

出國報告（出國類別：實習）

# 新型 SF6 減量及無 SF6 絕緣開關設備 實習

服務機關：台灣電力公司輸變電工程處

姓名職稱：邱信穎 電機工程師

派赴國家：日本

出國期間：103 年 11 月 30 日至 103 年 12 月 05 日

報告日期：104 年 01 月 22 日

# 目錄

摘要	2
壹、出國目的	3
貳、出國過程	4
參、實習心得	5
一、國分工廠簡介及參訪	5
二、C-VIS	8
肆、歐洲地區相關技術探討	20
伍、心得及建議事項	21

## 摘要

23kV GIS(Gas Insulated Switchger)在台電輸變電系統裡屬中壓開關設備，內部絕緣介質多採用 SF6，其潛在之溫室效應為 CO2 的 23,900 倍，如何減少六氟化硫(SF6)之使用及排放量，將成為重要課題。本次出國研習題目為「新型 SF6 減量及無 SF6 絕緣開關設備實習」，即以減少六氟化硫(SF6)之使用及排放量為課題，導入 SF6 減量設計之開關設備或使用非 SF6 氣體作為絕緣介質之開關設備，以迎合節能減碳趨勢。本文將就本次出國研習課題，以及參訪日立公司之設備工廠之目的、行程與心得作完整說明，並於文末提出建議事項，作為本公司未來購入設備時參考。

關鍵詞：

SF6 ( sulfur hexafluoride )

C-VIS (Cubicle type Vacuum Insulated Switchgear)

日立國分工廠

## 壹、出國目的

自2007年起「峇里行動計畫」啟動開發中國家與已開發國家後京都時期應承擔各自減量(CO<sub>2</sub>)責任之雙軌談判，以及2009年「哥本哈根協議」要求合約國之量化減量目標承諾與非合約國家之國家適當減緩行動，可見國際社會對於氣候變遷所造成的影響已採取更積極的態度應對。台灣亦於2010年經行政院院會通過的「國家節能減碳總計畫」及其十大標竿方案，以達到節能減碳目標並可向國際宣示我國履行氣候公約的意願與決心。台電公司為配合政府政策，投入各種相關計畫，如擴大再生能源利用、火力機組汰舊更新、擴大使用天然氣等具體做法。而本單位身為輸變電系統，則可透過變電技術的更新，研擬新型設備引入的可行性。

本次研習主題「新型SF<sub>6</sub>減量及無SF<sub>6</sub>絕緣開關設備」，即針對23kV GIS設備。採用SF<sub>6</sub>混合其他惰性氣體或不使用SF<sub>6</sub>作為絕緣介質，利用真空唧筒及矽橡膠等材質達成斷路器、EDS三位置開關及匯流排等所需之消弧或絕緣功能，不僅達到環境保護之目的、大幅減少維修次數，並作為降低溫室氣體排放量之手段。

## 貳、出國過程

本次出國行程及實習內容如下：

一、103年11月30日：往程（台北－日本東京）

二、103年12月01日：（東京）

研習新型SF6減量及無SF6絕緣開關設備（日立公司）

三、103年12月02日：（茨城縣）

參訪日立國分工廠

四、103年12月03~04日：（東京）

研習新型SF6減量及無SF6絕緣開關設備（日立公司）

參訪東京市內變電所

五、103年12月05日：返程（東京－台北）

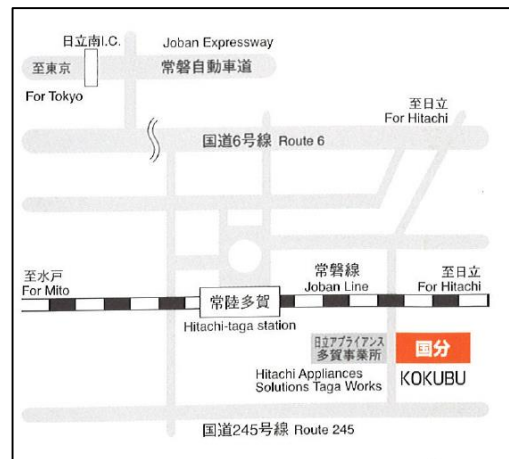


## 叁、實習心得

### 一、國分工廠簡介及參訪

日立國分工廠位於茨城縣日立市，由東京出發搭乘常磐線列車約90分鐘抵達常陸多賀站，再轉搭計程車約不到五分鐘的車程即來到目的地。

國分工廠佔地約436,413平方公尺(約九個東京巨蛋的面積)，前身為久原鋁業所日立鉦山附屬修理工廠(1910)，1957年獨立成為一事業單位，始稱作「國分工廠」，並逐步投入重電設備的生產，迄今其產品(電力變壓器、氣體絕緣開關等)可供電力事業、交通運輸業、公共設施、及工業使用，另外亦有研究開發部門、電力試驗部門，故可從設計、生產、試驗全在廠內完成，達到一條鞭式的品質管控。



