

出國報告（出國類別：實習）

氣體絕緣並聯電抗器設備之實際 案例探討研習

服務機關：台灣電力公司輸變電工程處

姓名職稱：李明哲 電機工程師

派赴國家：日本

出國期間：114年6月08日至114年6月13日

報告日期：114年7月18日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：氣體絕緣並聯電抗器設備之實際案例探討研習

頁數 21 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台電公司/人力資源處/蔡晏筑/02-2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

李明哲/台電公司/輸變電工程處/7 等電機工程師/02-2322-9783

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：114 年 6 月 8 日 至 114 年 6 月 13 日

派赴國家/地區：日本

報告日期：114 年 7 月 18 日

關鍵詞：並聯電抗器（Shunt Reactor）

氣體絕緣並聯電抗器（Gas-Insulated Shunt Reactor, GIR）

六氟化硫(Sulfur hexafluoride, SF6)

內容摘要：

在現代電力系統中，並聯電抗器（Shunt Reactor）是維持電壓穩定與提升電力品質的重要設備，其主要功能為吸收電容性無效功率，抑制輸電線路在輕載或空載時產生的電壓升高現象，特別適用於長距離輸電系統與高壓變電站末端。透過並聯電抗器的配置與操作，可有效降低系統電壓波動、減少過電壓發生機率，進而延長設備壽命並提升供電可靠度。

因近年來都市發展快速，地下及多目標變電所日益增多，傳統油浸式變壓器類設備(含變壓器及電抗器)逐漸面臨消防與安全上的挑戰，目前本公司具有氣體絕緣電力變壓器(Gas-Insulated Power Transformer，下稱 GIT)之實際使用案例，惟氣體絕緣並聯電抗器(Gas-Insulated Shunt Reactor，下稱 GIR)尚未採用，故本次出國研習國外廠家除了解並聯電抗器的設計與生產，並對電力設備內部氣體絕緣方式之特性進行探討與分析，及與日本電力公司交流地下變電所運用氣體絕緣變壓器類設備之實際案例運轉情形。本實習報告共分四個章節，第壹、貳章為出國目的及出國行程，說明赴東芝 Toshiba 工廠研習及東京電力公司轄下變電所參訪過程；第參章實習心得，說明行前準備、電抗器內部構造、氣體絕緣設備特點及參訪全採氣體絕緣變壓器類設備與水冷卻系統之地下變電所；第肆章為實習心得與建議。

目錄

壹、實習目的	1
貳、實習行程	2
參、實習心得	3
一、行前準備	3
二、東芝(Toshiba)濱川崎工廠	4
三、日本東京電力公司變電所	14
肆、心得與建議	20
伍、參考資料	21

壹、實習目的

鑒於本公司於都會區興建變電所時，常因民眾對爆炸、起火、電磁危害及噪音等疑慮而引發抗爭，凸顯了變電所安全的重要性。目前，地下或多目標屋內型變電所基本上採用氣體絕緣變壓器作為設計原則。若經評估需採用油浸型變壓器設備時，則須納入「油槽避壓空間規劃」或「大容量快速釋壓裝置」等防爆設施。然而現行各電壓等級之並聯電抗器仍以油浸式為主。若未來變電所能全面採用無油化設備，將有助於提升安全性並降低民眾抗爭的可能性。

本次赴日參訪研習，旨在深入了解 GIR 的發展現況與實際應用案例，東芝公司（TOSHIBA）為日本電力設備製造領導廠商，在此設備技術方面具有成熟經驗與完整產品體系，經由參訪其工廠，不僅可了解生產流程，亦可就設備規範與技術進行意見交流。另透過參訪變電所，獲得東京電力公司實際之運轉及維護經驗，有助於強化本公司對 GIR 的認識，了解國外實務應用中所面臨的問題，以作為本公司未來規劃之參考。

貳、實習行程

本次實習行程及內容簡述

一、114 年 6 月 08 日：往程(台北→羽田機場→東京)

二、114 年 6 月 09 日至 11 日：

赴東芝公司(TOSHIBA)在神奈川川崎市之工廠針對 GIT/GIR 就設計、技術、生產、試驗及應用等方面做技術交流。



圖 2-1 TOSHIBA 濱川崎工廠參訪

三、114 年 6 月 12 日：

與東京電力公司(TEPCO)、大同公司、日本多田電機(TADA)及 CESIO 等公司技術人員共同參訪東京都東內幸町及內幸町地下變電所及技術交流。



圖 2-2 變電所參訪

四、114 年 6 月 13 日：返程(東京→羽田機場→台北)

