 藉由系統的擴大來減少電壓驟降的發生

隨著需求的增加，導致電力系統亦需隨之擴大同時亦使系統朝向更細分化的趨勢，如圖 2-7 所示。

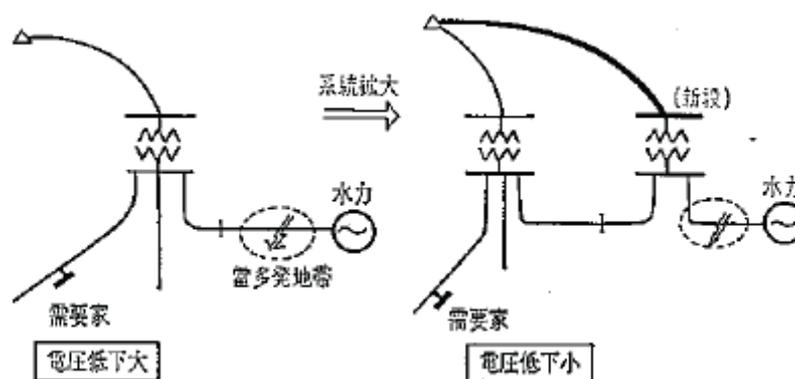


圖 2-7、系統擴大減少電壓驟降示意圖

● 縮短電壓驟降的持續時間

為維持系統安定度及避免設備損壞程度的擴大，特別將過去和現在系統使用之保護方式介紹如表 2-5。除可以看見其故障排除時間的縮短外，亦可由

圖 2-8 看見其故障清除時間縮短改善推移圖。

	電壓 (KV)	以前	現在
保護電驛	275	比較相位及後備電驛	比較相序及電流 2 部份
	154	選擇回線方式	比較電流方向方式
	77	測距保護	選擇回線方式
	33	過電流保護	高速過電流保護
斷路器	275	3 週波	2 週波
	154, 77	5 週波	3 週波
	33	6 週波	5 週波

表 2-5、高速度故障清除時間及保護方式表

圖 2-8、故障清除時間縮短改善推移圖

- 避免造成線路停電之對策

由前述知要有效的減低故障的發生是非常困難地，也是現在所無法即時有效地改變的現實。但是我們卻能將重點置於像是設施方面、應用方面及保護方面著手來達成期待的要求，例如針對故障發生頻率較高之送電線路故障防止對策，便可以採用類似表 2-6 的方式在充分考量系統構成、故障頻率及停電影響層面等各項對策的總體評估後，選擇最佳的方法來實行。並且可由各年來停電回線及停電時間的漸減應可看出其執行成效。

表 2-6、從系統面考量之線路故障主要防止對策表

由系統運轉面來考量上述停電事故發生的因應對策

■ 在 77KV 等級以上系統

運用兩回線併用的方式減少停電發生

■ 在部份 154KV 等級系統

採用差絕緣鐵塔設計以防止兩回線同時故障

■ 在 154KV 等級中

運用高速度復閉方式，防止兩回線同時故障。（兩回線故障時，先將重故障回線遮斷再高速復閉後，再將輕故障回線遮斷再閉路，如此來防止 2 回線故障停電的發生）

■ 在 275KV 等級中

多相復閉方式使用，藉由將故障相遮斷再予以高速度復閉來確保即使是二回線故障時亦僅只有重故障相以外其餘正常。

■ 系統間環路運用

當二回線故障發生時，且其送電線是構成環路供電時，可以確保線路電力的供應不中斷。

■ 在 275KV 及 154KV 等級之主幹線中

裝設系統穩定性裝置，當二回線故障發生導致系統變成分斷供給之失衡狀態時但尚未至系統全停下。其分斷後的系統將隨著其區域內單獨運轉的發電與負載狀態所控制時所使用的裝置。

(五)送電線之現代化維護

自動化生產設施的普及化及社會環境的高度化與多樣化發展，無形中亦要求電力品質的向上提昇。此外，送電設備朝向大型化發展與利用險峻的山區地形來施設送電線的頻率增加，再加上從事架空線路工作的熟練技能工作者的欠缺，更加突顯出要維持上述電力品質要的困難度。

因此為使電力供給可靠度能夠向上提昇，勢必需要利用像是省力化或高度自動化的方法來達成，可見的是維護的機械化及系統化方向將是未來檢討改進的方向。

緊接著便來探討有關現代化架空送電線維護狀況，自 1907 年（明治 40 年），日本國內第一條 55KV 送電線—駒橋線（自駒橋變電所至早稻田變電所，全長 75 公里），加入系統運轉以來至今，架空送電線隨著電力的需要增加而逐漸形成所謂的大規模化及長距離化。更隨著 1992 年 1000KV 設計線路—西群馬幹線（西群馬關關所至東山梨變電所，總長約 138 公里，現為 500KV 送電）的加入以來，更讓我們看到其間電力設備的設計、建設及維護方面等現代化技術之研究開發與成果。

■ 架空送電之維護工作特徵

電力設備的維護目的即是在維持電力的穩定供給，亦即充分考量

- (1)防止線路停電故障
- (2)設備功能的維持
- (3)設備安全的確保

(4)故障發生之迅速復舊

以架空送電線而言 1000KV 的設計送電，其所代表的是高電壓化及大容量化的進步、設備的重要性及鐵塔礙子等裝置設備之大形化相形下更加顯著。

此外，線路經過地座落於群山峻嶺的高山中及沿海區域，更有些是在擁塞的城市周邊，但無論如何其皆面臨著大自然的嚴格考驗。風、雨、雪冰、雷、鹽份等嚴格的氣象條件隨時考驗著架空送電線路。因此，其維護工作充分考量設備的重要性、所處的地理環境及其自然條件等方可進行最適切的維護工作。

■ 維護技術的現狀及今後的課題

◆ 維護工作的現況

架空送電線的維護工作不外乎巡視、點檢、設備補修、公共安全確保及故障處理為其主要工作，其詳述如下：

● 巡視

由於架空送電線除了直接遭受自然環境的威脅外，有關於鳥獸或樹木的碰觸、其他工作物體的碰觸等亦是造成線路故障的主因。因此，巡視其主要工作係確實掌握送電線週邊的實際狀況，達成防範事故發生於未然之所有必要資訊的取得為目的。也是後續點檢及補修計畫之合理執行的最重要基礎。因此，可見巡視工作的重要性，表 2-7 所示係巡視及點檢的執行事例。

項目			頻率	內容
巡視	定期	普通	1 回 /1-3 個月	針對設備的狀況為主包含設備週邊的樹木建築物其他工作物等的接近或交叉狀況調查為主 (全線路部份則另有定期的調查陳報規律)
		特定	1 回以 上/1 個月	係指針對特定區間來進行線路經過地之周邊保持係起因於鄰近處有工作物體接近之可能為防範事故於未然而起
	臨時	預防	必要 時	颱風豪雨或下雪期間後防範事故於未然而起
		事故	必要 時	事故發生後為期發現事故地點及事故狀況的掌握而實施
點檢	定期	鐵塔 鐵柱	1 回/5 年	針對鐵塔鐵柱等之變形生鏽或腐蝕等現象有無 針對基礎下陷移動或混凝土基礎之損傷風化等有無異常
		礙子	1 回 /3-10 年	不良礙子的檢出 礙子破損污染或附屬鐵器之變形生鏽等異常之有無
		電線	1 回/5 年	導線地線有無腐蝕情形 素線有無斷裂或附屬鐵器等異常之有無
	臨時		必要 時	設備已發生異常時實行 為防止類似事故再發而為之臨時性 點檢工作

表 2-7、線路巡視及點檢的執行事例表

● 點檢

巡視工作主要係針對設備的狀態進行詳細的掌握，除此之外，如需對設備的狀態進行詳細的調查和測試與

設備不良處所的確實掌握、設備的更換維修等等則惟有先透過點檢程序方可了解。上表所示除巡視外對於各種設備之點檢工作不論定期或臨時性則更予以明確的規定。

● 設備補修

係指針對巡視及點檢時所發現的異常處所之維修，以維持設備得以保持在最佳狀態而進行架空送電線的補修。如表 2-8 所示為通常送電線路設備補修作業範例表。

設備	作業內容
支持物	鐵塔的防鏽塗裝 變形損傷部材的更換 基礎補強 支線補強
礙子	不良礙子的更換 礙子的清洗
電線	電纜 地線之架設更換 補修 間隔器的更換
其他	線下旁樹木砍伐

表 2-8、送電線路設備補修作業範例表

● 公共安全的確保

由於設備週邊的土地開發行為等所造成，而進行的設備保護工作。為免一般民眾發生危險，因此公共安全的確保工作則以明顯的安全標誌設置為主。

(a) 電氣災害的防止(風箏、釣魚和吊車等)

(b) 隨著送電線週邊的開發而進行的相關安全隔離

(c) 沿著送電線周邊因為第三者的工作而伴隨產生

● 線路故障之處理

萬一發生線路故障時須做的是，

(a)故障點的發現

(b)故障原因及故障情形的掌握

(c)故障復舊方式的提出

(d)故障的復舊

為達迅速且正確的執行務必對事故點場所、周圍環境狀況的掌握正確了解，此外也須注意停電範圍的極小化，防止發生二次災害為重點。

◆供電可靠度提昇作法

架空送電線依其故障原因及發生件數統計圖(5年平均)，詳如圖 2-9 所示。以自然現象而言，雷的因素佔了近 71.5%最多，其次是風雨的影響佔了 2.8%，而鳥獸害則佔了 16.5%，最後其他及不明原因部份也有近 8.1%。合計以自然現象為主的故障原因，約佔全部故障的 75.5%，遠高於其他類型的事務種類。

圖 2-9、A 電力公司故障原因及發生件數統計圖

由過去 20 年間，故障率的變遷圖可看出自然現象所造成的事故，雖然每年仍舊高居第一位，但是其次數和比例可看出是有下降的趨勢。但還是一直持續約 50%以上，如果真要改善提昇供電可靠度，則務必由設備上進行相對應的改善計畫，並針對其成果予以評估追蹤。

圖 2-10、過去 20 年間線路故障率的變遷圖

◆ 提昇供電可靠度之對策

- 防止斷線
 - 採用多導體方式送電
- 防止雷害
 - 弧角的設置
 - 架空地線多條化
 - 提高絕緣
 - 採用差別絕緣設計
- 防止雪害

採用難以著雪之圓環及制震器

特別的是針對雷害部份，藉由鐵塔接地阻抗的降低、架空地線的多條化及線路高絕緣化與差別絕緣的設計採用，可以由圖中出雷害事故的減少，更隨著弧角的設置達到更進一步的防範效果。