(資料來源:日立公司)

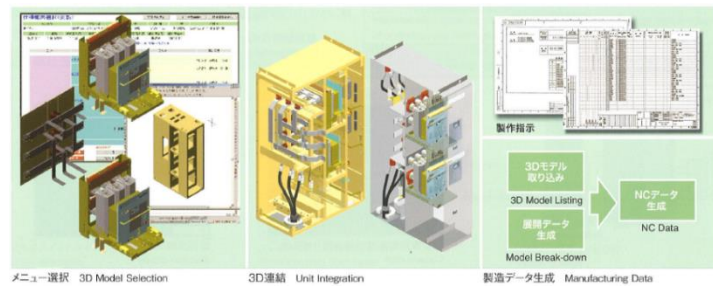
本次參訪主要是日立公司C-VIS (Cubicle type Vacuum Insulated Switchgear)設備，其銷售於日本國內主要客戶是交通事業及電力事業，前者供鐵道用電為主，電力事業則是關西電力公司。海外市場則遍及新加坡、法國、巴西以及台灣。以近期的銷售實績(550具)來看，海外市場共計300具，內銷市場則是250具，兩者佔比相當。

目前國分工廠內組裝中的C-VIS尚在備料階段，惟日立公司極重視客戶的資料隱私，在工廠內不開放拍照，僅由工程師進行相關工具及流程介紹。從各料品的擺放，不同程序的工作SOP，都相當井然有序。廠區內另有一處製品展示場，裡頭有C-VIS的成品，以及內部構件的操作模型，從中反而更能看清楚各零組件的配置，這樣的安排，可兼顧對客戶的保障及對外參訪的需求。



圖1：製品展示場、圖2：展示場內部、圖3：操作模型、圖4：構造解說、圖5：細部零件  
工廠參訪告一段落

後，接著回到會議室就簡報及相關技術進行交流，其中談到國分工廠內的設計部門採用3D模型來繪製圖面提出



(資料來源:日立公司)

請教，設計部主任技師岡田先生說明，該廠於2004年時開始導入3D，初期先建立起各零組件的3D元件，VIS的部分於2007年也導入這樣的設計，2010以後的新設計案就都以3D來進行繪製。

第二點提問是以C-VIS海內外銷售實績來看，為何於日本國內其銷售對象，係以交通(鐵路)用電為主，而非以電力公司為大宗。對此業務代表梶山小姐首先解釋日本電力系統其中壓等級為33kV，故在電力公司係以33kV來供應22kV用戶，無需額外採購C-VIS，所以仍以C-GIS為主。而交通事業(鐵路)多採用22kV供電，C-VIS在價格及其設計特點，較具有競爭力。



除了國分工廠，日方及其協力廠另於台灣境內及日本國內安排裝機現場及變電所參訪行程，台灣的部分係於赴日行程前，至一施工中的變電站，其中C-VIS已完成組裝，正進行週邊電纜連結作業，透過駐場日立技師解說，讓我能對設備有更進一步的了解。



圖1：C-VIS組立實品



圖2：IED

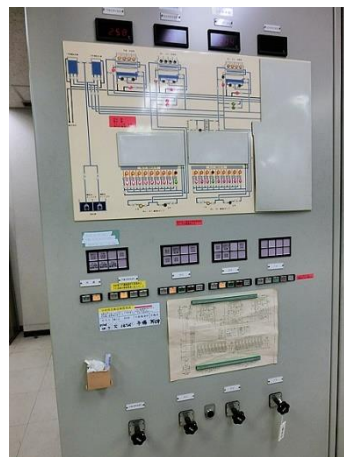


圖3：向上引接的電纜敷設



圖4：箱內接線

在完成國分工廠行程後，經由日方人員的安排於12月4日參訪東京市內變電所，分別是「新豐洲變電所」及「東新宿變電所」。新豐洲變電所自2001年開始營運，是東京電力公司500kV級的多目標變電所，地上一層至地下四樓為變電所，多目標樓層部分為通信中心(非電力公司所屬)；而東新宿變電則是275kV級變電所，所位在新宿區，已營運超過二十年，亦為多目標變電所，地面八層為東京電力東京(支)新宿支社辦公室，地下四層為變電所。從兩個新與舊變電所的參訪過程中，可看出設備在技術上的變動。