參、實習心得

一、行前準備

深入了解本公司歷年來對於變電所設備無油化推動情形以及調查國內外廠家技術能力，做行前探討與準備：

- (一)、民國 84 年 12 月召開「地下及多目標變電所電力設備型式以及變電所設計相關問題」研討會，訂定未來地下及多目標變電所電力設備採用型式如下：
 - 主變壓器採用氣體絕緣型式
 - 高壓側(69kV 以上)開關設備採用氣體絕緣開關設備(以下簡稱 GIS)
 - 中壓開關設備(11/23kV)採用 GIS
 - 電容器組採用 Gas S.C
- (二)、民國 85 年 5 月召開「變壓器之設計技術及開發進度研討會」之會議紀錄，針對 GIT 的開發與研討，國內各變壓器廠家均與國外技合廠有研製 GIT 之合約，產製無虞。
- (三)、民國 99 年 12 月召開「萬隆 P/S 變壓器及電抗器設計改採氣體絕緣型式之可行性」研討會，檢討有關 161/69kV 120MVA、60MVA 變壓器及 161kV 80MVAR 電抗器等規格均採用氣體絕緣型式設計，會中經與各廠家討論與決議如下：
 - 以國內各製造廠家之技術尚無提供前述各項產品能力，國外廠家僅日本東芝公司有開發之技術能力。
- (四)、民國 100 年 2 月召開「地下及多目標變電所新建工程之變壓器與電抗器設計採用型式」之研討會，會中討論與決議如下：
 - 配電級變壓器(161/23kV 60MVA 及 161/23kV-11kV 30+30MVA)採用 SF₆ 氣體絕緣方式設計，輸電級變壓器(161/69/11kV 60MVA、120MVA)與 161kV 80MVAR 並聯電抗器可採用浸油型式設計，惟

須加強監測能力以降低故障發生之風險。

(五)、民國 103 年 1 月召開「多目標變電所安全事宜」之研討會，在器材採購可行下，變壓器優先採用氣體絕緣型式為原則。若變壓器採油浸式，須將真空型 OLTC、部分放電監測設備、本體防爆裝置(儲油槽避壓空間及大容量快速釋壓裝置)及增設釋壓裝置(96D)納入裝設範圍。

(六)、民國 113 年 4 月 23 日召開「113 年電力變壓器技術研討會」，邀請國內各廠家共同研討，就新式 GIT(161kV/11.95-23.9kV 60/30+30MVA 雙繞組及 161/11.95-23.9kV 30/30MVA 單繞組)而言僅一間廠家有意願，然而除有技術轉移、開發風險、成本估算、交貨期程、設備穩定性等問題外，亦憂心國際 2050 年淨零排放及歐盟 2026 年起逐步禁用 SF₆ 政策對本公司未來 GIT 採購影響，故廠家建議應以油浸式變壓器(以下簡稱 OIT)為主替代新式 GIT 需求。

綜上，自民國 84 年起，本公司逐步推動地下及多目標變電所設備朝氣體絕緣方向發展，包含 GIT 主變壓器、GIS 開關等設備。早期國內已有 GIT 研製能力，但隨著規模放大(如 120MVA GIT 與 80MVAR 氣體絕緣並聯電抗器)，國內重電廠技術不足，需仰賴日廠技術合作關係。民國 100 年後轉為部分變壓器類設備允許採油浸絕緣型式並加強監測。至 113 年，面對 SF₆ 國際趨勢與禁用風險，經調查國內廠家多傾向維持 OIT，GIT 採購方向面臨轉變與挑戰。

二、東芝(Toshiba)濱川崎工廠

東芝公司重電/配電變壓器製造工廠旗下一共有 5 間工廠(日本濱川崎、北芝、三重、中國 CST 及印度 TTDI)，2 間技合公司(台灣 TATUNG 及巴西 TSEA)，此次參訪東芝能源系統解決方案株式會社(Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation, Toshiba ESS)轄下電網解決方案部門(Grid Solution

Division)，其工廠之一位於神奈川縣川崎市濱川崎。自東京出發先後搭乘淺草線、京急大師線地鐵，車程共約 60 分鐘至大師橋站，再轉乘計程車約 5 分鐘不到即來到本次實習計畫參訪之工廠。

(一)、研習機構簡介

1. 該工廠自成立以來歷經多次組織變革與技術轉移，主要里程碑如下：

- 1962 年：斷路器與避雷器專門工廠設立。
- 1971 年：從鶴見工廠移管變壓器部門。
- 1999 年起：歷經多次公司重組，逐步演變為東芝電力系統相關事業部門。
- 2017 年：正式成為東芝能源系統解決方案株式會社濱川崎工廠。

2. 主要產品涵蓋變壓器、開關設備及避雷器設備等，設備與技術亮點如下：

- GIS/GCB 製造能力：具備從開發設計、主要零件製造、設備組裝到試驗等一應俱全的製造能力，靈活提供客戶客製化需求，並導入嚴格的品質管理系統。
- 550kV 級 GIS 一體輸送技術：世界首創可整體運輸的高壓 GIS，與傳統型號相比體積減少約 20%、重量減輕約 10%，可大幅縮短現場安裝工期與設備停機時間。
- 變壓器技術：提供油浸式與氣體絕緣電力變壓器、並聯電抗器...等設備，亦有真空有載切換器（VI-LTC），可延長設備壽命並提升安全性。
- 避雷器技術：開發出世界最高耐壓（600V/mm）的氧化鋅(ZnO)元素，並成功應用於 GIS 避雷器，產品精度高且應用廣泛。

(二)、研發 SF₆ 氣體絕緣變壓器/並聯電抗器歷程

日本東芝於 1967 年完成第一具 66kV 3,000kVA SF₆ GIT 設置於日本第一生命地下變電所。1989 年開發完成 154kV-200MVA SF₆ GIT 設置於

日本東京電力旭變電所。1990 年開發完成 275kV-300MVA SF₆ GIT 設置於日本東京電力新坂戶變電所。1994 年開發完成 275kV-300MVA 製品化全 SF₆ GIT 設置於日本東京電力東新宿地下變電所。同年亦開發完成製品化全 275kV 150MVA SF₆ 氣體絕緣電抗器(以下簡稱 GIR)設置於日本東京電力葛南地下變電所。此產品已經成熟，也成為日本東京電力地下變電所取代油式機器的主流。

