

## 目 錄

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 一、 前言.....               | 2  |
| 二、 出國行程內容簡介.....         | 3  |
| 三、 變電所「磁場強度」抑制理論及方法..... | 9  |
| 四、 日本變電所「磁場強度」抑制實例.....  | 14 |
| 五、 結論及感想.....            | 19 |
| 六、 建議.....               | 20 |



## 一、前言

近年來台灣人口質量俱增，於人口匯集地區用電量亦相對提高。本公司為配合都市用電需求及提高供電可靠度，需於接近負載地區設置變電所。由於變電所內設備運轉會有磁場產生，磁場大小對人體影響情形漸漸受到民眾關切，或成為抗爭理由。

目前各國知名研究機構之研究報告對於磁場是否對人體造成危害，尚無定論；且本公司變電所設計，在磁場強度上亦低於法規規定上限。惟為善盡社會責任，減少變電所附近民眾的疑慮，亦應儘可能蒐集各種可行方法，以降低磁場強度。

日本地區因地狹人稠，地理環境上與台灣相似；變電所之興建靠近負載區，只要有設備運轉即會有電磁場產生，對於其是否應用遮蔽材料於變電所設備，或設計上有較佳之規劃配置，均值得我們前往觀摩了解，以作為國內變電設計上之參考。

本次出國研習，除參訪日本中部電力公司(Chubu Electric Power Corporation)二所變電所；一為地下變電所，另一為氣體絕緣輸電線(Gas Insulated Transmission Line 簡稱 GIL)終端變電所。得以整體了解日本電力公司對於變電所規劃設備技術及理念。另外參訪日本全球先端科技公司(Japan AE power system Corporation)(由日立、富士及明富舍合併而成)位於日立市國分工場(Cokubu works)~~主要產品為氣絕緣開關設備(Gas Insulated Switchgear 簡稱 GIS)及變壓器(Transformer 簡稱 TR)之製造。經由實際參訪得以對其設備產品之製造流程、品質管理，乃至研發、銷售等有一整體之認識。

在此除了感謝公司長官提供寶貴機會與支持，相信本次之研習對於個人及公司均有相當大的助益。

## 二、出國行程內容簡介

期間: 93 年 10 月 18 日至 93 年 10 月 23 日

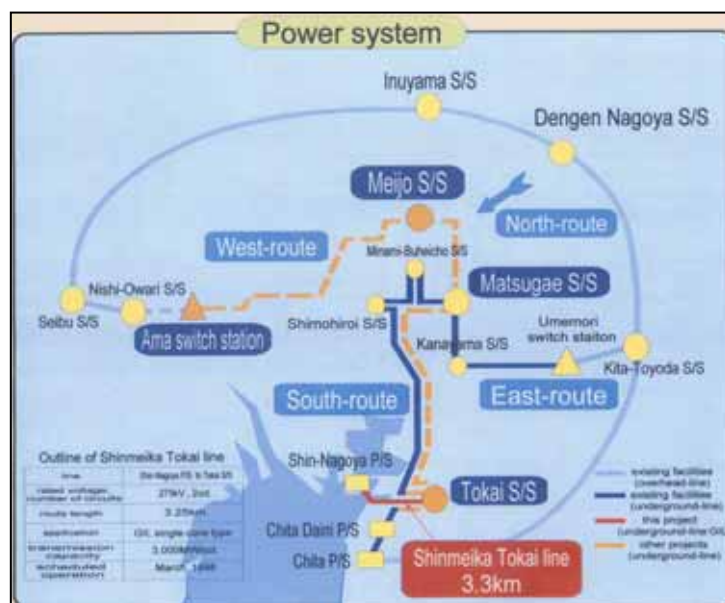
### (一)中部電力株式會社 (Chubu Electric Power Corporation)