(圖左為新豐洲變電所控制盤，採新型觸控式螢幕操作；圖右為東新宿變電所控制盤，仍採LED燈號操作)



## 二、C-VIS

### (一) 發展歷程

日立公司於1996年與東京電力公司共同發展出一套單極四位開關，稱為集積式真空絕緣開關(Hys)，其斷路器(Circuit Breaker，簡稱CB)整合了分斷開關(Disconnecting Switch，簡稱DS)與接地開關(Earthing Switch，簡稱ES)，成為一體式連動結構模組，如下圖1。

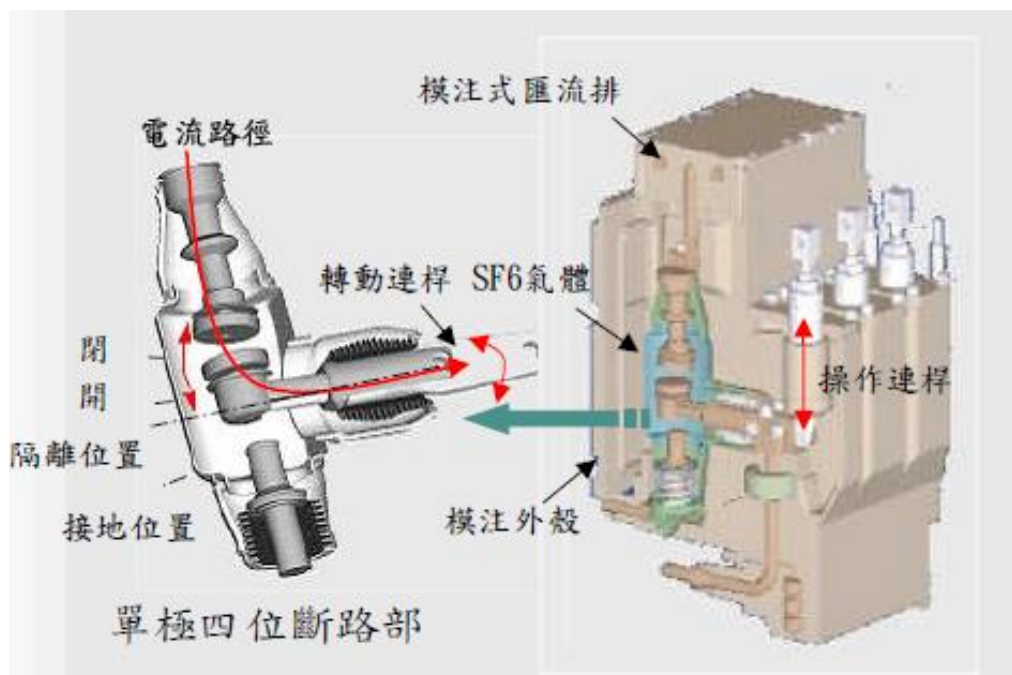


圖1：集積式真空絕緣開關 (資料來源:日立公司)

2006年進一步發展出新型真空絕緣開關(C-VIS)，如下圖2，為雙極接點設計，可增加啟斷信賴度（每單極點已具有24kV-25kA之啟斷能力），並以真空取代SF6，完全避免SF6封閉隔間室壓力上升及有害氣體外洩問題，另獨立式接地開關ES結構，更加強保護能力。