表 2-9 顯示是配合使用再復閉及強行送電後其策略執行成效統計表，由表中可看出供電長時間中斷的事故案例得以有效的降低。

電壓等級	500	187-275	110-154	66-77	66 未滿
復閉及強行送電件數(%)	100 (99/99)	98.9 (811/820)	99.5 (2755/2769)	98.5 (7460/7566)	96.9 (2330/2404)

()內所示為再復電和強行送電成功件數/線路跳脫次數

註:本表所示為 2 回線以上線路發生跳脫事故時 1 回線強行送電成功案例及次數

表 2-9、再復閉及強行送電策略執行成效統計表

近由於電腦的大量被使用，無形中增加電壓驟降時所帶來的影響程度。因此，未來如何提供一個可信賴的改善對策將是一大課題。

■ 最新維護技術探討

近來已實用化的現代化維護技術探討如下：

◆ 點檢方面的省力化技術

● 透過自走式機器達到省力化

以往進行礙子、導線及架空地線的點檢作業，並無任何活線點檢工具可供使用，往往須透過作業人員直接乘坐宙乘車於導線上之方式進行，不僅耗費極大的人力且常常伴隨著作業而存在的危機亦應蘊而生。為使

點檢作業得以省力化且有效改善作業環境為目的，特地開發自走式點檢機器來加以實用。

以其中一項為例，搭載著 ITV 攝影機進行影像及照片功能來針對電線之素線斷裂、損傷等進行點檢的「自走式電線點檢機」或是可以在礙子連上行走進行礙子絕緣阻抗量測，以檢測出不良礙子之「自走式不良礙子檢出機」等等其使用效果均不錯。

圖 2-11、自走式不良礙子檢出機

圖 2-12、自走式電線點檢機

● 遙控感測技術的導入

近來，由於感應技術及影像處理技術的進步，使得「遙控測定(remote sensing)」技術其可用性及準確性均得以往上提昇。因此，使得送電線點檢作業方面可以導入應用此一技術，此外像是直昇機搭配紅外線攝影機進行接續點溫度測定或是影像畫面處理技術應用於電線損傷判定或雷射測距技術應用於送電線下樹木等均是此類技術的發展延伸。

◆ 作業方面的省力化技術

此外，針對維護作業面上，也是考量省力化及改善作業環境的觀點，進行相關自動機器的開發(作業機械人)。如電線上的自走機，或是可以在礙子連上自走的活線礙子洗淨機等等。

◆ 系統化的設備管理技術

從前，送電設備的管理均是以台帳方式進行。但隨著設備量的大增及設備的多樣化均導致管理資料的爆量增加，使得台帳管理方式變得相當煩雜且無效率。

現在，由於系統化設備管理技術的進步。幾乎所有的電力公司均改以電腦來進行設備管理的工作，設備管理系統係指除了可以清楚的看見設備資料外，更容納了包括送電線故障資料庫及納入線下旁異常資料的管理機制。不僅使得資料的檢索、統計處理可以迅速有效率外，亦提供巡視點檢之計畫排程，以結合該線路歷次巡視點檢

記錄安排最佳之工作安排。

■ 送電線維護現狀之課題

現在的架空送電線路之建設趨勢為

- (1)設備量的增加
- (2)設備的大形化
- (3)長距離化
- (4)符合社會要求之可靠度提昇壓力
- (5)技術熟練之工作人員欠缺

在這樣的要求下，對於送電線路系統管理之今後課題將是

- (1)省力化及精確度更準確的機械化發展
- (2)防止事故及線路故障發生的技術開發
- (3)故障點的迅速掌握及復舊時程的加速

■ 近代化維護的新技術導入

為使架空送電線所面臨的課題得以解決，特地以現在使用的維護技術與近年來研發的新技術進行介紹如下。

◆ 設備狀態的掌握技術

有關設備狀態的掌握部份，將首推直昇機複合點檢系統的使用。近年來利用直昇機搭載 ITV 和紅外線攝影機的方式，了解線下異常點及電線損傷處，此外搭配現行的夾板處與接續處的紅外線溫度測定技術，使其整合為一複合點檢系統。

圖 2-13 所示即是 ITV、紅外線攝影機、電暈檢出器、雷射測距裝置等全部搭載於直昇機上進行電線、地線、附

屬鐵器點檢，線下異常處的掌握，不良礙子的檢出及線下旁樹木調查等，利用一回的飛行即可一次完成的複合式直昇機點檢系統示意圖。當然本系統的最大課題乃是其如何將點檢精密度再予提昇。

◆防止故障於未然的技術

送電線的故障約有 90%，是由雷和鳥獸等所導致。如果可以有效防止這類事故的發生將可使送電可靠度再往上提昇。接著要介紹的是送電用避雷裝置及小氣隙式鳥害防止弧角裝置。

圖 2-13、複合式直昇機點檢系統示意圖

● 送電用避雷裝置

使用於送電線雷害故障防止用的避雷器裝置，除了須承受嚴格的自然條件外，還必須考慮相對的機械性能和直擊雷時處理巨大的能量釋放等困難點。所幸由於氧化鋅元件的開發並已應用於變電所用的避雷裝置之可行性，再加上使用於送電線時須考慮其裝拆的方便性及構造的輕便性，方使得送電用避雷裝置的開發得以順利進行。

送電線的雷擊現象是造成電位上昇，當上昇至超過弧角間耐電壓時便會在弧角間產生閃絡，造成接地故障。為了防止這類型的雷害事故，我們能做的便是當雷擊的電位上昇時，要將它壓抑至弧角耐電壓以下才可行。由於氧化鋅元件的特性是，當低電壓時其近似絕緣體的性質，導致電流無法流通。而一旦電壓超出元件值時電流即急遽上升，經由其非線性特性使得電壓得以受到抑制。

送電線設置的避雷裝置，當雷擊時弧角間的電位差上昇時，利用避雷裝置內藏的氧化鋅元件特性作用，將弧角間的電位上昇抑制至其耐電壓值以下，使得閃絡乃至於接地故障得以有效防止。其動作特性示意圖詳如圖 2-14。

圖 2-14、送電線避雷裝置動作特性示意圖

以 77KV 送電線為主，進行實際線路的耐久性效果驗證，其實際裝設後之效果改善示意圖詳如圖 2-15 所示。

圖 2-15、送電用避雷裝置效果改善示意圖

該設施係裝置於鐵塔各相為必要，且線路整體的建設成本亦隨之上升。但可見的事，該項技術確實可行，經由圖示可知，包含雷害故障在內的瞬停次數確實可見減少，當然可隨之檢討的是送電線的合理絕緣設計是否可能因本裝置的裝設而將耐雷設計用的絕緣間隔予以縮小，如此一來包含鐵塔的簡便化都是可以期待的，因此也希望將來可以有針對此一題目進行的整體性評估。

- 小氣隙式鳥害防止弧角裝置

如圖 2-16 所示，本裝置主要是在礙子的鐵塔測之弧角以絕緣礙子加以絕緣如此便成一個小的 GAP。

這個防鳥害裝置當遇到雷擊等異常電壓時其放電電壓會是以弧角間加上 GAP 間隔的總間隔距離為主，以鳥翼較廣之鳥類為例，在鐵塔上便可能因為其翅膀長而同時碰觸到兩側弧角產生接地事故。藉著 GAP 及絕緣礙子的協助，可以達到縮短其弧角間隙後，導致鳥類無法接近而得以防止鳥害事件的發生。

圖 2-16、小氣隙式鳥害防止弧角圖

◆故障點的早期發現技術

以往送電線路的故障點檢出，乃是利用設置於主要變電所的故障偵測指示器(FL, FAULT LOCATER)。而現在則是改由鐵塔上裝設的閃絡指示器(FI, FLASHOVER INDICATOR)來實行。而 FI 大致上可分脈衝型(C形)突波型(B形)和阻抗型(數位型)3種。

其中最常用的是突波型，亦即是兩端變電所檢出突波時利用波形到達的時間差來進行故障位置標定的動作。但是，由於突波在長距離傳輸時會出現波形變形現象及在分歧線路的分歧點會產生反射波而衰減的原因，導致這樣的檢測現象在某些特定的場合是沒有辦法適用的，同樣的缺點也會出現在脈衝型上。另以最近開發的阻抗型(數位型)而言，其利用送電線的阻抗隨著距離而比例成長的現象而研發出來的也同樣有著相同的問題。現在搭配著 FI 而進行故障點發現時，往往著眼於當雷擊時的雷電流流經塔腳時由於其大電流的關係，導致類似火藥爆

發著火的散佈現象，經由巡視時進行確認，來做為雷擊鐵塔的判斷依據。當雷擊電流大到一定程度時也會出現在雷擊鐵塔的週邊數座鐵塔也會有類似的現象。

- 早期的故障點發現技術

- 送電線故障區間檢出器(FS, Fault Sector)

- 77KV 以下的架空送電線，其接地故障乃是藉由短路故障時所流出的故障電流之磁界感應而檢出，進而達到故障區間標定的目的。電界感應則是用來確認送電壓的有無而已，每個裝設FS的裝置其動作狀態是由微處理器所控制同時也可以記錄故障發生時的時間並能於連續故障時確知故障區間，如圖 2-17 所示。

圖 2-17、送電線故障區間檢出器動作示意圖

■ 接地點表示器(G FIND)

如圖 2-18 所示，利用夾於鐵塔架空地線的檢出線圈進行檢知，在發生雷擊或鳥獸害時利用接地故障電流進行檢出，由於鐵塔兩側的架空地線之電流流向差異而知。如果是健全相鐵塔則其檢測出的方向是相同的，但若是故障鐵塔則會發現其電流方向是相反的，也就是利用這種電流相位差的原理進行檢出工作，進而得以順利標示出其故障點。

隨著對於其檢出精密程度的要求及送電線路之重要性，有必要再將檢出系統進行更進一步的提昇。

圖 2-18、接地點表示器動作示意圖

■ 故障區間標定系統

隨著光纖複合架空地線(OPGW)架設於送電線，使得於鐵塔上設置故障電流檢出感應器變得可行。

故障區間的標定必須能夠迅速而正確地進行標定才行。此一系統的工作原理，乃是利用於接地故障發生時於架空地線上流動的電流予以檢出，藉由一定間隔設置的故障電流檢出感應器進行，再由 OPGW 的維護單位接收此一信號後，經由電腦負責解析處理感應器所傳送資料與故障時全線長度和架空地線電流值與相位差分佈狀態而得到故障區間標定的結果。如圖 2-19 示為單相接地時架空地線上流動的電流值及其相位分布，在接地處由於架空地線分流的特性，使得接地電流在故障點為最大且其電流相位會相反，讓我們進行位置的標定