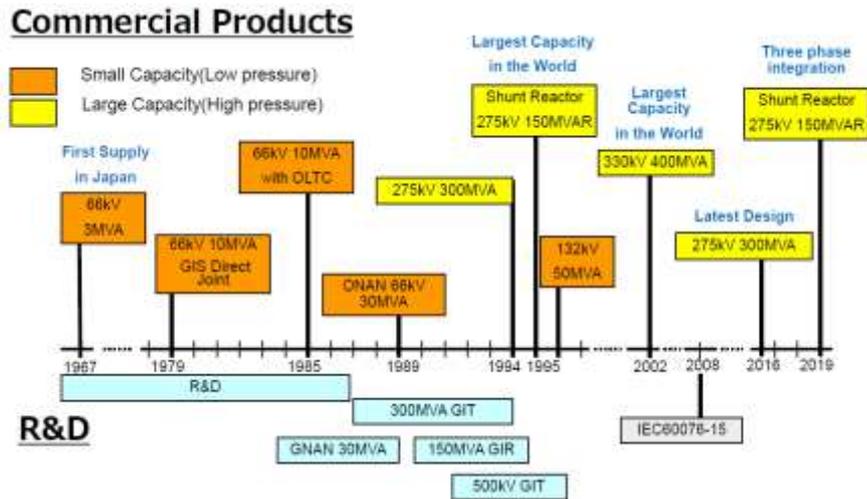


圖 3-1 Toshiba SF₆ GIT/GIR 研發歷程

(三)、並聯電抗器功能與用途

由於都市電網地下化比例增加，大量 345kV 及 161kV 電纜併入系統，導致電容性無效功率累積過多、系統電壓易升高，將影響系統運轉與設備操作之安全，故需裝設並聯電抗器吸收無效功率以控制系統電壓升高情形以維持穩定運轉，尤其於低負載或長距離輸電系統中更顯重要，其應用有助於減少過電壓、降低系統電壓波動，提高電力品質與設備壽命。



圖 3-2 並聯電抗器內部構造剖析

(四)、並聯電抗器的內部構造

電抗器的構造是以線圈為主體，採用低損失、高強度的轉位電纜線，依主磁通通路的主腳鐵心的有或無，分為鐵心型(Core type Reactor)與空心型(Air core type Reactor)，鐵心型電抗器在鐵心腳沒有氣隙者為閉磁路鐵心型電抗器；在鐵心腳有氣隙者稱為氣隙鐵心型電抗器(Gapped core type Reactor)。

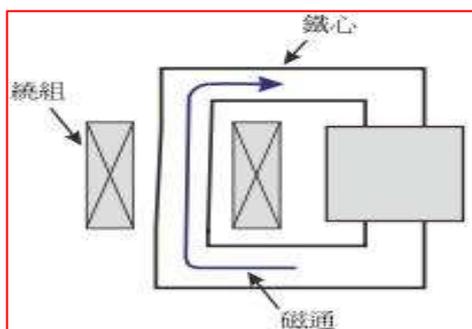


圖 3-3 閉磁路鐵心型

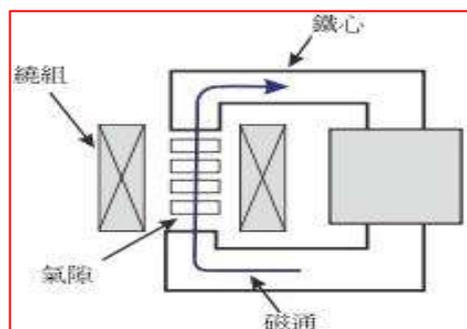


圖 3-4 氣隙鐵心型

由於閉磁路鐵心型電抗器之鐵心磁飽和特性，電抗器所通電流超出磁滯曲線中特定值以上時，鐵心就失去作用形同空心型電抗器，電抗值大量降低。因此，在閉磁路鐵心型的閉路鐵心中間設置適當空隙，即為氣隙鐵心型電抗器。其特性居於空心型與閉磁路鐵心型之間，兼具兩者的特點。

其中鐵心塊製造方法又分為段積式鐵心方式及輻射(放射)型鐵心方式。段積式鐵心式是將矽鋼片沿著相同方向(通常是水平方向)一層一層堆疊，形成一個矩形或六角形的截面結構。這種方式製作簡單，磁通通道整齊，但邊緣區域的鐵心利用率較低。而輻射型鐵心式是將矽鋼片像光線一樣由圓心向外排列，這樣的設計可提高圓形斷面內的鐵心面積利用率，此高佔積率輻射狀鐵心，可大幅降低鐵心的渦流損、溫度及噪音，尤其適合圓形外殼的設備如圓筒型電抗器。