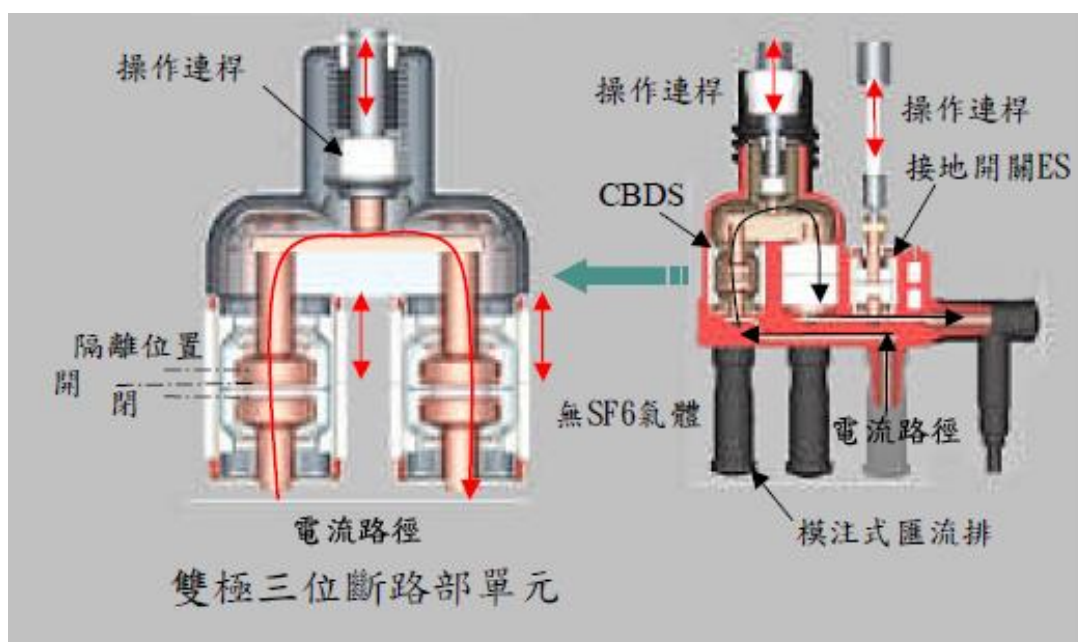


圖2：複合式真空絕緣開關 (資料來源:日立公司)

C-VIS主要係以「雙極三位真空絕緣斷路模組」及「無油永磁式電磁操作器所組成，兼具了GIS(SF6絕緣開關)的小體積及高信賴度，以及AIS(空氣絕緣開關)的環保優勢。

電氣特性如下：

額定電壓(Rated voltage)	kV	24
額定頻率(Rated frequency)	Hz	50/60
額定AC耐電壓(Rated short duration power frequency withstand voltage)	kV	50
額定衝擊耐壓(Rated lightning impulse withstand voltage)	kVp	125
短時間耐電流(Rated short time withstand current 3 s)	kA	25
額定短路電流(Rated short circuit breaking current)	kA	25
額定電流(BUSBAR)(Rated normal current - busbar)	A	1250
額定電流(FEEDER)(Rated normal current - feeder)	A	630/1250