圖 2-19、故障區間標定系統動作示意圖

此系統的特徵是

- 接地故障或短路故障的故障相別指出與標定
- 當線路有分歧時亦能適用而不會受限於線路形態
- 線上偵測的方式可於維護處所進行常時監測確保其效率和可信度

現今複雜的故障形態和故障電流值的強弱不一，使得我們不得不再結合 FUZZY 理論與專家系統的 AI 手法進行整體性的綜合判定系統之開發。感應器的設置區間之最小精定設定與感應器設置間隔的長短均會影響到檢出精度，如前所述如能再結合變電所的 FL 故障區間檢出器將可使標定精度再向上提昇。

◆ 送電線維護之重要指標

由於現代維護工作的繁重，其終極目標應是以尋找出免維護的工作程度才是。為達此目的並考量設備的重要性及經濟性，實在有必要於建設之初，即考慮經過地點周邊環境，惟有透過事前詳實的調查、結合高精度的設計、與合適的施工技術，產生完美的設備構築圖，再搭配真正免維護取向的材料、和設備構造的開發演進，方能成為現代化架空送電線維護的基本理念。

(六) 輸電系統管理績效指標

由上述日本電力公司的各種有關送電線維護作法及支技術的介紹，我們可以知道對於已經營運超過 60 年的日本各家電力

公司，一直到現在都還以如何提高供電可靠度及降低送電線路事故為刻不容緩的首要任務，也因此當我們比較這些年來日方的各項重要績效指標時都能感受到其強烈的企圖心。

首先，我們揭示的是其有關於各項工作的計畫性，如下表所示為電力公司每年不僅會將當年工作結果詳列外，更會將未來目標一併列出，讓我們感受到所謂計畫性之重要及如何在已經訂定好之計畫完成期限內妥善規劃及進行。

計畫性工作，往往會讓人覺得僅是計畫而已，屆時再以各種理由予以延期或改期即可交代，但這似乎不是一種負責任的做法，因為既然已明訂計畫且在各式文件內予以昭示，當然就應以其為首要工作，全力以赴才對。

		平成21年度	平成22年度	平成23年度
電 氣 事 業	電 源	1,333	1,700	1,623
	送 電	425	413	399
	變 電	411	428	442
	配 電	321	303	343
	その他	336	332	357
	計	2,826	3,176	3,164
	原子燃料	491	733	751
	電氣事業計	3,317	3,909	3,915
附帶事業		14	26	28
總 計		3,331	3,935	3,943

表 2-10、A 電力公司各年份預定工作計畫表

我想日方將其昭示的目的，應該也是覺得一切當以計畫完成為

前題，相信我們也曾面臨類似的問題，對於計畫完成工作相較之下，不願意予以明示或處處預留伏筆，尤其對於一些民眾反映的問題也是如此，往往須要民眾發函或透過其也管道來探詢才知道真正的完成期限為何。因此，比較兩照雙方的做法應該可以立即明瞭對於顧客滿意度這一項目而言，日方的做法應該較值得我們學習。

■ 輸電系統管理績效指標

◆ 送配電損失率降低

對於日方電力公司的經營內容和我方一樣均包含發電、輸電及配電三個區塊，因此經營上所面臨的問題應該是類似的，在其績效指標中有一項資料是有關送配電損失率的管制，不論發電的數量為何，一旦在傳輸過程中產生太多的損失，那麼對於效率和成本上都是一大缺陷，因此對於管理績效指標的第一項，想和大家分享的是「送配電損失率」的管制。

如圖示，先比較日本電力公司、日本全國及外國對於此一損失率的管制數值為何。可由圖 2-20 中看出，相較於國外各國(法國、美國和英國)的損失率而言，日方的該項數值是相對偏低的，雖然或許比較基準未必是相同的，但是可以呈現出與其他同業的比較結果，可想而知對於本項目應是深具信心的。

其次，由圖 2-21 中可以看出電力公司不僅和其他同業相比，對於自己公司內部的損失率控制亦是逐年降低的趨

勢，可見不自滿於現狀及追求更高的效率是有目共睹的。

圖 2-20、各國送配電線損失率比較示意圖

圖 2-21、A 電力公司送配電線損失率逐年趨勢示意圖

◆送變電設備維護方法的合理化

對於同時涵蓋發、輸、配電的電力公司而言，過度維護

及維護不足等不當維護都不是樂見的，前者造成的是維護成本的浪費而後者更有可能造成送變電設備的嚴重損壞，因此如何讓維護人力及維護工作妥善地分配，將是一大課題。對於送變電設備維護方法的合理化而言，有以上幾項評估項目可以當作我們未來努力的方向。

- 利用外部技術了解設備內部異常及劣化
- 結合歷年運轉維護履歷進行綜合評斷
- 點檢項目的縮減
- 點檢合理化週期的適常延伸
- 新式維修工法的開發
- 維護費用的控制及抑低
- 設備機能的維持及延壽

◆ 個人勞動生產力的提昇

對於公司而言，如何創造公司最大的經營獲利是首要任務。但是以公司內部員工而言，是否可充分配合公司政策，貢獻個人最大努力於創造公司利潤上，相對地是直接影響到公司目標可否達成之大關鍵。

在其績效指標上有一項是「個人勞動生產力」的評估項目，正好可以符合上述說法。透過將總售電量去除以公司總員工數的結果，可以看出每位員工對公司總售電量的貢獻程度，從另一方面解釋即是讓所有員工對於公司的經營有強大的向心力，因為不論員工對於公司的貢獻程度為何？這個數據顯示出公司獲利和每一位員工是習

習相關的，也惟有每位員工都能竭力奉獻方能使經營目標往前邁進。

圖 2-22、個人勞動生產力逐年趨勢示意圖

◆ 新技術的開發與活用

最後對於管理績效指標上還有一項和我們公司的「創新」目標類似的，是其電力公司有關「新技術的開發與活用」上提出的作法和貢獻程度，隨著社會的進步和民眾對於電力事業的接受程度普遍偏低而言，遵循以往的做法雖然不致於造成錯誤，但或許已經無法相容於現今社會中，如何在不嚴重影響民眾權益及電力公司經營目標上尋求一個較佳的平衡點已經是電力公司迫切須要了解及解決的問題。

隨著科技的發展，如何將其應用於輸電系統已是各國爭相努力的方向，近年來由於 GPS 衛星定位及 RFID 無線射頻技術的成熟，也開始應用於送配電系統之維護與管理上，再結合電腦資料庫的使用，讓我們對於設備管理能夠更有效率及更人性化。

以日方資料顯示，對於其將來預計納入新技術的開發與活用之課題預計有以下三類：

- 大容量送電線的使用
- 地下電纜長尺化的佈設
- 線下提高工程新工法的開發

在談完日方對於輸電系統管理績效指標後，或許有些是我們仍未補足及未來努力的方向，有些是我們的做法可以提供日方參考的，但無論如何，彼此交流的目的即在於截長補短，讓雙方都能夠更加精進。

三、雷擊事故及防雷技術介紹

(一)前言

雷是電力設備絕緣設計最重要的一項課題，19 世紀末至 20 世紀初期乃是利用架空地線作為雷害防止的對策。而現在的絕緣設計，則是利用和變電所間的雷突波間隙協調方式來防止突波對變電所造成重大的損害。

將來的設計方向則是對雷害對策之相關領域進行多角度的研究，特別是近幾年來對於落雷位置標定系統的成功建置使我們可以對落雷資料有較詳細的了解，乃致於對雷所產生的過電壓

之發生原因的理論證明和使用氧化鋅避雷器元件和 SF₆ 絕緣氣體之絕緣機器的普及，均同時使耐雷技術及絕緣技術得到同步的提昇。

EMTP 電磁暫態模擬程式的廣泛應用及其模擬技術的進步使得電力設備之耐雷性能得以獲得大幅度的精進發展。可是同樣地，隨著社會的高度資訊化與對於電力供給可靠度的要求以及通信控制等低電壓電子電路和電腦的廣泛被使用，都迫使我們須正視雷害所帶來的嚴重影響和其相關防止對策的擬訂。

在此將對雷害防止對策的最新動向及其展望進行總括性的述敘以提供大家一個較新的應用資訊。

(二) 雷風險管理

近年來，風險管理的觀念普遍的被應用於各種領域。最早開始於金融方面的應用而漸漸衍生至組織方面的自我評價上，尤其是雷害而言，相對產生如損失率大小、發生機率等或是雷害程度乃至於統計學上使用的期待值等均屬之。

電力設備向來即屬於極重要之公共設施，舉例而言，一旦發生雷害事故所造成的大範圍停電事件誓必會對社會造成極重大的損失，且其損失又往往難以加以定量性的評估。不過可以確信的是，受雷害程度的減低除了可以減少大範圍損失的發生，亦可以讓雷害發生率得以降低。

因此如何使雷害事故的發生得以明顯的降低，乃是今後防止的一大課題。另外，資訊和通信技術(ICT)隨著社會的發展，通信資訊和控制等低電壓回路的使用都和雷害問題有關連。此外

電力設備、發變電所的電子化及電腦化的演進和普及都是樹立雷害防止對策的重要課題。

當然以私人和私營企業為考量，其雷害防止對策所需的費用將是相當重要的問題。但是如果將假設之雷害發生機率和雷害風險管控所需投入的龐大花費相比，我想如何取得一個平衡的合理的投資效益是相當重要的。成本效能比是一個相當不錯的參考方向，雷害風險管理是一種有參考方向及漸進式的演進策略其基本的流程詳如下述。

首先，第一階段是雷危害評估。

針對不同的地域，其發生的雷害頻度都是不同的，也是我們要了解的了。

其次是雷擊能量的考慮所結合成的雷危害評估。

雷危害評估是一種相當直覺性的判斷依據。例如像是進行地域別的雷特性評價時經常使用的雷雨日數(IKL)和落雷頻度等即是。可是我們可以發現的是，不一定雷擊數最多的地域其發生雷害事故的次數也最多，亦即其並非呈現絕對的關係，例如當地是否另有裝設風力發電機組或是以發生回數較多的夏季雷為例，其在日本海沿岸則是冬季才會發生，所以該區域是冬季雷所導致的雷害程度是較大的。