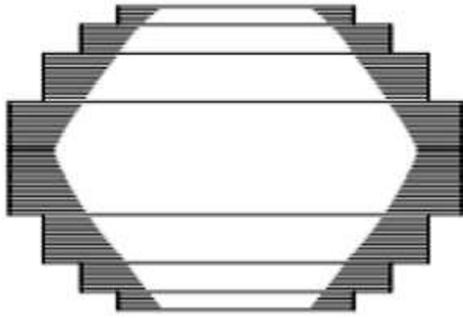


圖 3-5 段積鐵心堆疊型式

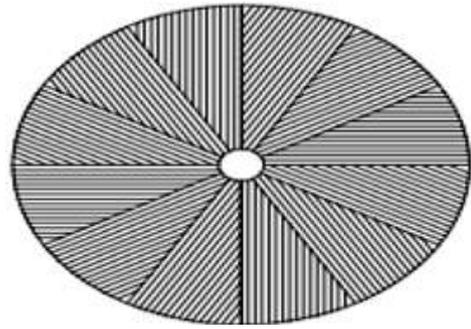


圖 3-6 輻射鐵心堆疊型式

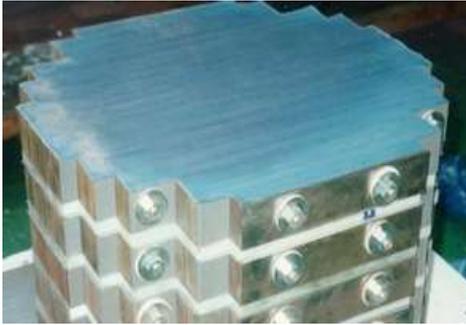


圖 3-7 段積鐵心斷面圖



圖 3-8 輻射鐵心斷面圖

在進行堆疊時鐵心塊中間會放置許多白色圓形的陶瓷墊片，即所謂間隔片，其作用如下：

- 固定與穩定結構：在矽鋼片之間加入間隔片，有助於整個鐵心結構在堆疊後保持穩定不變形。
- 避免熱膨脹與振動問題：間隔片材質（如陶瓷）不易因溫度變化而膨脹，防止因長時間運轉後的熱變形導致鐵心結構鬆動，產生噪音或異常振動。
- 減少磁導路干擾：適當設計の間隔可減少渦流路徑，也可避免磁路飽和不均。



圖 3-9 陶瓷間隔片

最後位於鐵心柱的上下兩端，主要作用為封閉磁路並提供機械支撐的是上下軛鐵。軛鐵的設計會影響電抗器的磁通分布、機械結構穩定性與安裝方式，依照其設計排列方式分為直線型與圓型二種。

- 直線型軛鐵為傳統段積式結構，鐵心軛部以直線排列方式連接各鐵心柱，

整體呈方形或矩形。其優點為結構簡單、製造方便，磁通路徑清晰，易於散熱與維護，常用於戶外型或油浸式並聯電抗器。然而，此型式在磁通轉折處容易出現磁場集中現象，造成局部飽和或發熱現象，此設計體積較大不利於空間有限的設備安裝。

- 圓形軛鐵為輻射狀結構，鐵心與軛部皆以弧形或圓形方式封閉磁路，使磁通分布均勻，有效減少磁飽和與渦電流損失。此型式結構緊湊、機械強度高，特別適合氣體絕緣型式並聯電抗器等空間受限之設備。雖製造較複雜、成本略高，惟可有效降低鐵心振動及噪音，並可達縮小化目的。

(五)、SF₆ GIR 特點：

設計研發上，鐵心採用大容量並聯電抗器特有的氣隙鐵心型式，由於電抗器內部結構較長，因此採用垂直圓柱形箱體。電抗器本體為三相分離型，基本上內部引線配置溝槽及冷卻

器氣流設計上與變壓器相同，惟繞組與鐵心內設有氣道，該氣道設計數量的多寡則視計算與模擬情形，及實際內部需帶走的熱量綜合評估後而定，而 SF₆ 氣體則係由鼓風機送入箱體底部壓入氣道後，在繞組和鐵心內部流動而帶走產生的熱量，如圖 3-12。



圖 3-10 直線型軛鐵實例圖



圖 3-11 圓形上下軛鐵實例圖

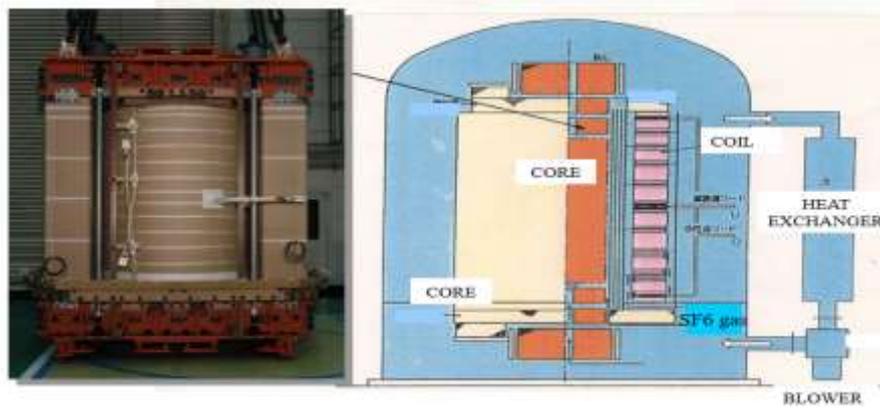


圖 3-12 氣體絕緣並聯電抗器內部構造剖析

SF₆ 氣體絕緣並聯電抗器與傳統油浸式在設備產製上無特別不同之處，因其內部絕緣介質不同，在內部設備氣道/油道散熱設計及結構封裝上有明顯差異，而採用 SF₆ 氣體絕緣設備之特點如下：

1. 箱體不會爆裂：油式變壓器於內部發生短路事故時，箱體內絕緣油因短路能量使絕緣油由液相變為氣相，箱體內壓力急速上升，上升曲線如下圖綠色曲線。依系統短路電流的大小，箱體內部壓力有可能於系統保護遮斷時間內達到箱體最大耐受壓力而爆裂。SF₆ 氣體絕緣電抗器或 SF₆ 氣體絕緣變壓器於內部發生短路事故時，箱體內 SF₆ 氣體受短路能量，由於氣體受熱仍然為氣體，故箱體內部壓力變化非常小，上升曲線如下圖藍色曲線，所以箱體不會爆裂。