開關盤體外形尺寸如下：

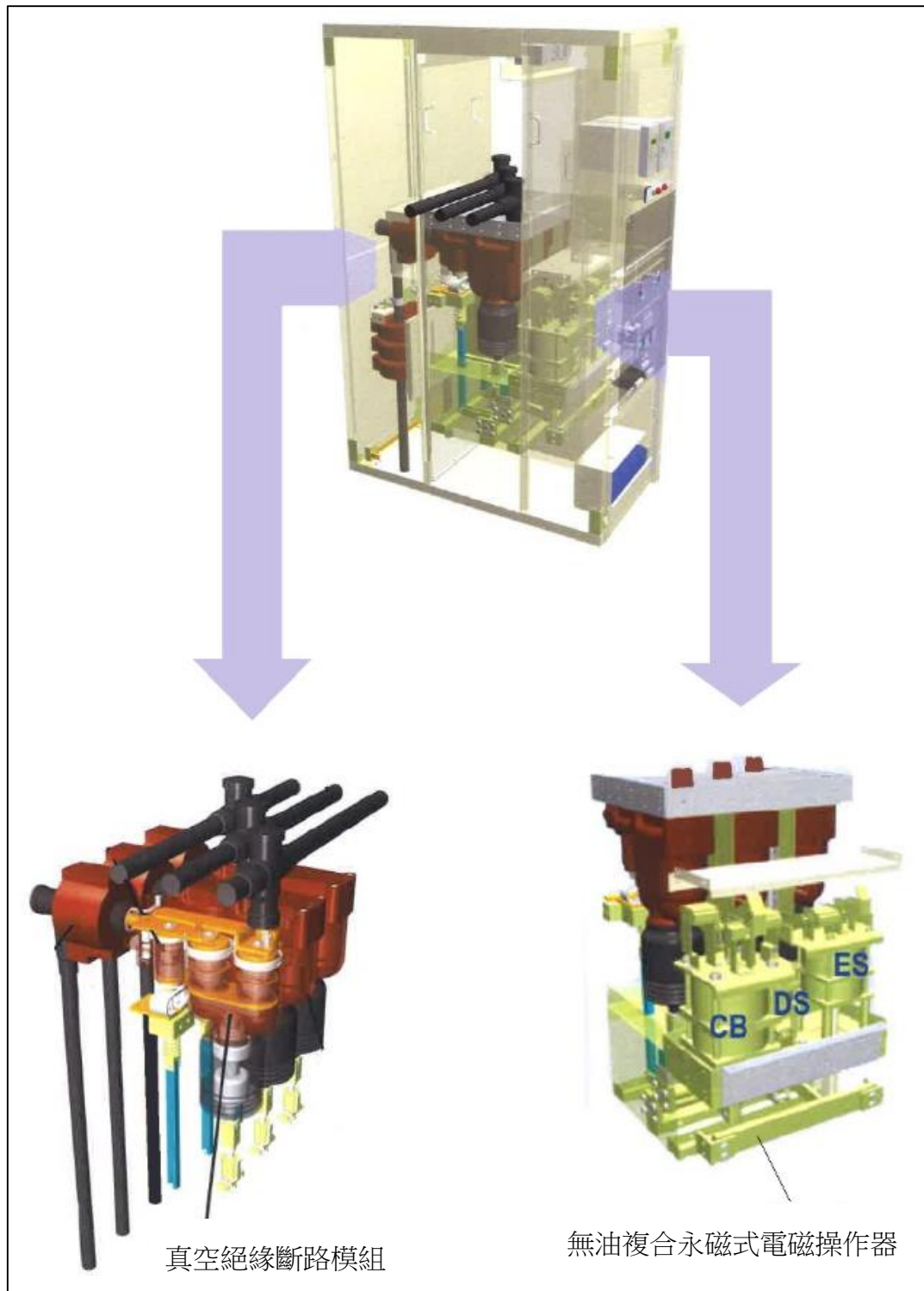
寬度	Feeder	mm	600
	Bus section	mm	600
深度	Feeder	mm	1300
	Bus section	mm	1300
高度		mm	2100
重量	Feeder	kg	650
	Bus section	kg	750

## (二) C-VIS 特點

信賴性	<ul style="list-style-type: none"> <li>●無油式電磁操作設計，在長期使用下仍確保穩定的操作特性，且無需定期上油潤滑，達成維護簡化的理念。</li> <li>●真空模組接合技術可確保在長期使用下，其密封的可靠度。</li> <li>●主電容器與備用電容器提供自動操作所需電力。</li> <li>●每相之雙極三位接點均具有24kV-25kA之啟斷能力及絕緣能力。</li> </ul>
安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>●絕緣等級：相間絕緣大於相對地絕緣。相間隔離之構造可避免相間短路。相對地之異常短路電弧(2kA)也較相間短路電流(25kA)小；而與密封室SF6壓力1bar的C-GIS相比，C-VIS其絕緣能力高出3倍。</li> <li>●真空接地開關ES結構，具有極高的安全保護能力。</li> <li>●真空模組內部異常也不會有造成內部壓力增加的危險，故無需任何洩壓裝置，並具偵測真空裝置，能連續地偵測真空洩漏度，確保安全。</li> <li>●雙極三位真空斷路部被封裝於模鑄絕緣樹脂中，即使接地異常造成真空洩漏，亦能有完整的絕緣保護。</li> </ul>
抗候性	<ul style="list-style-type: none"> <li>●真空開關不受結露、鹽分或腐蝕性氣體之污染。</li> <li>●真空密封室及可動部結構採用不鏽鋼材料，加抗氧化腐蝕能力。</li> </ul> <p>另每相真空絕緣斷路模組輕量化，便於搬運。</p>