#### 1. 東海變電所 (Tokai substation)

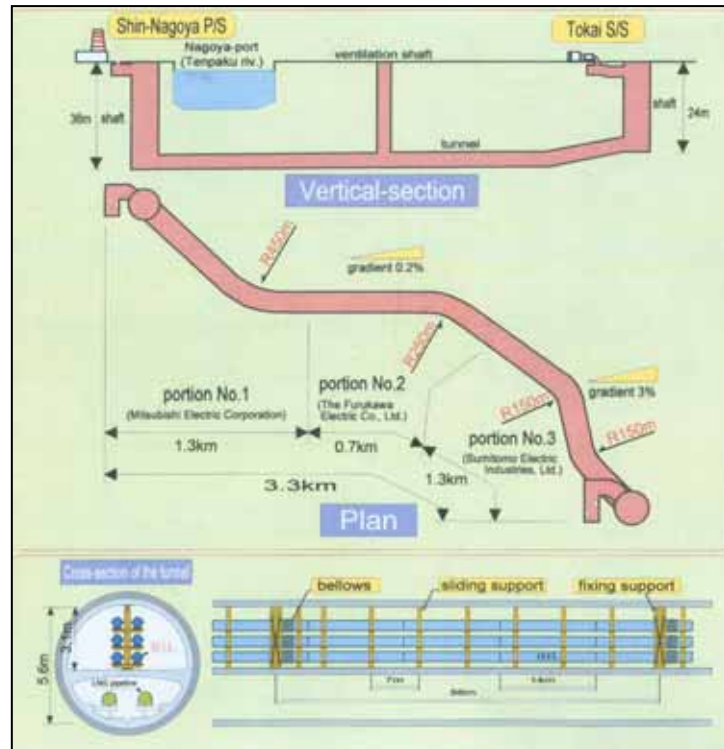
本 275kV/154kV 屋外型變電所-----原為一設立在東海市附近之開閉所(switching s/s);為因應名古屋市與日俱增用電需求量,在臨近港邊人造島上建造發電廠,將電輸送至東海變電所。輸電線路徑全長 3.3 公里,採用 GIL (Gas Insulated transmission line) 方式設計、施工。

GIL 地下傳輸線 (275kV) 計兩回線 (3.3KM/CKT), 每迴線傳輸容量為一般 XLPE 電纜之 3 倍。該傳輸線是目前為止世界最長之 GIL 地下傳輸線路。

另值得一提的是該傳輸線路為跨越海港,建造於深度為 24m~36m 深之隧道;其標榜於如此狹隘空間及塵埃場所,而材料運輸、設備連接、調整、焊接、灌氣及試驗等均於洞道內完成。其採用新技術工法----是一項大突破。