所以要進行雷危害評估時，一定要先針對當地區域的雷擊特性和其雷害發生的機制有充分的了解掌握方可進行評估。

而雷風險管理的第二階段乃是針對雷危害評估及雷害程度大小與雷發生頻度有關之雷風險評估的實行

即是藉由各種雷對策的執行及其場合的不同進行雷害程度縮小與發生頻度的降低為評量的方向。其評量基準可用以下公式予以紀錄：

$$R = \sum N_i C_i$$

其中

R 為對象物的總合雷風險數

N_i 為對象物的第 i 種雷被害發生率

C_i 為對象物的第 i 種雷被害發生時之損失

由於現實狀況下我們可以將減低雷風險之種種改善對策予以納入而達到低減的目的，因此可將上式予以增加一風險低減係數 P_i 而改寫為下式，其中風險低減係數定義為當無任何防止對策時其值為” 0” 而如果藉由對策的實施可以達成完全的保護則其值取” 1”

$$R = \sum N_i C_i (1 - P_i)$$

雷風險評估即是由對策之成本來進行比較並採行最適當的施行對策。

雷風險管理的第三階段便是進行雷風險管理

如上所述，針對雷風險及其對策之執行成本進行總合性的評估後才決定最佳的耐雷方案，其精髓乃在於實際的設備之雷風險評估亦即是我們須要先行了解當地區域之雷危害指標與雷擊頻度和電擊電流分布等相關的雷資料更須要了解雷害發生機

制及各種防止對策的效果

(三)日本國內的雷特性分析

為能掌握當地區域之雷特性。隨之發展出如電力公司和氣象單位均能利用雷擊發生時之電磁場多點偵測，來將雷擊資料予以解析並進而獲得大地雷擊地點和電擊電流值等資料且予以應用為落雷位置標定系統。

此一落雷位置標定系統，可於雷擊發生後在當地電力公司的網頁上即可迅速查明之公開資訊。結合電力中央研究所及各電力公司之同心協力下，透過提供彼此自 1992 年至 2001 年 10 年間的雷資料庫為基礎所發展出的落雷位置標定系統，製作成日本國內落雷頻度圖 (IKL)，近來又根據 2002 年以後的資料予以更新再重新建置自 1992 年至 2008 年 17 年間的雷基本資料庫此一雷基本資料庫所製作之落雷頻度圖如圖 2-23 所示，而其年度變化值則如圖 2-24 所示

圖 2-23、2002 年至 2008 年日本落雷密度示意圖

圖 2-24、1992 年至 2008 年日本落雷數之年度變化圖

其中，夏季以北關東地區所發生的落雷頻率較高，而在冬季則是以日本海沿岸所發生的落雷頻率較高。

據統計近年來其年間的雷擊發生次數約均在 70 萬件至 80 萬件之間，而以其雷擊電流分布情形來看並比較夏季及冬季之雷電

流數值可知冬季雷其雷電流值明顯較夏季雷為大。

(四) 過電壓解析手法的最新動向

雷風險評估中，特別要求須針對設備各部份之絕緣性能充分把握，而雷擊時各部位所產生的過電壓值等高精度的預測便變得十分重要。以往，雷擊時電力設備發生之過電壓計算方式乃是利用以回路方程式為基礎之 EMTP 電磁暫態模擬程式進行，其原理約略是將輸配電線及變壓器等之機器以等效電路的方式予以置換後，再利用數值計算的方式進行。

僅是以近似的電氣等效電路置換的方式來執行模擬作業可想而知，對於像是送電線鐵塔等需要嚴密解析模擬手法是無法提供及滿足的。現在則轉向利用較為嚴謹的計算方式結合電磁學之基礎並透過 MAXWELL 之方程式直接進行數值計算的方式則取代前述方法為未來研究之方向。

目前較具代表性的計算方式為 FDTD(Finite-Difference Time Domain)法，電力中央研究所便是以 FDTD 法為基礎開發出突波計算程式 VSTL(Virtual Surge Test Lab)。

經比較 VSTL 計算結果和模型實驗結果可知當發生建築物雷擊時其建築物內部發生之電磁場變化計算值較為接近，將來也希望此一計算方式可以在低電壓回路之雷害防止對策檢討中被充分使用。

(五) 各種設備的雷風險程度及雷害防止對策之最近動向

■ 送電線的雷風險程度及雷害防止對策之最近動向

送電線的雷事故率乃是由前述落雷資料及送電線的雷擊特

性和過電壓發生特性等合併考慮後，再利用開發的程式—送電線雷事故率預測計算加以得出，經過比對其預測計算結果和實測結果有相當的符合程度。

近來，除了傳統利用架空地線之傳統雷害對策改善方式外，也開始利用線路避雷器的方式進行雷害防治。下表所示為日本國內送電用避雷裝置的安裝情形表

表 2-11、日本送電用避雷裝置使用數量統計表

此外考量成比效能之實際情形，亦開始有如圖 4 所示續流遮斷型之弧角被開發使用。此一續流遮斷型之弧角開始大量被使用於 22/33KV 等級之線路上。

圖 2-25、續流遮斷型之弧角裝置示意圖

■ 雷突波解析的最近動向

由於雷擊所產生的過電壓，是影響設備絕緣強度最重要的因素，也因此為保護電力設備我們絕對有必要去了解雷擊突波的解析及其雷過電壓強度之預測。

同時，也應擴大至資訊、通信及一般電氣設備等。為了解雷擊突波特性和，必須將雷現象予以模組化、設備之模組化、機器之模組化乃至於非線形現象之模組化等都是其中的課題之一。

這方面的相關知識也可從各種重要文獻討論記載中得知，其中又以建構於回路理論基礎之解析手法的 EMTP 電磁暫態模擬程式，因為其高精度雷擊突波解析手法而被廣泛應用。

此外，資訊和通信技術 (ICT) 隨著社會的發展，通信資訊和控制等低電壓回路的使用都和雷害問題有關連。我們知道雷發生時其所引起之暫態電磁現象係一三次元方程式表示，如果我們可以將發生的雷過電壓和暫態電磁現象予以正確掌握，將有助於了解其相關行為模式。

也正是因為這樣的結果，讓我們可以利用數值暫態電磁界解析手法為基礎發表出新的電擊突波解析手法的開發與實用，最後則是再將雷突波未來的發展方向作一個歸納及整理。

(六) 使用於高精度雷突波解析手法之 EMTP 模擬程式

■ 程式之開發原由

在電力系統上被普遍使用的 EMTP 暫態現象解析程式，乃是

一個在世界上最多技術者及研究者所利用的標準解析程式。此一 EMTP 暫態解析程式最早試於雷擊突波分析乃是由日本於 1980 年代初期開始著手進行，現今也成為世界上最為先進之雷突波解析程式。

如圖 2-26 所示為針對入侵至變電所之雷擊突波，其侵入路徑及其相關參數分析圖，由本圖亦可以預測變電所是否會出現雷擊過電壓。但先決條件是，除了須對自然現象的雷擊部份有較清楚的認知外，亦須對電力系統之避雷器或變壓器等等各種的電氣設備進行模組化以便進行預測。

因此電氣學會之調查專門委員會便將調查研活動集中於此類型議題為中心，其成果便是最新之高精度雷突波解析手法之開發及實用性程式的推出。

■ 雷突波解析用之各參數模組化

以下主要針對發變電所進行雷突波解析時所使用之高精度雷突波解析手法-EMTP 程式之使用程序概說

◆ 暫態解析對象之回路構築

以發變電所為對象之雷突波解析案例討論如圖 2-27 所示為 EMTP 程式所須使用之各項參數之元件模組化示意圖。

如圖 2-28 所示為模擬解析回路之建構即先將電力回路予以標示後再分別針對其各項參數進行模組化。

圖 2-26、入侵至變電所之雷擊突波侵入路徑圖

圖 2-27、EMTP 程式使用參數之元件模組化示意圖

圖 2-28、模擬解析回路之建構示意圖

◆ 各解析參數之元件模組化手法

● 雷擊電流波形

雷擊電流波形乃是以一 $1/70\mu\text{s}$ 直線上升波形予以模擬。其波高值乃是隨著所使用之電壓對象不同而設定不同的雷擊電流值，其所使用之各電流如表 2-12 所示。此一波形之波頭長，波尾長($1/70\mu\text{s}$)及波高值是依據統計而得之分佈值也是進行模擬時所須使用之要項。

表 2-12、各電壓等級假設雷擊電流值

● 鐵塔

鐵塔乃是劃分為如圖 2-29 所式之四段式鐵塔模擬模型來表示，而其所採用之上部及下部突波阻抗分別是 $220\Omega/150\Omega$ ，而其傳遞速度是採光速進行。此外塔腳接地電阻則是採類似電阻元件的方式模擬，即當發生有大電流流經塔腳時，其接地阻抗是不會產生任何變化而維持一定值的情形下，此一特性當然也有人持反對意見而提出類似非線性阻抗的模擬方式。

圖 2-29、四段式鐵塔模擬模型示意圖

- 送電線，地下電纜及滙流排母線

送電線因其中線路常數之電力頻率數固定而採取 J-Marti 的模型方式進行模擬。而針對地下電纜及滙流排母線，則是不用考慮頻率依存性，而採用只考慮單相分布常數回路模型或多相 K. C. Lee 模型。

因此，送電線、地下電纜及滙流排母線之線路常數相關解析模型主要可利用於 EMTP 程式中對於附屬線路常數計算程式中 (Line Constants 和 Cable

Constants)使用。

- 電力機器

變壓器、比壓器、比流器及附套管式電力機器等，則是用其靜電容量之等效容抗為模擬依據。閉路狀態之斷路器，則是和滙流排母線一般處於連通狀態。而開路狀態之斷路器，其電極間則須考慮如同大地間之靜電容量，而在等效容抗回路中即是以此為模擬依據。另外像是繞線型機器由於其繞線及電壓頻率的關係則是會產生如 R-L-C 般的模擬特性須納入考量。

- 避雷器

就我們所知避雷器，其 V-I 特性曲線乃呈現一種非線性型阻抗的樣態，亦即在模擬時就是要依此進行。在避雷器中我們必須去考慮避雷器的接地線通常會用 $1\mu\text{H}/\text{m}$ 的感抗值，那是因為當避雷器有急峻的電流流入時，由於感應會產生急遽的電壓上升而為限制電壓的上升而設定此值。

- 弧角的閃絡狀態

弧角的閃絡狀態乃是放電時之前導電流所產生，同樣須在模擬時予以考量，此一模型所使用的是弧角的 V-t 特性曲線，其 V-t 曲線乃是實驗得出當雷擊時所同時伴隨產生閃絡之值所紀錄而得。