### (三) 核心設計

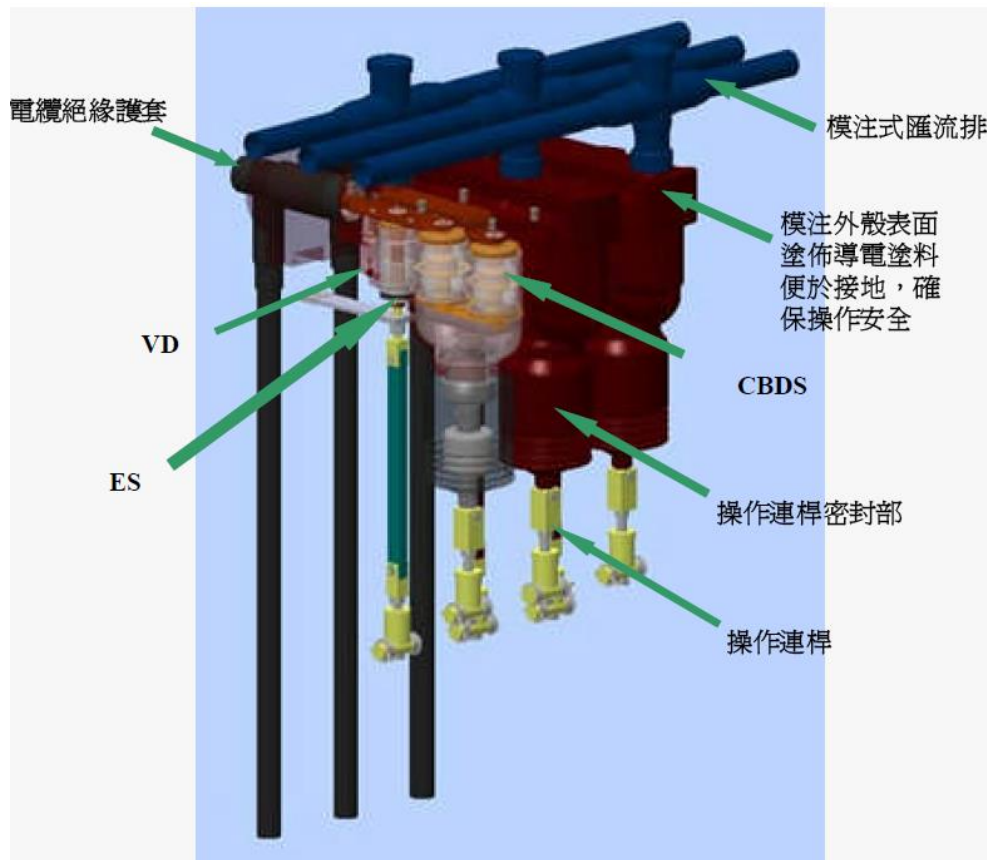
在C-VIS中，「真空絕緣斷路模組」及「無油複合永磁式電磁操作器」為其關鍵核心技術，從下圖中可以清楚看出兩者在箱體中的配置情況。



(資料來源:日立公司)

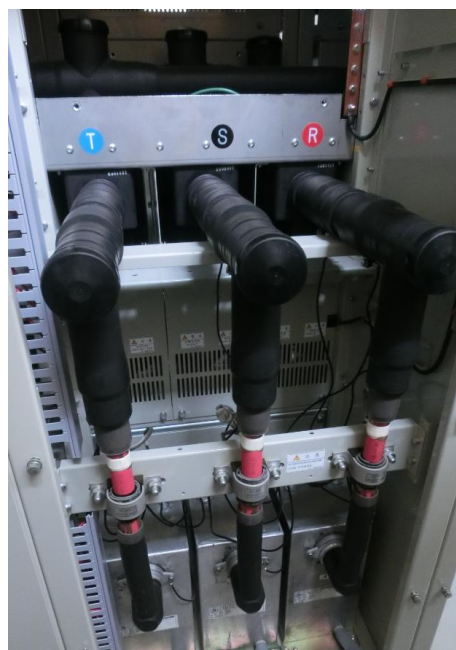
# 1. 真空絕緣斷路模組

## A. 外觀圖



(資料來源:日立公司)