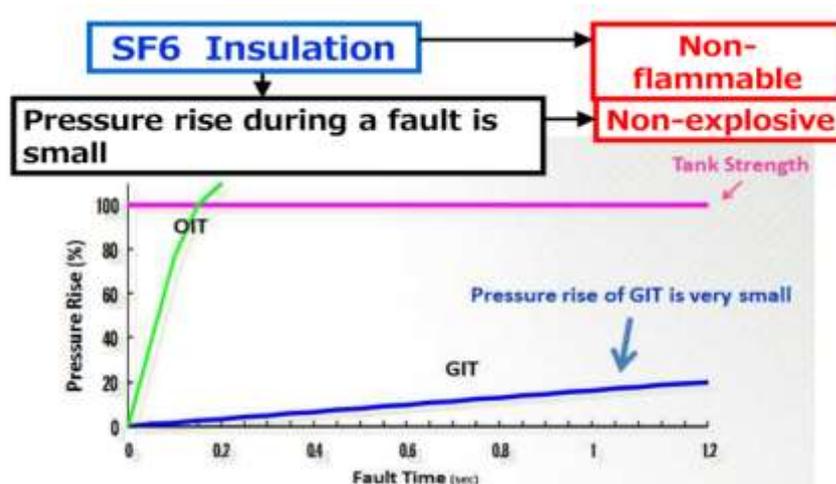


圖 3-13 事故時箱體壓力示意圖

2. 不易燃燒：SF₆ 氣體為不燃性氣體，若電力設備發生故障時不會引起火災。在 CIGRE(國際大電力系統會議)手冊 NO.537 資料中說明採用 SF₆ 氣體當絕緣型式之變壓器，是不會爆裂且唯一火災幾乎為零之電力設備。

3. 無絕緣油汙染：SF₆ 氣體於常溫常壓下之化學的安定度高，無毒、無臭、無色、不燃性的氣體，具有良好的電氣絕緣性能和消弧性能，表現比其他氣體優異許多。雖然 SF₆ 氣體在一般狀態之下無色無味，對人體無害。實際上卻屬溫室氣體之一，不能隨意排放至大氣中，會加劇溫室效應。

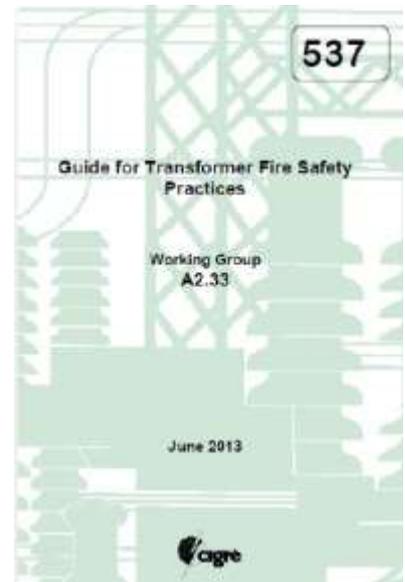


圖 3-14 CIGRE NO.537

4. 變電所設備空間配置靈活且簡潔：

SF₆ 之氣體密度為油的六十分之一、黏度低且壓力損失小，而 GIR 與 GIS 室之間無需隔間，使變電所於設計時設備空間配置靈活，且不須儲油槽及釋壓電驛(管路)等，可降低變電設備室中的天花板高度。

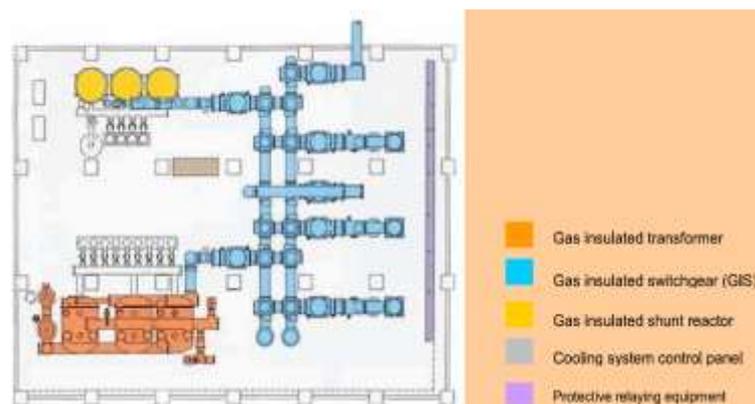


圖 3-15 全氣體絕緣電力設備配置圖

(六)、氣體絕緣變壓器/並聯電抗器生產製造與管理：

經過了一系列對東芝集團的認識、濱川崎工廠組織變革與技術轉移、並聯電抗器的內部構造設計認識、SF₆ 氣體絕緣型式之特點探討與分析等

認識後，接下來進入到生產製造及試驗的工廠內部，該工廠主要設備有開關設備、變壓器及避雷器等，這三種設備均各自獨立一個廠區，且每一個廠區皆有專責技術人員協助解說。進入後設備產製方向都固定，從生產、製造、組裝、試驗到最後的出貨，因工廠就設在鄰近港口處，成品若噸數太大可藉由港口運輸至交貨地點鄰近處上岸。在廠區參訪階段時，因東芝公司極度重視客戶及內部資料隱私，工廠內不開放拍照，惟每個廠區都有各自的展示場及內部構件的操作模型，讓來賓能清楚了解各個設備及零組件構造，這樣的安排可兼顧對公司內部及客戶的保障及滿足對外賓客參訪的需求，經交流溝通，了解到氣體絕緣設備再產製時特別需要注意的事項如下：