東海變電所鄰近電力系統圖



GIL 傳輸線洞道平斷面圖



GIL 傳輸線於地下隧道輸送情形

## 2. 名城地下變電所（Meijo substation）

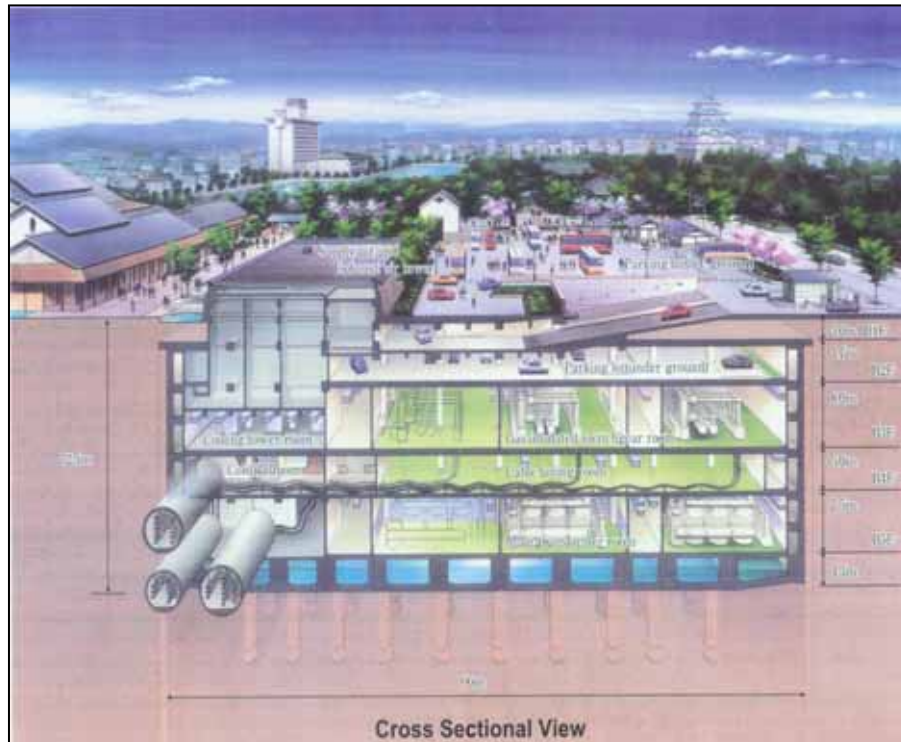
爲一興建於名古屋古蹟城堡正門旁公園之地下變電所（275KV/154KV）

此爲第一所建造於市區公園之無人化地下變電所。其主要特色爲外觀與附近環境景觀相調合；再者，開關設備採用 GIS（氣體絕緣開關）除了安全可靠也大大縮小了建物體積，而變壓器（450MVAx2）採用非燃性液體(nonflammable fluid)爲冷卻及絕緣系統，其冷卻能力較傳統油冷卻系統爲佳又安全。

本變電所另一項特色爲建造施工採用「逆打施工法」由上而下逐層開挖、灌漿施工，建造時車輛、挖土機等施工設備均於內部作業，對噪音等環境污染降至最低(標榜無噪音)。本變電所曾得到市區規劃獎（urban planning prize），堪稱市區地下變電所之楷模。



名城地下變電所



名城地下變電所斷面圖

(二)日立全球先端科技公司（Japan AE power system Corp.）

-----由日立、富士及明電舍等三家企業合併而成;其中日立(Hitachi)所佔股份最多(50%)

1. 日立國分工場（Kokubu works）

該廠座落於日立市，佔地約 300,000 平方公尺。因臨近海邊，運輸非常方便。廠區主要生產變壓器及 GIS 等開關設備，尤其大容量 TR 及 GIS 均在此設計、生產及試驗。

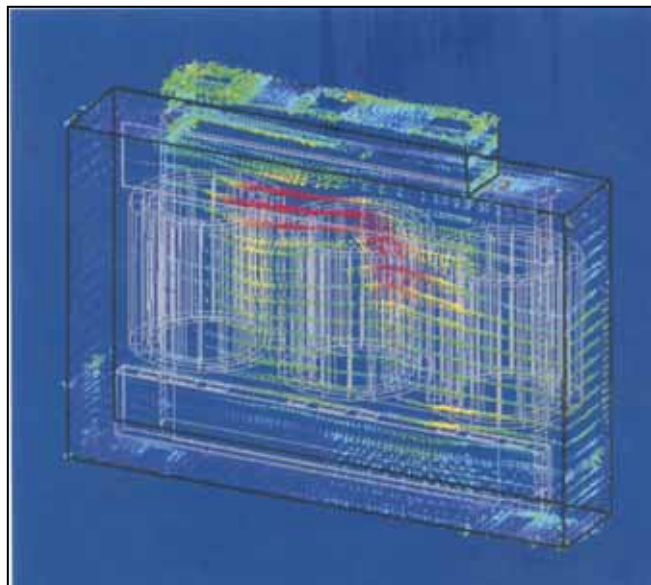
變壓器最大製作經驗為 1450MVA，使用於核能電廠。變電器與國內大同、華城等重電廠公司均有技術合作，而國內 GIS 製作廠—中興電工與日立公司(Hitachi)長久以來有深厚技術合作關係。



日立國分工場（Kokubu works）廠區



變壓器組裝工廠



變壓器線圈磁場分析

日立(Hitachi)公司從事 GIS 之設計、製造，經多年研發經驗，對於斷路器操作機構(Operation Mechanism)由早期之氣動式(with air compressor)進而採用電動彈簧式(Spring type)，目前 161kv GIS 已採用液壓式(Hydraulic type)，大大的減少了設備噪音及縮小所需空間。