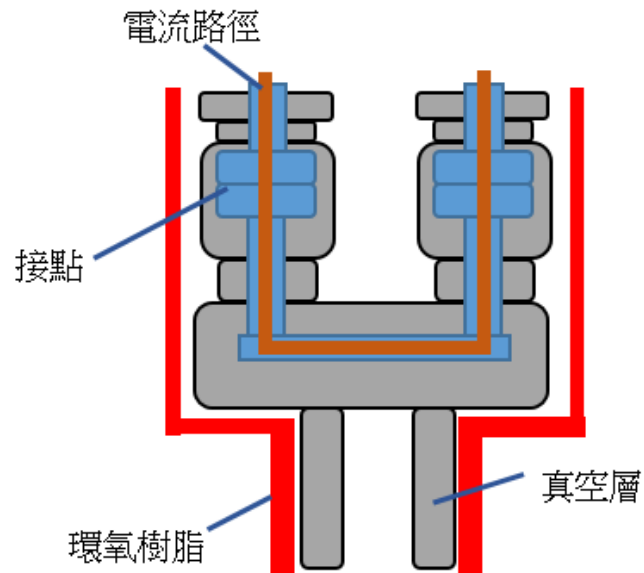
## B. 組裝後實體圖



### C.操作原理

#### (1)閉合狀態(close)

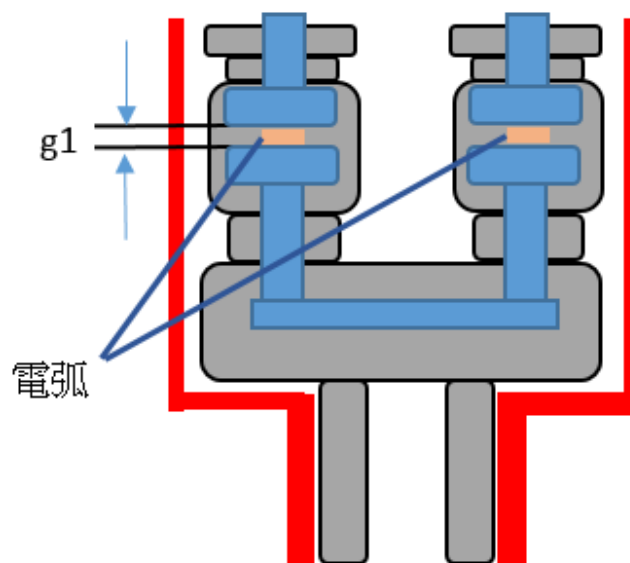
電流通過接點構成回路。



(資料來源:日立公司)

#### (2)斷開狀態(open)

電流回路因接點開始斷開而中斷，其中每個接點間的回復電壓有助於提高斷路性能。

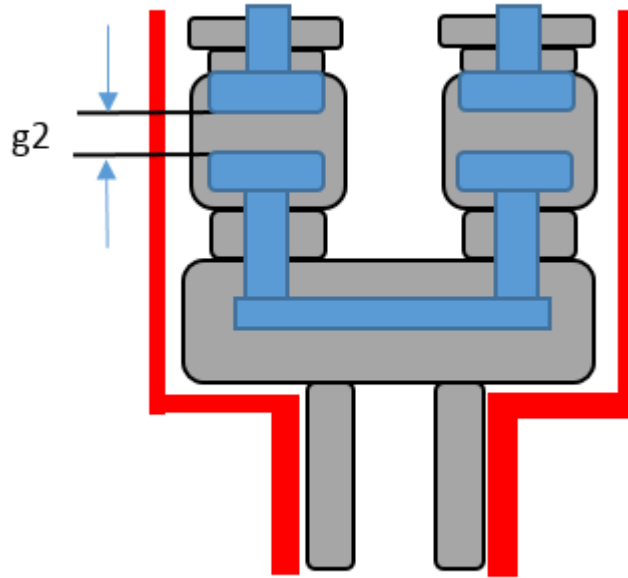


(資料來源:日立公司)



(3) 隔離狀態(disconnect)