- 其他解析考慮參數

當遇有架空線路從連接站引下連接地下電纜時，這一

狀態下的突波考慮則是須另案研擬，因為其相互間的結合狀態和模型的建立等亦是今後研究的課題。

四、送電線的雷害防止對策

(一)前言

擔任電力輸送之重責大任的架空送電線，除了須負責將分隔兩地的發電所與都市間的變電所予以連接外，其廣佈於各處的相關設施同樣須承受各種自然現象的挑戰和威脅。而其中威脅最大的，便是由於雷擊所帶來的。而它同樣也是造成架空送電線事故的最主要原因。

由架空送電線路的電力供給中斷事故原因分析可知，雷的因素約佔全部事故的 40%左右而如果加計其他自然現象引起的事事故合計約有 60%。為求電力系統的穩定供電，實在有必要進行架空送電線的相關防雷措施，亦即雷害事故的減低就變成是不可或缺的要項。

以下將再針對和架空送電線有關之雷害事故種類及其發生的機制和主要的防雷對策進行逐一說明。之後再舉一防雷對策實施之實例說明—即針對北松江幹線的耐雷強化對策工程予以說明。

(二)架空送電線之雷害事故種類及其發生的機制

一般而言，架空送電線的雷害事故主要可分為直擊雷事故及逆閃絡事故兩種。而逆閃絡事故又可分為鐵塔逆閃絡及徑間送閃絡等兩種詳如表 2-13 所示。

表 2-13、雷害事故種類表

■ 送電線雷害發生機制

自然現象中的雷電發生，乃是由於氣象條件和地形等各種要因之複雜交變下所發生的產物。而架空送電線遭受雷擊則更是由送電線經過地的標高，鐵塔高度，徑間長度等有關其送電線的實際狀況交互影響下所導致。

有關從雷雲發生後至架空送電線遭受雷擊閃絡之始末機制則如圖 2-30 所示。

圖 2-30、送電線遭受雷擊閃絡之始末機制示意圖

■ 架空送電線之耐雷對策

為能有效減少架空送電線的雷害事故，各式各樣的防範對策被討論及提出。現今我們所採行的有效的防雷對策則如圖 2-31 所示。

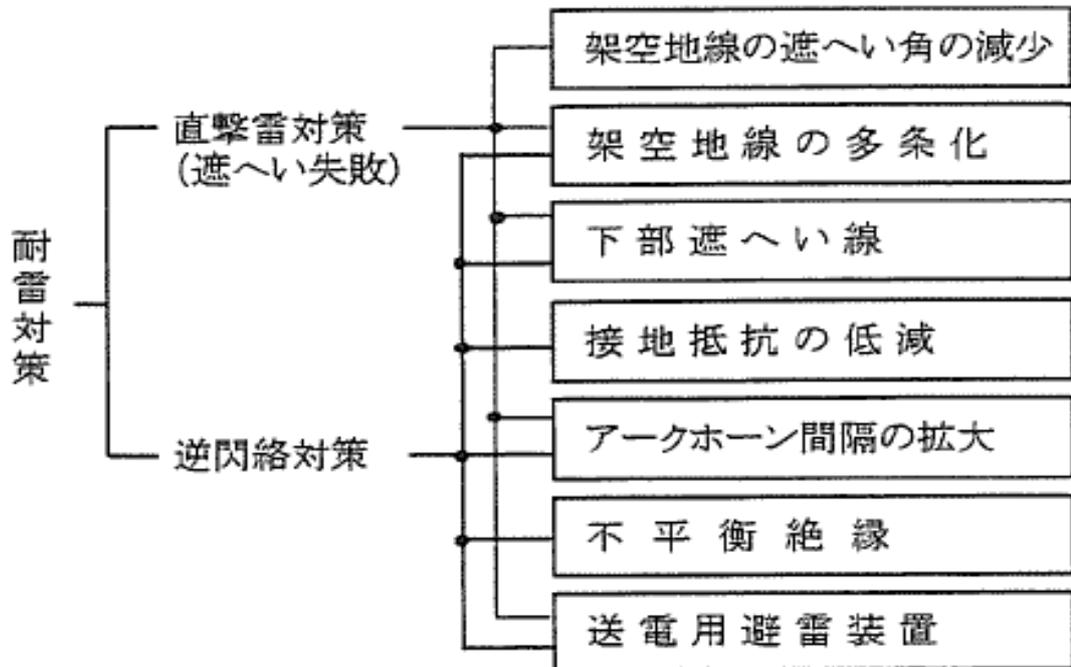


圖 2-31、架空送電線之耐雷對策圖

◆ 架空地線の遮蔽角度減少

利用架空地線の條數增加(1 條變為 2~3 條)，或是利用增長架空地線的橫擔長度而達到導線遮蔽角度減小，是最為直接有效的直擊雷事故防止對策。

當架空地線的橫擔，隨之增長後會有減少 1 回線事故的成效出現。但是相對地也會使線下所佔投影面積隨之增加，同樣地以橫擔尾部垂直面來看，增長地線橫擔後會使得導線和地線間的距離，得以在不用提高鐵塔高度前

題下得到增加。

◆ 架空地線的多條化

架空地線的條數增加，可以有效的防止直擊雷事故的發生。可是，由於地線增加造成的線路結合率變大，使得弧角間閃絡電壓降低而讓逆閃絡事故可以獲得低減。超高壓送電線已漸採用 3 條化的架空地線，事實也證明對於 2 回線事故率的低減達到一定的效果，但由於目前鐵塔結構僅有單一裝設支柱的影響使得要普遍適用變得困難，現下只有 500KV 送電線採用此種佈設方式。

◆ 下部遮蔽線的佈設

本質上來看，以減輕送電線下靜電感應為主的導線下方架設下部遮蔽線之作法，其線路的結合率變大使得逆閃絡事故可以低減亦可使直擊雷事故予以減少。經統計對於 2 回線事故率的低減有相當不錯的效果可惜的是其建設成本較高因此在實際線路的使用上較為少見。

◆ 接地阻抗的降低

塔腳的接地阻抗降低，可以使得雷擊時鐵塔的電位上昇獲得抑制，導致逆閃絡事故的減低。但是由於受限鐵塔建設位置之土壤結構所影響，真正可以進行阻抗降低的狀況較少。

◆ 弧角間隙的擴大

以 2 回線送電線而言，將各別回線的弧角間隙予以擴大，可以提高線路之絕緣強度，使得閃絡事故減少。亦

可同時減少兩回線同時事故的發生機率。

◆ 差別絕緣

以 2 回線送電線而言，通常兩回線之弧角間隙設定是不同的，亦即其絕緣強度是不同的。當雷擊時，若發生低絕緣側的閃絡，由於閃絡接地的關係，使其結合率得以增加。此時，應用至高絕緣側之雷電壓便獲得減輕。而使高絕緣側的閃絡獲得防止，造成兩回線同時事故的發生機率減少。

◆ 送電線用避雷裝置的使用

我們都知道，一旦架空送電線發生雷擊，必然會使變電所之斷路器動作，為系統安全起見，將事故予以切離。此時，我們所選擇的送電用避雷器裝置，主要係應用氧化鋅元件之非線性特性，其動作原理係於閃絡時將續流電流予以遮斷並在事故發生後斷路器動作前完成。目前使用中的避雷裝置如表 2 所示

● 送電用避雷裝置

送電用避雷裝置，是採避雷元件及串接間隙的方式構成。該避雷元件是常時連接於系統上，但是是以和系統絕緣的方式連接。當雷擊發生動作時，它會在弧角尚未閃絡之前讓避雷裝置的串接間隙先行動作而防止送電線發生事故。

表 2-14、送電用避雷裝置分類表

由於此一串接間隙的存在，它可以在遇到過大的雷突波或是避雷器元件發生故障的情形下，都仍能持續維持系統正常送電。但是因為此一類型之避雷裝置須在鐵塔橫擔之前端再額外裝設相關附屬鐵器，所以對於須裝設之鐵塔必須進行相關的強度檢討。

● 簡易型避雷裝置

簡易型避雷裝置，基本上和送電用避雷裝置有著同樣的機構，只是此型裝置之放電耐受量較小且其體積及重量均較送電用避雷裝置來的輕薄短小，可以取代既設礙子之弧角部份且其裝設位置不需再進行

鐵塔的改造。

● 續流遮斷型弧角

續流型弧角，乃是以鳥害防止型弧角為基礎所開發出之新式裝置。它同樣也可以取代既設礙子之弧角裝置。

其動作情形大約是，當雷擊時動作元件內會有事故電流流經，當溫度上升時元件內部即會產生消弧瓦斯。此一消弧瓦斯便是以噴射的方式來將續流電流予以遮斷，此型避雷裝置並非使用的是和前述相同之氧化鋅當做避雷元件而是使用較為廉價而有防止鳥害機能之元件為主。

同時其遮斷次數是有限制的且在續流遮斷期間會有瞬間電壓驟降之現象產生。

(三)北松江幹線耐雷強化對策工事介紹

緊接著實際介紹北松江幹線耐雷強化對策之工程為例，其為今年(平成 22 年)3 月至 5 月間進行之防雷工程，本北松江幹線乃是由北松江變電所一路接至日野變電所(如圖)，全長為 41.3 公里，總共鐵塔數共有 97 座之雙回線送電線路，建設於昭和 63 年。以 500KV 為設計及建設基準，及至今年 5 月均採 220KV 送電方式進行，本線路擔負著島根核能電廠 1 及 2 號機發送電力之穩定供電角色。

圖 2-32、北松江幹線路徑分布圖

現今由於該廠正進行增設 3 號發電機之工程，考量電力輸電起見，乃將原 220KV 島根核能輸線更改為 500KV 之送電線，同時也將和北松江變電所相關之北松江幹線予以升壓(即由 220KV 提升至 500KV)。其中北松江幹線之升壓工程已順利於今年 5 月份開始運轉，由於北松江幹線的升壓，致使原本僅送 1 及 2 號機產生電力之任務，現今又再加上 3 號機之出力，其任務重要性驟昇的情形下實有必要針對其送電線之可靠度進行要求。當進行完線路耐雷強化對策之檢討後，也開始了第一次使用 500KV 送電用避雷裝置之實際經驗。

本線路經過地之概要如下，北松江變電所附近約為海拔高度 90 公尺以下之丘陵地及田園地，之後則約為海拔高度 100 公尺至 450 公尺左右之丘陵地及相較下較高之山岳地，論其經過地之氣象條件(雷)約為全年間雷暴日數(IKL)約為 29 左右。