至於 345 KV GIS 目前已向本公司申請進行定型試驗(Type test)等評鑑工作。



GIS 組裝工廠

### 三、變電所「磁場強度」抑制理論及方法

變電所內，磁場之產生源計分爲變壓器電力電纜聯絡線及饋線等電力設備，其磁場強度計算理論及防護，抑制對策分述如下：

#### (一)電力電纜(電線)排列的考量

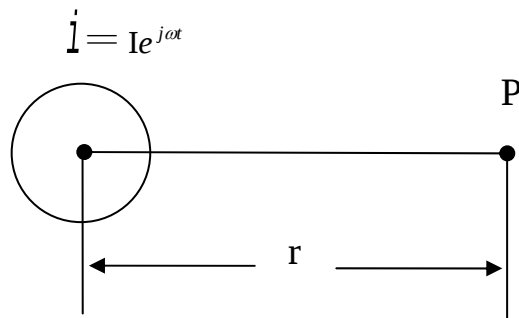
電線通過電流，由於電流的磁效應，電纜電線的週圍必有磁場產生。現分析電線不同的排列方式對磁場分佈的影響，加以探討如下：

##### 1. 單一線路磁場分析

設單一長導線載有 AC 電流  $Ie^{j\omega t}$ ，則應用 Biot—Savart 定律可求得距離導線  $r$  處之 P 點磁通密度( $\beta$ )爲

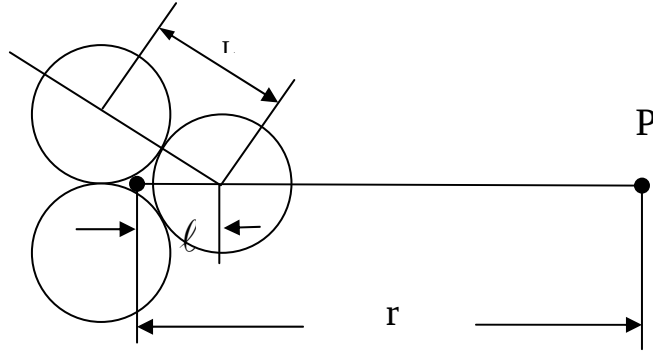
$$\beta = \frac{\mu_0 I e^{j\omega t}}{2\pi r}$$

式中  $\mu_0$  爲空氣導磁係數。上式中之  $\beta$  值係隨距離  $r$  值之倒數衰減，亦即磁場之分佈會擴散到離電線較遠的空間。



## 2. 三相線路集靠磁場分析

設三平行集靠導線(電力電纜)，任意兩線之間距  $L$ ，三線通過電流分別為  $Ie^{j\omega t}$ ， $Ie^{j(\omega t+2\pi/3)}$  及  $Ie^{j(\omega t-2\pi/3)}$ ，如下圖所示：



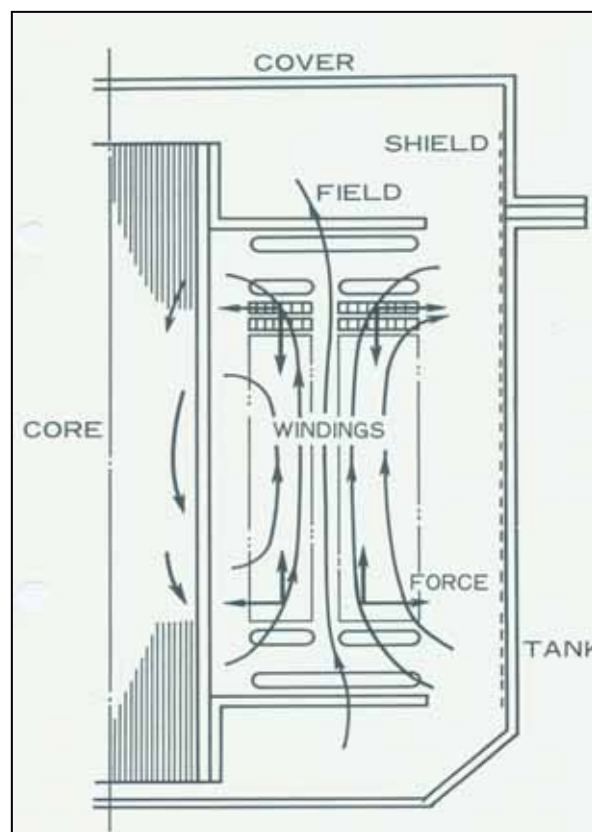
若觀測點  $p$  至三導線中心距離  $r \gg l$ ，則三導線所產生磁場在  $p$  點近似相切，因此可比照前式寫出  $p$  點磁通密度( $B$ )為：