1.異物管理與影響：

SF₆ 氣體的絕緣能力視氣體的壓力(密度)而定，氣體壓力越高，絕緣強度越高。然而在 SF₆ 氣體空間中，如果存在不均勻的電場，絕緣強度會比均勻電場大幅下降，由於 SF₆ 氣體的電場不均勻性較大，因此設計時會特別注意使其呈現均勻或接近均勻的絕緣結構。另外絕緣性能容易受到不均勻電場的金屬異物影響，因此在製造時就須進行異物管理並採取適當的管理措施。通常粉塵設定值須保持在不超過 20CPM(Count Per Minute：1CPM=0.01mg/m³)之標準。

像是氣體絕緣變壓器內部可能包含一些可動元件，例如有載切換開關驅動裝置、變壓器分接頭開關等，採用滾輪型接觸裝置以消除機械結構間的摩擦以抑制異物的產生，並塗抹高性能潤滑油和安裝防護裝置防止異物的飛散。藉由工廠試驗中各項流程，對設備內部件進行絕緣測試以確保絕緣性能的完整性，如有金屬異物將能於試驗中檢查發現，以保證在設備出廠時，內部繞組等部件不會含有金屬異物。

運輸交貨時，如為整體運輸，經工廠完成的產品將可保持其品質並進行運輸，如果因運輸尺寸限制無法整體運輸，則需進行拆解包裝，

且本體中須封入乾燥空氣並採取適當的防潮防塵措施。於現場安裝階段，基本上與油浸式設備作業類似，主要進行外部配件安裝、導線連接、冷卻裝置等工作，作業時須持續灌注乾燥空氣，保持設備內不處於正壓狀態，防止外部異物進入。

2.水分管理：

氣體絕緣電力設備中，氣體中的水分含量是一個重要因素，會顯著影響變壓器類設備的性能和使用壽命。內部構造中不管是繞組支撐、鐵心絕緣、引線支撐等結構材料中，都大量使用壓紙板、芬綸板等纖維性絕緣物作為共同絕緣材料。而設備的絕緣結構無論是油浸式或是氣體絕緣式都是使用不同導電率組合而成的複合絕緣。尤其絕緣體吸

濕後，電氣特性會大幅下降影響設備的功能，甚至損害其正常運作，為了將氣體絕緣變壓器類設備的介電和絕緣特性控制在一定水平，亦需要像油浸式變壓器一樣對纖維絕緣體的含水量進行管理，以保持一定的導電及絕緣特性在油浸

式設備中。而壓紙板是油浸式和氣體絕緣電力設備通用之材料，當絕緣物中的水分量超過 2wt%後短時間絕緣耐壓會急遽下降，故此數值同為油浸式及氣體絕緣型式設備非常重要的水分管理標準值。

(七)、無 SF₆ 氣體絕緣電氣設備

另外，東芝公司正研發 SF₆-Free GIT/GIR，其優點包括對環境負荷低，當使用 CO₂氣體時，其全球暖化潛勢（GWP）僅為 SF₆的

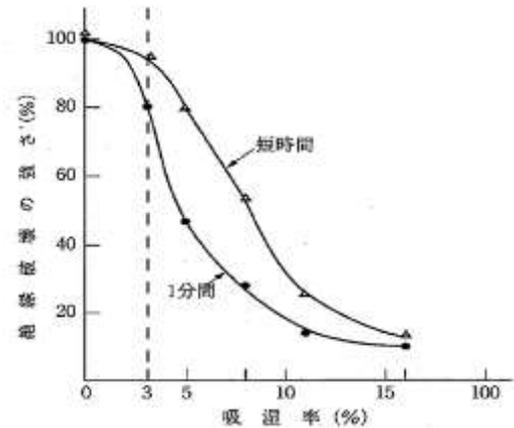


圖 3-16 乾紙吸濕率與絕緣耐壓

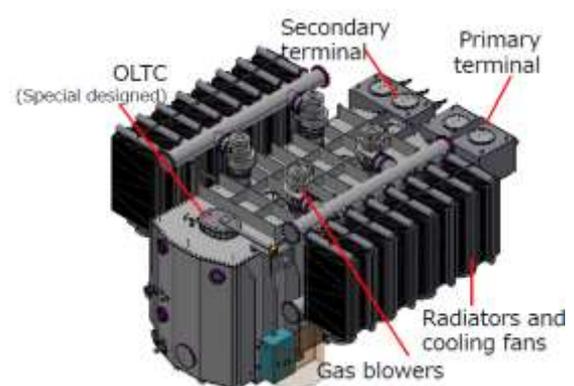


圖 3-17 無 SF₆ 氣體絕緣電氣設備

1/24,000，而使用 N₂氣體時則可達到零排放。此外，安裝與維護相對簡單，無需特殊氣體處理，操作也較容易。然而其缺點則包括所使用的氣體絕緣與冷卻性能較低，因此設備體積需放大，同時也導致設備重量增加，並需配置大型冷卻系統。

三、日本東京電力公司變電所

(一)、東京電力公司(TEPCO)簡介

東京電力控股株式會社 (Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.，簡稱 TEPCO 或東電) 創立於 1951 年 5 月 1 日，總部位於東京都千代田區內幸町，是日本規模最大的電力公司之一。東電的供電範圍涵蓋關東地區的 1 都 7 縣 (東京都、神奈川、千葉、埼玉、茨城、栃木、群馬、山梨) 以及靜岡縣東部，目前有約 1,600 座變電所，分布於各地，支撐整體電力供應網路，確保電力穩定、安全地送達用戶。以下針對日本電力系統架構、變電所種類，以及本次參訪了 275KV 東內幸町及 66KV 內幸町兩間變電所介紹。