◆線路概要為

●鐵塔種類及型狀

支持物屬於 2 回線垂直排列，主柱材及腹材為鋼材料之中空鋼管至於補助材及吊材類則為等邊角鋼。

●礙子連裝置

耐張裝置部份採 2 串裝設，而懸垂裝置部份則為 1 至 2 串。其耐雷強化對策之檢討如后，之前北松江幹線曾經發生線路事故，結果導致供給需求面產生不平衡造成社會莫大之影響。

◆耐雷強化對策

因此在考慮其強化對策時基本上仍是以耐雷強化對策之確實可行為主，相關檢討內容如表示：

	對策案	概要
(1)	接地抵抗の低減	10Ω → 5Ω
(2)	アークホーン間隔拡大	3,800 mm → 4,000 mm
(3)	架空地線 3 条化	架空地線 2 条 → 3 条
(4)	不平衡絶縁	3,800 mm → 4,000 mm 3,800 mm → 2,400 mm
(5)	送電用避雷装置の設置	送電用避雷装置設置 (片回線)

表 2-15、耐雷強化對策檢討表

●接地電阻值的降低

接地電阻值考慮由 10Ω 降低至 5Ω，且其接地電阻降低工作可於無停電狀態下進行且施工較容易

- 弧角間隙的放大

由既設弧角間隙 3800mm 放大至 4000mm，可是其中有 4 座 V 吊礙子鐵塔係無法配合施作，但是考慮該 4 座鐵塔之接地電阻值均在 1Ω 以下之相當小的情形下因此認為其不會構成較大問題而予以忽略(其施工停電工期約為 2 個月)

- 架空地線 3 條化

將既設架空地線由原本 2 條增加為 3 條，惟須注意在架空地線的延線作業過程中，須確保與送電中線路保持安全距離。(因無法兩回線同時停電因此預估工期約為 2 個月)。此外，另涉及鐵塔改造部份必須於停電工期開始前先完成(因同屬接近活電作業，預估工期同樣須約 2 個月)，必須考慮是否有涉及基礎補強之相關作業及費用。

- 差別絕緣

現狀為已採差別絕緣考量，惟發現除了線路事故以外，也同樣使得雷事故發生率有明顯惡化之現象(其施工停電工期約為 2 個月)

- 送電用避雷裝置

由線路事故所確定的鐵塔塔位開始算起，進行送電用避雷裝置的部份安裝，由於只需進行部份回線的安裝所以較方案 2~4 所需停電工期來的短(其停電工期約為 1 個月左右)

經由上述各方案之施工工期及施工費用等各方面予以評估後可得應採行之方案為(1)接地電阻降低及(5)送電用避雷裝置的裝設。

在選擇採用方案後，隨即進行耐雷強化對策之實施

◆ 接地電阻的降低

● 欲施工處所之選定

我們以降低接地電阻至目標 5Ω 為首要選定之基準，結果可知 97 座鐵塔中有 56 座必須進行。

● 施工方法的檢討

在此，我們以一般的接地棒埋設工法來進行檢討，據經驗得知採用此法之接地電阻降低效果都可達到標準才對，須注意其埋設間隔應為埋設深度的兩倍以上。可是通常在鐵塔施作時，已經於塔地範圍內埋設了多支接地棒在內了，所以重新再埋設的接地棒，常因埋設距離過近，而產生彼此互相干涉之情形。對於接地電阻的降低也往往無法達到預期的效果，有鑑於此為求仍能符合接地電阻降低之目的，可改用結合管型接地棒和小型鑽孔機之工法或深挖工法方式進行，其探挖工法概要示意圖如圖 2-33 所示。

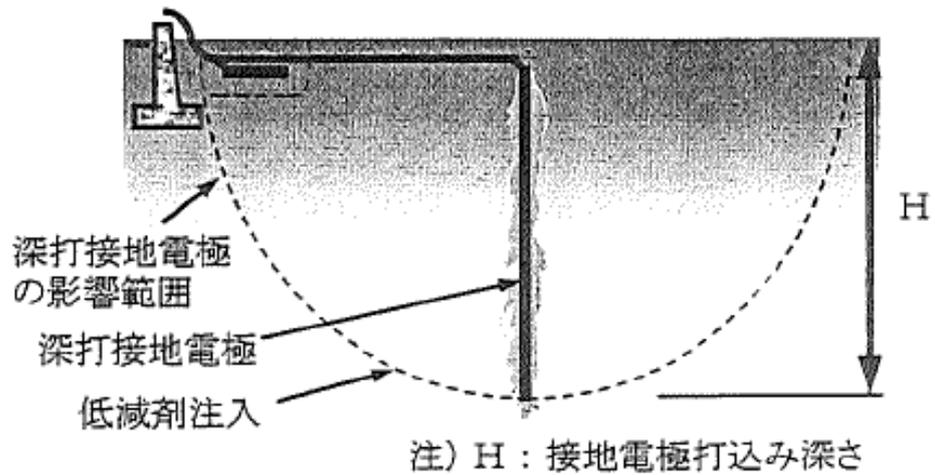


圖 2-33、探挖工法概要示意圖

● 實施結果

實施結果，全部 56 座鐵塔中有 12 座是採用管型接地棒和小型鑽孔機之工法，而有 44 座則是採用深挖工法方式進行。針對接地電阻之改良結果，大致上都可降低到 5Ω 以下之要求值(其平均值為值 4.2Ω)。

◆ 送電用避雷裝置之設置

● 避雷裝置設置處所之選定

由線路事故所確定的鐵塔塔位開始，我們都知道鐵塔的高度對於事故的發生有著較大的影響，因此我們選定為避雷裝置之設置處所基本上係根據鐵塔塔高等各塔不同之狀況予以考慮後選定。其檢討之依據，係由電力研究所所開發之送電線雷事故率預測計算程式(LORP)計算得知，其計算假設係以線路事故發生率降至零為基本，詳細之計算流程如圖 2-34 所示。

圖 2-34、送電線用避雷裝置設置處所檢討流程圖

■ 鐵塔高之選定

先將線路之最惡劣條件代入，如接地電阻為 5Ω (平均為 4.2Ω)，電擊密度為 3.58 次/ km^2 -年(平均為 1.75 次/ km^2 -年)，求得線路事故發生處所之鐵塔塔高。

結果可知懸垂鐵塔高度在 78.9 公尺以上及耐張鐵塔高度在 86.7 公尺以上之鐵塔，最有可能會發生雷擊事故。

■ 接地電阻之選擇

其次，我們進行的是根據事故地點之鐵塔，選定其接地電阻值之大小。將前述所得到之鐵塔高，設定為檢討接地電阻之最惡劣條件來辦理。利用已選定之鐵塔高為起始逐一遞減接地電阻值，當

我們發現事故的發生與否產生界面時，即可訂定該點為接地電阻的臨界點。經計算結果懸垂鐵塔接地電阻在 $4.6\ \Omega$ 以上及耐張鐵塔接地電阻為 $4.9\ \Omega$ 以上之鐵塔便有可能會產生線路事故。

● 檢討結果

經檢討結果顯示，當會發生事故時其基本條件應該是懸垂鐵塔高度在 78.9 公尺以上及接地電阻在 $4.6\ \Omega$ 以上或耐張鐵塔高度在 86.7 公尺以上及接地電阻為 $4.9\ \Omega$ 以上之鐵塔。因此可知當出現符合條件之鐵塔時，即為設置避雷裝置之處所。

一旦如此當可如願將線路事故率降至零的水準，而檢視本線路可知總共 97 座鐵塔中，符合本條件者共計有 16 座，所以我們便在這 16 座鐵塔設置避雷裝置。

● 選定設置之回線

北松江幹線其絕緣設計係採平衡高絕緣的方式佈設，因此若能兩回線均予設置當然就不再出現線路事故之情事，然實際上觀察本線路之經過地地形狀況及過去發生事故之實績納入考慮後，僅選擇其中一回線 3 相裝設為主

● 避雷裝置概要

■ 線路避雷器之規格表

其基本的規格表如表 2-16 所示

項目		仕様値
本体	定格電圧	364 kV
	定格放電電流	22 kA (2/20 μ s)
	最大放電電流	35 kA (2/20 μ s)
	動作開始電圧	514 kV
	定格放電電流	63 kA, 0.1 sec
	機械的強度	1,960 N, 1 分間 (引張, 曲げ)
	全 長	約2,600 mm
	質 量	約65 kg
装置	絶縁協調特性	波頭峻度1,500 kV/ μ s の雷インパルス電圧に対して、がいし連アークホーン間隔3,800 mmと協調が確保できること。
	開閉サージ耐電圧	(避雷要素部正常時) 943 kV (避雷要素部故障時) 868 kV
	汚損続流遮断	塩分付着密度0.25 mg/cm ² で汚損湿潤させたとき、1/2 サイクル以内に続流を遮断できること
	直列ギャップ長	1,850 mm