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left\{ \frac{e^{j\omega t}}{r - \ell} + \frac{e^{j(\omega t+2\pi/3)}}{[(r + \ell)^2 + \ell^2 + 2\ell(r + \ell)\cos \pi/3]^{1/2}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{e^{j(\omega t-2\pi/3)}}{[(r + \ell)^2 + \ell^2 + 2\ell(r + \ell)\cos \pi/3]^{1/2}} \right\} \\ &= \frac{\mu_0 I e^{j\omega t}}{2\pi r} \left[ (1 + \ell/r)^{-1} - (1 + 3\ell/r)^{-1} \right] \\ &= \frac{\mu_0 I e^{j\omega t}}{2\pi r^2} \left( \frac{2\ell}{1} \right) \end{aligned}$$

由上式可知磁通密度( $B$ )隨距離( $r$ )平方之倒數衰減，所以集靠排列之 3  $\phi$  導線磁場強度之收斂比單線為佳，亦即集靠排列的磁場較不易擴散到遠離電線的空間。

## (二)磁場「遮蔽」的考量

防止電力磁場擴散的方法，除了上述以導線集靠配置排列，將產生磁場相互抵消或於短距離內衰減外，還可在導線外層被覆一高導磁係數之遮蔽層材料，而在變壓器等磁場產生源設備，尤其是大容量變壓器，常伴隨著高洩漏磁通，當此高洩漏磁通侵入變壓器夾件，外殼等構造物時，造成該構造物產生局部溫度過高，為避免此一現象，變壓器之兩主線圈鐵心柱腳設計成磁通向量差  $180^\circ$ ，以抵消相互間之漏磁通，而在低壓側出線導體也以交錯式排列使其自然抵消相互間之漏磁通，在變壓器外殼側漏磁通無法抵消處則以高導磁係數之矽鋼片作為磁遮蔽，而在三相共通之低壓側連結箱內，則以鋁板作為磁通遮蔽材料。



變壓器外殼磁場遮蔽圖

### (三)變電所「磁場強度」抑制方法

綜合上述理論，變電所電纜、設備依規劃配置及遮蔽方法；「磁場強度」抑制方式約如下數種：

#### 1. 電力電纜之配置依”品”字型方式排列設置。

依照磁場理論及實驗量測得知相三線平行集靠排列電纜所生磁場，隨距離平方倒數衰減，可將磁場抑制在電纜附近甚小空間。

#### 2. 電纜(饋線)回線集中配置

電力電纜(饋線)數回線集中排列配置，能有效衰減磁場。而地下電纜進出變電所出入口如採用多迴路平行敷設，在其路徑下位置可採用加設遮蔽板措施，亦能有效遮蔽磁場。

#### 3. 變壓器二次側電纜與饋線電纜來回交錯配置

變電所規劃設計時，將主變壓器二次側電纜（沿地下室經電纜整理室向上至 GIS 室）與饋線電纜（從上方 GIS 室向下沿電纜整理室至地下室出口）交錯配置，致二方電流方向相反，抵消磁場。

#### 4. 電力電纜出口配置設在馬路中及遠離民房

規劃輸電線及饋線電纜涵洞連接至所外時，儘可能設置於用地中心，避免接近鄰地，造成影響。另變壓器在配置時儘量將高、低壓側電纜出入口及電纜管道間，規劃於建物中央及遠離民宅。