(二)、日本電力系統架構

日本的電力事業自 1951 年起採「區域電力公司制」，分為 10 家主要地區性電力公司，各自負責特定區域的電力供應與配電業務。例如，北海道由北海道電力負責，關東地區 (如東京、神奈川等) 由東京電力供應，關西地區 (如大阪、京都等) 則由關西電力掌管。其他如東北電力、中部電力、九州電力... 等如圖 3-18，分別



圖 3-18 日本各電力公司供給區域

(參考資料：nippon.com)

服務其所屬地區。自 2016 年日本實施電力自由化後，雖然出現了許多新電力業者，但原本的 10 大電力公司仍擁有主要的輸配電基礎設施與區域影響力。其中，東日本地區使用 50Hz 電力頻率，西日本則為 60Hz，兩者之間由頻率轉換站連接。此外，這些公司依地區特性發展不同的發電方式，例如北海道與北陸重視水力，九州與沖繩則積極發展再生能源。

日本的發電方式多元，包括水力、火力、核能及再生能源（如太陽能與風力），各電廠的額定輸出電壓通常為 275kV 至 500kV，屬於超高壓等級，適合長距離輸送。發電後的電力透過超高壓輸電線路（如 500kV、頻率 50Hz 或 60Hz）輸送，這些線路通常架設在高塔上，跨越城市與鄉村，確保電力穩定供應。

當電力接近用戶端時，會進入變電所進行電壓調整。透過變壓器進行階段性降壓，使電壓逐步降低至適合配電的等級。配電等級則透過三種線路完成：高壓線路（約 66kV，輸送距離約 20 公里）、中壓線路（約 22kV，輸送距離約 10 公里）與低壓配電線路（最終送達家庭或商業用戶，電壓約為 100V~200V）。這些配電線路多為地下或架空設施，並設有保護裝置與監控系統，確保電力安全、有效地送達每一位用戶。而變電所在電力系統中扮演關鍵角色，是高壓電力轉換為可用電力的核心節點。

（三）、變電所種類

基於設備安裝的位置，變電所大致分為屋外變電所及地下變電所 2 種。

- 屋外變電所是最常見的類型，其設備如變壓器、斷路器、避雷器等皆設置於地面上，便於維護與識別。因需要較大的空間來容納高壓設備與安全距離，這類型變電所通常位於郊區或山區。優點是施工與維護相對容易，但在都市密集地區不易設置。
- 地下變電所則是為了因應都市空間有限而設計，雖然施工複雜，但特別是在像東京這樣的商業密集或住宅密集地區，為了達到穩定供電並有效利用土地，東京電力公司 1600 座變電所中，設在辦公大

樓、學校、寺廟等下方之地下變電所約有 200 座之多。

(四)、東內幸町變電所

1. 變電所簡介

為了確保東京市中心的穩定電力供應，結合東京電力公司、東京電力不動產管理、東京第一飯店及附近區域的再開發，於 1997 年 2 月在東京都千代區的心齋橋大樓地下建設了東內幸町地下多目標變電所，此大樓地上 22 樓、地下至 B6 層。變電所建置於 B5 至 B1 層，電壓等級為 275kV/66kV/6kV，為東京第 13 座 275kV 地下多目標變電所，終期規劃為各三台 275/66kV(300MVA)主變壓器及 66/6.9kV(30MVA)配電變壓器。此變電所最大的特點為設備採用防爆氣體絕緣之技術，故可將變壓器、電抗器及開關等設備設計規劃共用搬運道並集中安裝於同一室內，使其整所僅佔地 5000m²，進而實現變電所小型化之目標，為東電第一所佔地小於 10,000m² 之 275KV 地下變電所。