表 2-16、500KV 用避雷装置基本規格表

◆線路避雷器之装置圖及實際設置範例

装置圖如下圖所示而實際設置範例如圖

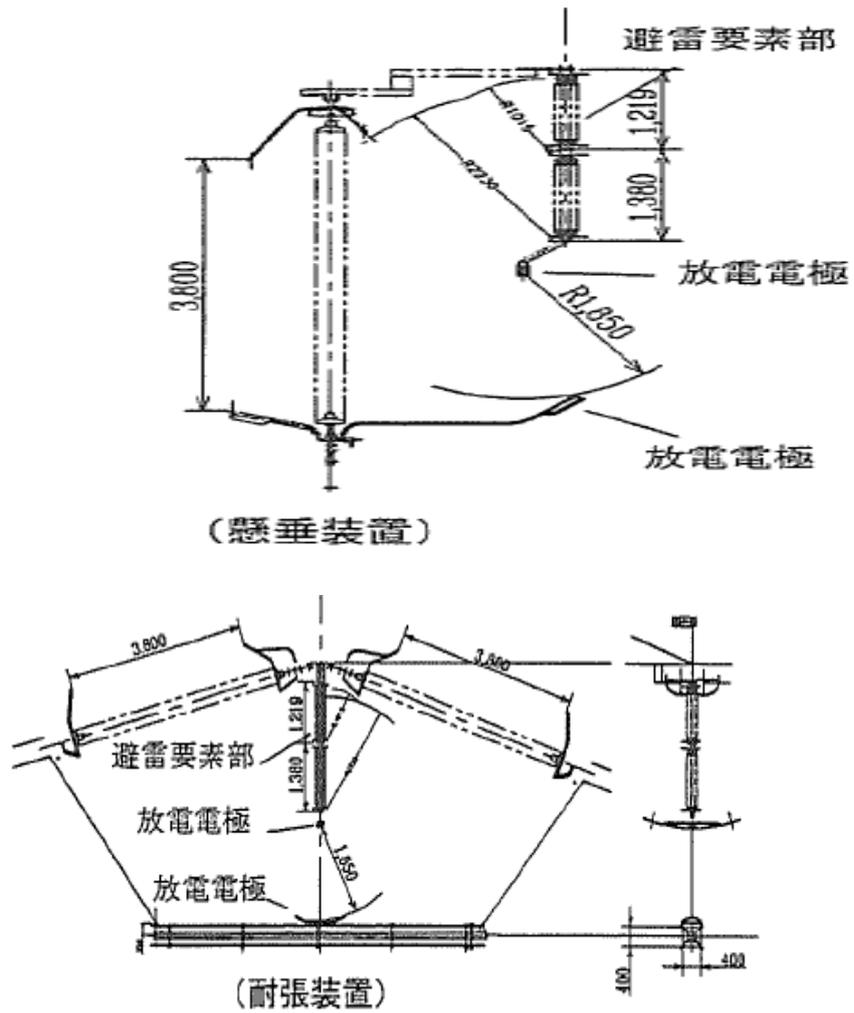


圖 2-35、線路避雷器之裝置設計圖

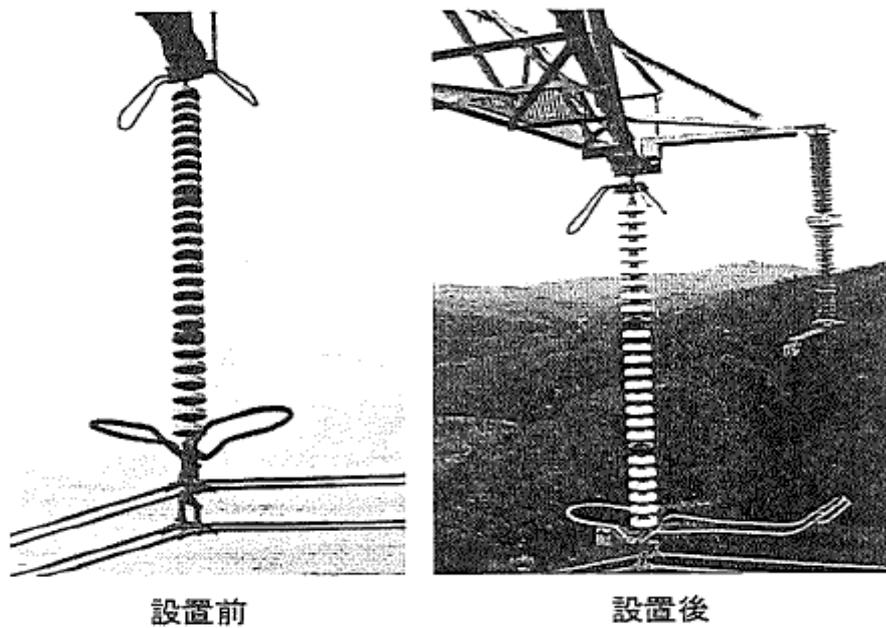


圖 2-36、線路避雷器設置範例圖

(四)結論

自從平成 19 年開始制定架空送電線路耐雷對策基本方針以後，將主要的架空送電線進行送電用避雷裝置的設置，結果可以發現對於瞬間電壓驟降及短時間事故的防止有著不錯的成效。雷乃是一種自然現象，當然要完成防止雷害事故的發生是相當困難的，可是擔負著穩定電力供給的我們，無論如何，今後的課題一定是會朝著雷害事故的低減方向進行才是。

參、感想與建議

此次參訪實習過程雖然不長，但是由於所實習的課題和自身工作有直接關連，因此除了日方提供的資料部份外，更至台灣科技大學及本公司圖書館等處探尋相關資料文獻，實因渴切希望結合本次實習課題與相關文獻記載內容與本公司實際做法三方面而統合或整理出可供我們未來遵循及參考的方向，才不致枉費本次出國實習之用心。針對下列課題，個人希望提供小小的感想與建議讓本篇報告更臻完整，也可呼應上述比較我們與日方做法上差異供大家參考。

一、送電線的事故率統計比較

根據日本電力中央研究所 2010 年「送電設備の自然災害評価技術」資料中顯示的日本送電線跳脫紀錄值(1990 至 2002 年度)可見雷害事故佔 42.8%而風雨冰雪等造成因素亦有 25.8%左右，光是統計自然因素類所造成的事故率即佔 2/3 左右，這就是其日本送電線路所面臨的自然危害考驗。

反觀台電方面的統計資料(93 年至 97 年)顯示，雖然比較的年份數不同，但以自然現象所造成的線路事故而言約佔 60%左右，雖然沒有日方的嚴重但對於事故原因仍有改進的空間。

另日方針對外物碰觸部份，可能因宣導得宜且其送電線支持物高度較高，經統計結果亦較我方來得低，是可以再根據兩方背景條件深入比較的地方，畢竟減少線路事故的次數，對於供電的可靠度提昇是有著絕對的助益。

圖 3-1、日本送電線的事故率統計圖

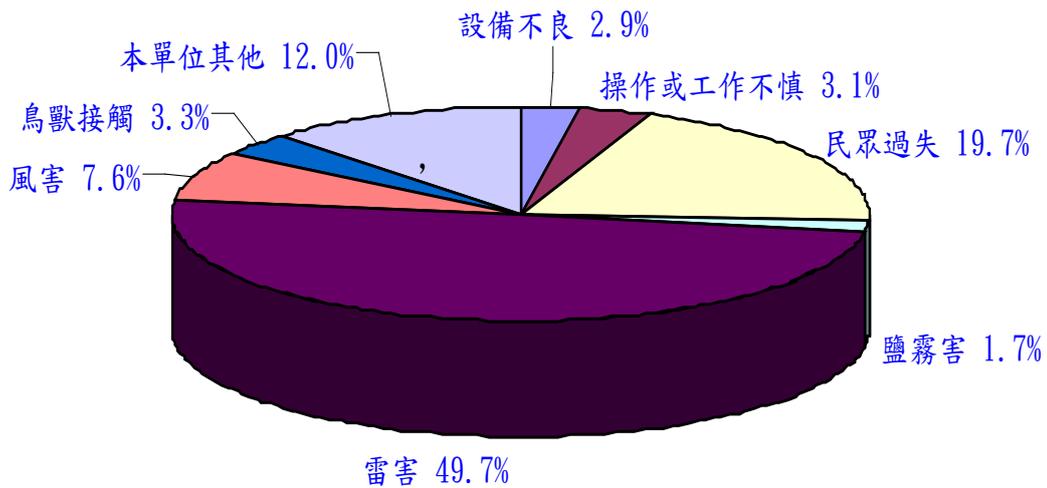


圖 3-2、台電輸電線的事故率統計圖

二、日本與我們在雷暴日數(IKL)分布圖之比較

再者針對兩個海島型氣候國家而言，面臨的颱風及雷雨侵襲情況是否有差異，可由以下的比較圖中看出。

其中，夏季以北關東地區所發生的落雷頻率較高，而在冬季則是以日本海沿岸所發生的落雷頻率較高。

據統計近年來其年間的雷擊發生次數約均在 70 萬件至 80 萬件之間，而以其雷擊電流分布情形來看並比較夏季及冬季之雷電流數值可知冬季雷其雷電流值明顯較夏季雷為大。

【圖1】日本の年間雷雨発生日数

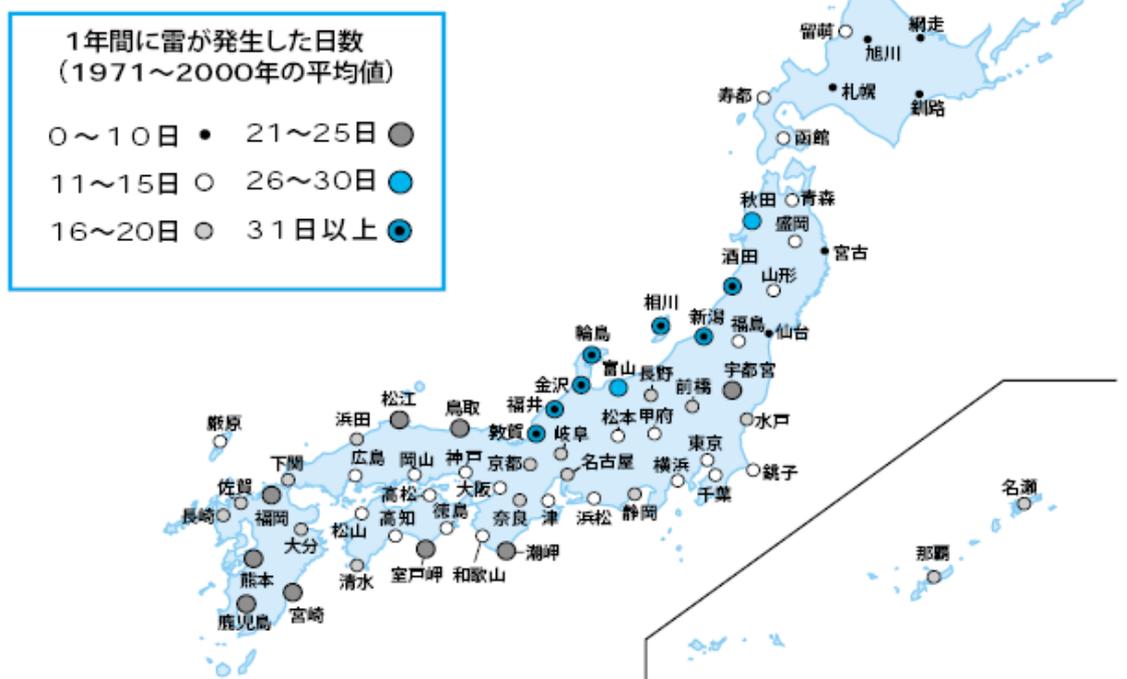


圖 3-3、日本雷暴日數(IKL)分布圖

而台灣方面則是集中於西南沿海及靠近中央山脈地區有著較高的落雷頻率，但比較其數值顯示，我方的 IKL 值明顯較日方為高亦即在考慮送電線之雷害威脅程度上，對於防範對策及作法上，我們應該有著更為有效之措施來因應。

根據前文內容，比對雷害事故的比例可看出，我方的事故率長年均約在 50%左右，而日方還有高達 60~70%的發生率而言，這方面的改善成效相較上我方是可見其努力結果的。