5. 電纜遮蔽層採用高導磁性材料

為使電纜遮蔽層有效導納磁場，其材質必須是高導磁性材料(如 XLPE 電纜外層之半導體)，且不能發熱，以免構成無謂之電力浪費。

6. 變壓器外殼採用高導磁性之矽鋼板

變壓器鐵芯採用矽鋼片，可有效減少洩漏磁通，可降低鐵芯損失，抑制擴散磁場。在變壓器外殼則以矽鋼板做為磁場遮蔽物，以抑制磁場擴散。

7. 變電所及電力電纜傳輸線地下化

在人口眾多，用電量多之都會地區，變電所及輸送電力之電力電纜，應儘量規劃設計為地下化，如此將大大減低擴散於外界之電磁場，而能將其限制於極小空間內。

#### 四、日本變電所「磁場強度」抑制實例

##### (一) 電力電纜之配置依”品”字型方式排列設置



##### (二) 電纜回線集中配置



(三) 變壓器二次測電纜與饋線電纜交錯配置



(四) 電力電纜出口配置設在馬路中及遠離民房



(五) 電纜遮蔽層採用高導磁性材料



(六) 變壓器外殼採用高導磁性之矽鋼板



(七) 變電所及電力電纜線路地下化



變電所地下化



GIL 傳輸線地下化

## 五、結論及感想

- (一) 近年來，日本民眾對於興建變電所發生抗爭事件，已較為少聞；民眾對於電磁場是否影響人體健康，乃至致癌等議題，並無多大關注；同時也無特定法令規範。但政府相關單位與電力公司仍全力研發最新科技及材料，盡力抑制或消除變電所設備產生之磁場。
- (二) 日本目前大都會區，大都以興建地下變電所或多目標綜合變電所為主，其設計均以經濟、安全與方便為考量；在施工技術及經驗方面非常成熟，值得我們參考借鏡。
- (三) 日本變電所興建施工期間，對於週遭環境、交通、施工流程、廢棄物之存放等，均有詳盡之規劃，及事先勤於與民眾溝通說明，將施工期間之不便減至最低，以降低民眾抗爭事件；以名古屋市之**名城地下變電所**為例--其興建於古蹟風景區傍，但其施工技術先進，能與週遭環境景觀調和，及能降低施工噪音等等，其獲選得到**都市規畫獎**（Urban planning prize），為地下變電所楷模。以上值得國人參考學習。
- (四) 日本近年來，國內產業極不景氣。大型企業極力推展「合併」及紛紛向國外發展，以求生存；本次參訪日立廠家（Hitachi）公司即是與富士(Fuji)、明電舍(Meiden)合併而成為日本先端科技公司（AE power system corporation）。其合併後，國外業務量增加 40%上。這種精簡人力、求新求變的作法，應值得鼓勵。
- (五) 日本變電所參觀，均備有多媒體影片介紹及資料分送；對變電所之週遭環境，興建緣由及施工計劃，乃至過程做一系統性介紹；讓參訪者於短時間內能夠了解變電所興建概況，亦易於達成溝通目的，此點亦值得我們參考。

## 六、建議

### (一) 借鏡變電所設計、施工經驗

日本都會區均以設計地下變電所為主，設計施工經驗非常純熟。反觀，國內興建地下變電所正在起步，日本之設計及施工技術、經驗均值得我們參考。

### (二) 加強英語訓練，並持續派員出國觀摩

員工為公司重要資產，而出國學習觀摩為技術提昇不二法門；為使學習更有效率，應鼓勵同仁加強語文訓練，特別是要提昇英語聽說能力；並建議持續派員出國觀摩研習，以提昇個人及公司整體戰力。

### (三) 設專責機構，加強對外宣導工作

建議設一變電所電力展示館，建立多媒體簡報資料中心，開放供民眾參觀；其他如變電所電磁場、噪音、消防等之較易於引起民眾抗爭之敏感議題，有一專責機構；負責統一向外界說明，同時並應加強對外宣導工作。