2. 變電所配置及實景圖



圖 3-19 變電所用地平面圖

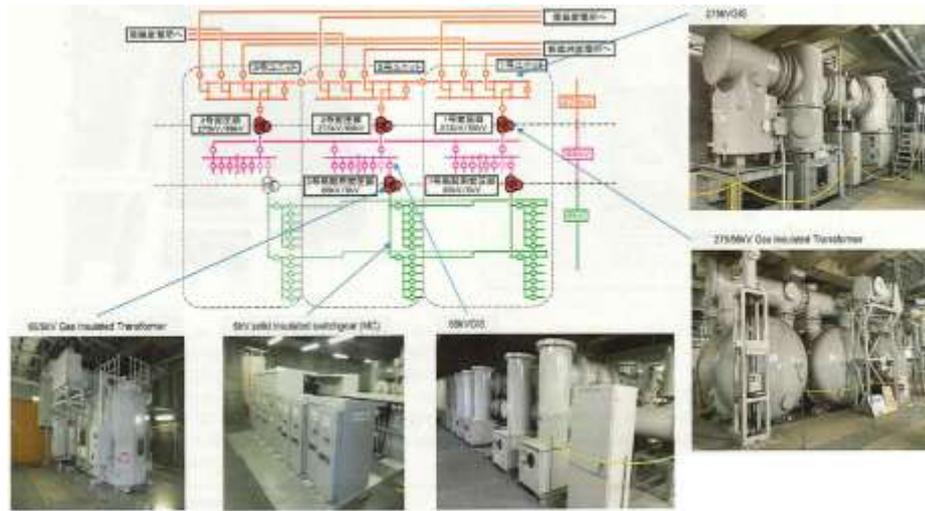


圖 3-20 變電所設備實景圖

(五)、內幸町變電所

1. 變電所簡介

內幸町變電所是一座中間型變電設施，於 1960 年 9 月加入系統，後續又於 2011 年因大廈重建，改建為地上 27 樓、地下 5 樓之變電所，其具備 22kV 與 6kV 配電功能，主要供應東京都千代田區與港區的電力需求。採用防災性能優異的氣體絕緣設備，配置了各三台 66/22kV（60MVA）與 66/6.6kV（20MVA）之電力變壓器，支援多電壓等級的配電需求。配電線路則包含 32 條 22kV 回線與 12 條 6kV 回線，能靈活應對都市區域多樣化的用電負載。整體設計展現出高度的空間利用與技術整合，是都市型變電所的典範。

2. 變電所配置及實景圖

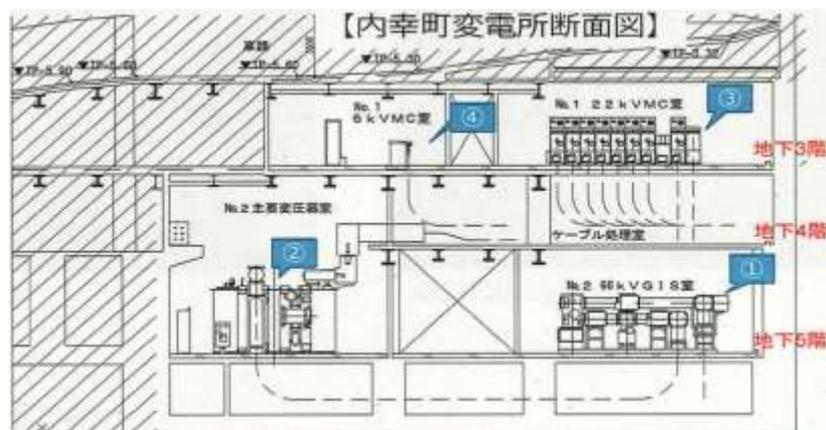


圖 3-21 內幸町變電所設備配置圖



圖 3-22 66kV GIS 室



圖 3-23 GIT 主變壓器



圖 3-24 冷卻水塔外形圖



圖 3-25 循環泵浦外形圖



圖 3-26 電纜整理室



圖 3-27 22kV 斷路器正面



圖 3-28 22kV 斷路器背面

肆、心得與建議

- 一、初次搭乘日本地鐵，親身體驗到行前所聽聞的繁忙與高效率，使我印象深刻與大開眼界。其系統以路網綿密著稱，無論是在大都市或郊區，都能透過轉乘抵達目的地，轉乘動線設計清楚、標示詳盡，即使是首次使用也能輕鬆理解。在通勤尖峰時段雖人潮眾多，但乘客大多依照規劃自律排隊、保持安靜，車廂內也始終維持整潔與秩序，充分展現出日本人在公共場所對禮儀與秩序的高度重視。日本地鐵不僅是一項交通工具，更是一個展現城市治理、工程設計與社會文化的縮影，讓人由衷敬佩其在細節中的用心與效率的極致體現。
- 二、經調查，目前國內僅有一間廠家有開發 GIR 意願，但由於首次開發，與相同規格之 OIR 在價格上相比會有 4 至 5 倍的價差。且因電抗器內部構造只有單純的鐵心、線圈與電源側引線，不像變壓器因有調壓需求，須透過許多 OLTC 引線連接線圈抽頭，結構相對於變壓器更簡單，發生引線短路故障而造成本體 TANK 破裂之可能性極低，以經濟成本考量並參考多年來 OIR 之使用經驗，採用 OIR 並搭配本體防爆裝置（儲油槽避壓空間及大容量快速釋壓裝置）即可防止本體破裂。而面對當前國際淨零排放趨勢，日本電力公司同樣面對挑戰，尤其日本文化及地理環境與台灣相近，變壓器類設備製造廠之技合母廠又以該國為主，本公司應更密切關注 SF₆ 替代氣體或替代絕緣油之設備開發情形以及可能面臨之課題。
- 三、本次參訪的兩間變電所內電力設備均採水冷卻散熱系統，由於受限國內廠家開發能力、技術及成本限制下，本公司大安超高壓變電所將為首座地下多目標變電所之變壓器類設備採用水冷式冷卻系統。考量未來變電所於都市地區興建需求增加，都會區大面積用地取得困難且 AI 科

技蓬勃發展用電需求大幅提升，實有多採水冷式系統以提升設備效率與提高空間使用彈性之需要，宜納入未來變電所規劃設計時之選項加以評估。

四、本次參訪內幸町變電所時，特別說明在器材吊運的垂直吊孔上方設有吊鉤等相關吊裝設備，因設置在建築物內之頂部，進而可以降低設備進出變電所時對周圍的影響，而本公司地下多目標變電所的吊孔設計無使用時蓋上為封閉式，有些則是有兼具通風功能，此設計可作為納入變電所規劃之可行性評估。

伍、參考資料

一、TOSHIBA 濱川崎工廠

二、日本電氣協同第 54 卷第 3 號

三、日本電氣協同第 54 卷第 5 號

四、TOSHIBA 275kV 300MVA GAS INSULATED TRANSFORMER

五、TOSHIBA Gas Insulated Transformers 2025

六、日新電機(無錫)油浸式並聯電抗器介紹