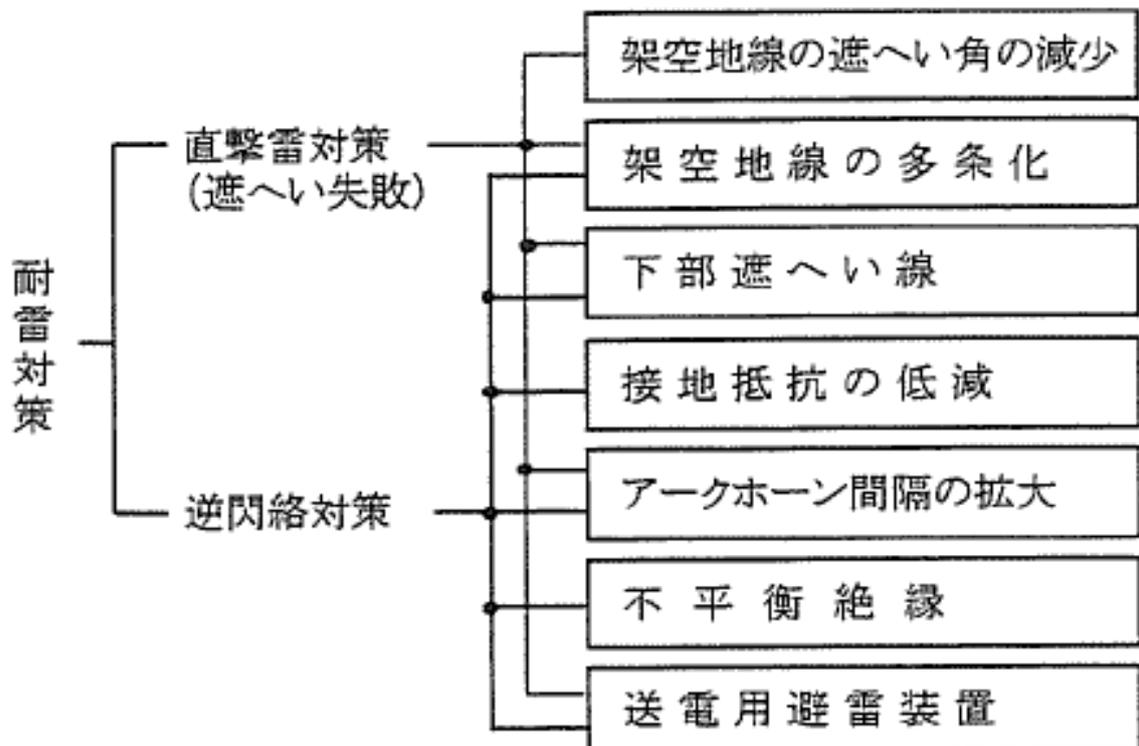


圖 3-5、日本防雷措施實施對策圖

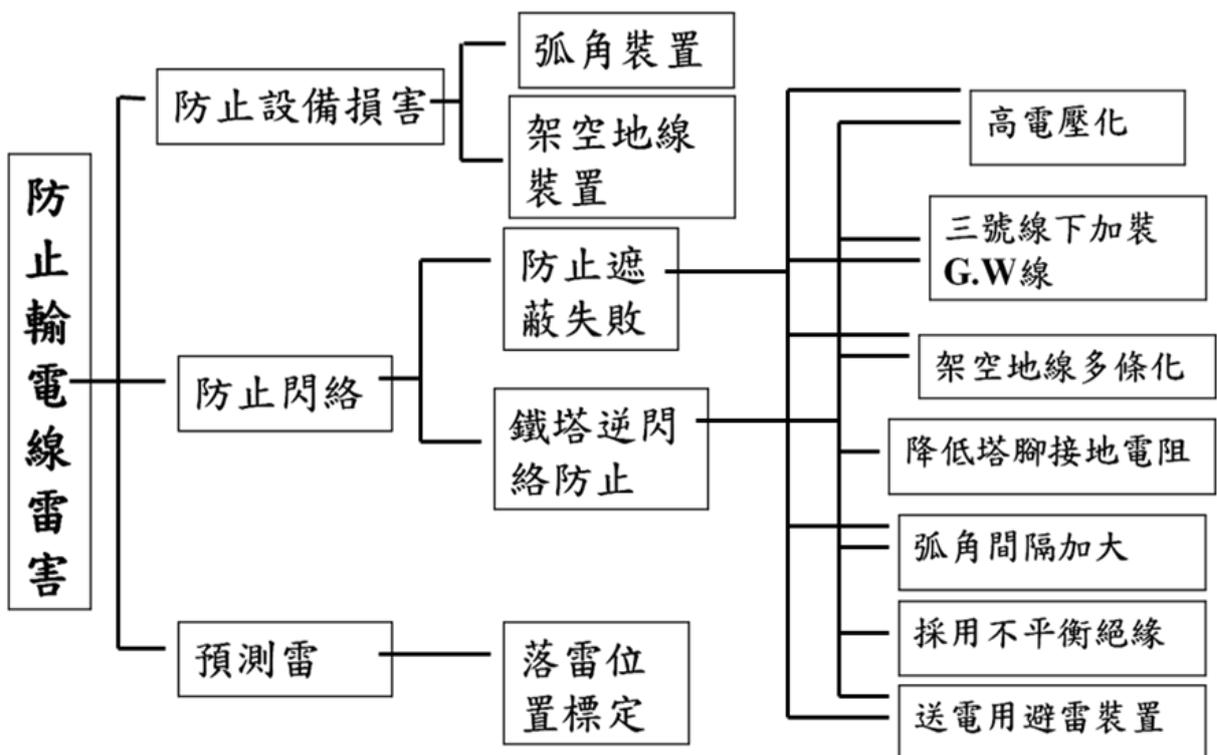


圖 3-6、台灣防雷措施實施對策圖

四、日本輸電系統管理績效指標

有關日方的輸電系統管理績效指標，約略可依據前述內容略示如下：

- 降低線路停電次數及時間
- 線下提高改善工法的開發
- 加強防範民眾事故
- 節省維護費用支出
- 增加勞動人力成本效應

五、建議事項

針對此次實習，個人有以下幾個小小的建議。首先在進入其各個電力公司網站時，均可由內查知有關電力公司之各項宣導統計資料，其中更有落雷偵測系統可以開放供各界民眾了解目前落雷程度等。所以針對送電線防雷技術上今後仍然有以下之努力方向：

- 持續收集各方線路避雷技術資料
- 利用國內外會議期間了解新技術
- 開放落雷資訊查詢系統供民眾使用

另外，此次實習過程中配合電力公司之鐵塔建設工事，赴施工現場參訪可見，日本方面應用直昇機於鐵塔工事上已有不錯的使用經驗，配合前述結合直昇機之整合維護管理作法，讓我們可以針對直昇機應用課題進行較為深入之了解，亦可比較在雙方民情環境基礎上如何可使民眾接受輸電系統的正确觀念可以深植。



圖 3-7、應用直昇機於鐵塔工事示意圖-1



圖 3-8、應用直昇機於鐵塔工事示意圖-2

最後，在參訪電力公司之鐵塔建設工事施工現場時，除人員及工作環境、施工處所的管理成效令人感佩外，對於工作內容的事先計畫安排及工作安全的要求上亦有值得我們學習的地方，譬如，在人員上下鐵塔及塔上工作的安全考量上，我們都要求不論上下塔過程或水平位移時均要將安全帶及補助繩交替使用。但實際上如果能從本質上即施設一裝置，另所有上塔人員只要一登塔即要求務必有一處安全裝置護身，是否相對上這樣的方法較有主動防範墜落及改善工作安全之美意。

日本方面目前使用的防墜裝置名為「Key-Lock」，結合安全帶上的該裝置，只要上塔人員將安全器上之Key插入裝置中，則不論在塔上何處，均可百分之百保證會有安全帶或補助繩繫於工作人員身上，或許可以當成未來我方工作安全措施實用上考量的方向。



圖 3-9、防墜裝置「Key-Lock」使用示意圖-1



圖 3-10、防墜裝置「Key-Lock」使用示意圖-2

肆、參考文獻

- 一、「送電線耐雷設計ガイド」電力中央研究所，T72，平成 15 年 2 月
- 二、三木 他「送電線雷事故 27 力年統計」電力中央研究所受委託報告書，H07522，平成 20 年 8 月
- 三、電氣共同研究「自然災害に対する架空送電技術」，第 65 卷 3 号，平成 21 年 12 月
- 四、電氣共同研究「絶縁設計の合理化」，第 44 卷 3 号，昭和 63 年 12 月
- 五、電氣學會技術報告「送電用避雷装置の開発状況と適用効果」(II 部)，第 367 号，1991 年 4 月
- 六、日本関西電力公司簡介及年報資料
- 七、日本九州電力公司簡介及年報資料
- 八、日本カタン株式会社技術資料及公司簡介
- 九、日本カタン株式会社線路避雷器規範資料
- 十、電氣評論，「雷害 対策の最近の動向」，第 51 号，2010 年 7 月
- 十一、林車遠，「台電台中供電區輸電線路系統經營績效之研究」，碩士論文，亞洲大學經營管理學系，2004 年

伍、誌謝

「讀萬卷書不如行萬里路」，個人想用這句話先表達對於此次日本出國實習參訪的深刻領悟，或許個人沒有讀萬卷書的宏大氣魄，但是走出國內至外國所親身感受、親眼目睹及親耳聆聽之震撼，確實是一種全然不同的體驗。

首先在此要感謝許專業總工程師萬寶、供電處李群處長、謝鋒勳副處長及供電處的林俊宏組長與各位長官給予個人這個機會，更要感謝長期以來一直不吝給職最大的發展空間及最佳工作支持與包容的高屏供電區營運處李河樟處長。此外本處陳忠和副處長、王春木副處長和各位長官提供的寶貴意見和指正與高屏團隊的技術諮詢與技術報告，更是讓本報告得以增色不少。期間得知台中供電區營運處林車遠處長曾針對「台電台中供電區輸電線路系統經營績效之研究」發表研究專文，均讓職有緣得見對於輸電線路系統大家所投入之用心程度，在此致上個人最誠摯的謝意。

此外，本次行程得以順利成行及圓滿達成實習目的，除了感謝受參訪單位關西電力公司、九州電力公司及九州建設公司與日本カタン株式会社期間對於所有技術資料的熱烈提供外，還要感謝國內台灣鐵塔股份有限公司陳兆彬先生、張勝雄先生、賴榮達先生與安鋼金屬股份有限公司趙宗柱先生的引薦與協助。

個人深覺可以出國實習是職場生涯中莫大的榮耀，也期望本報告的內容可以為將來的輸電系統提供更好的規劃方向，在此衷心感謝各位長官、好同事與朋友的真情相挺，謝謝！