斷開距離(g2)設定為上一狀態的距離(g1)的兩倍，以滿足 CB 和 DS 間的絕緣協調。



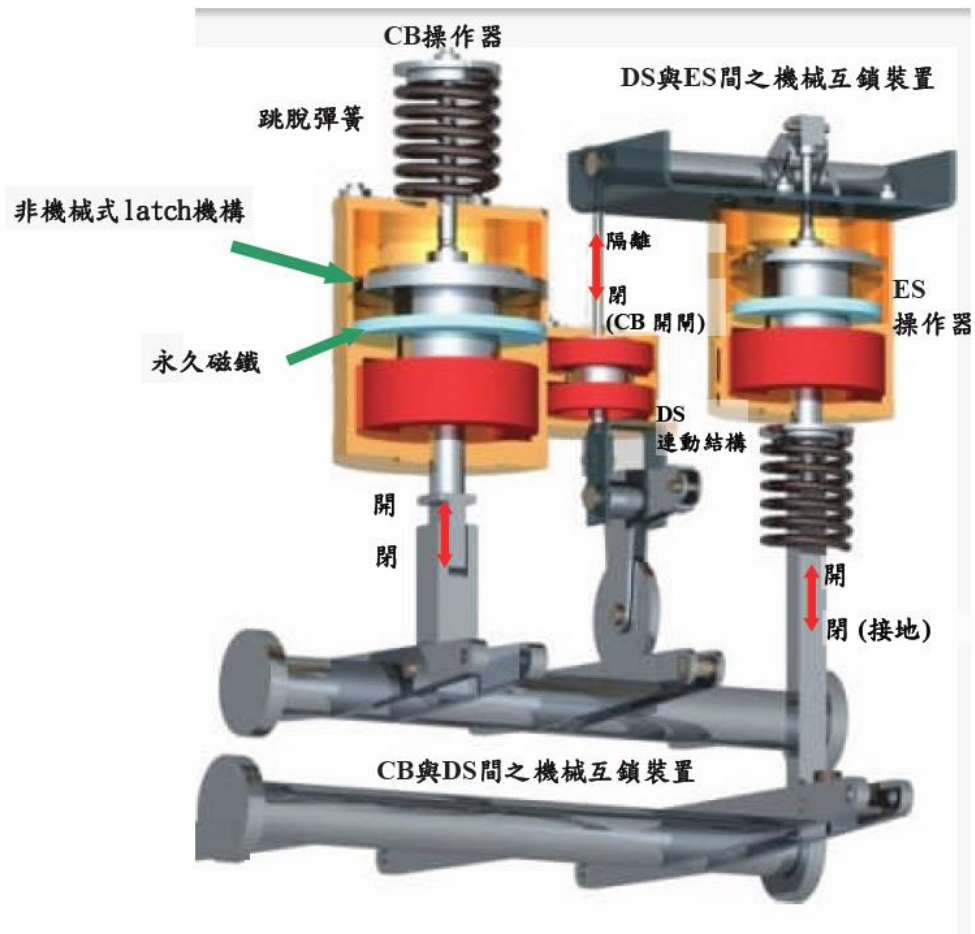
(資料來源:日立公司)

D. 設計特點：

- (1) 採用真空方式作為絕緣介質與消弧，不使用SF6氣體，故不產生溫室效應氣體。
- (2) 將每相之CBDS(CB+DS)、ES、電纜護套、導體護套、VD全部整合於同一單元裝置中。
- (3) 內設有電容器組，預先儲存電壓，以利斷路器投入或跳脫。當真空氣體室失效時，開關狀態將被門鎖，無法操作，須由前端先行切離後，才可進行維修工作。

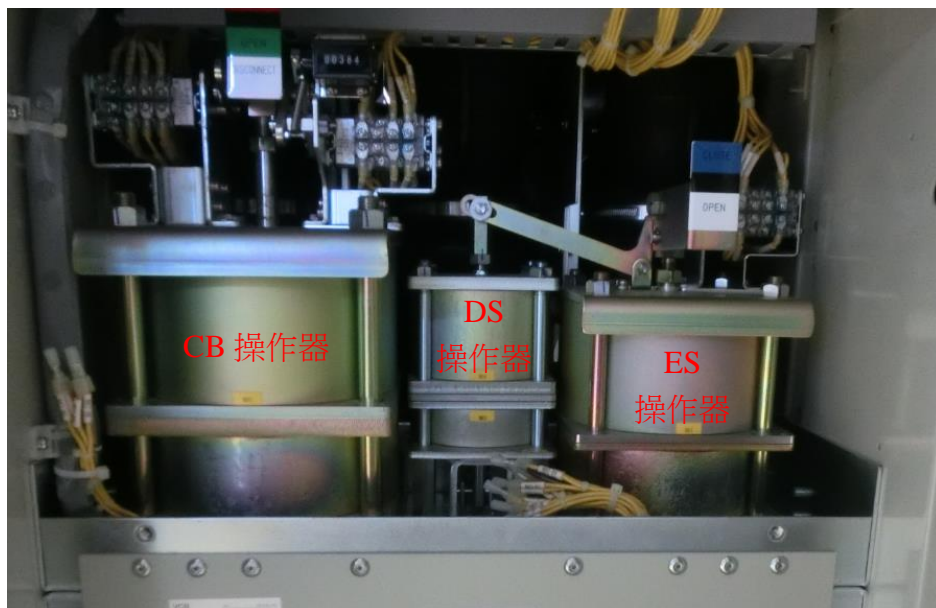
## 2. 無油複合永磁式電磁操作器

### A. 外觀圖

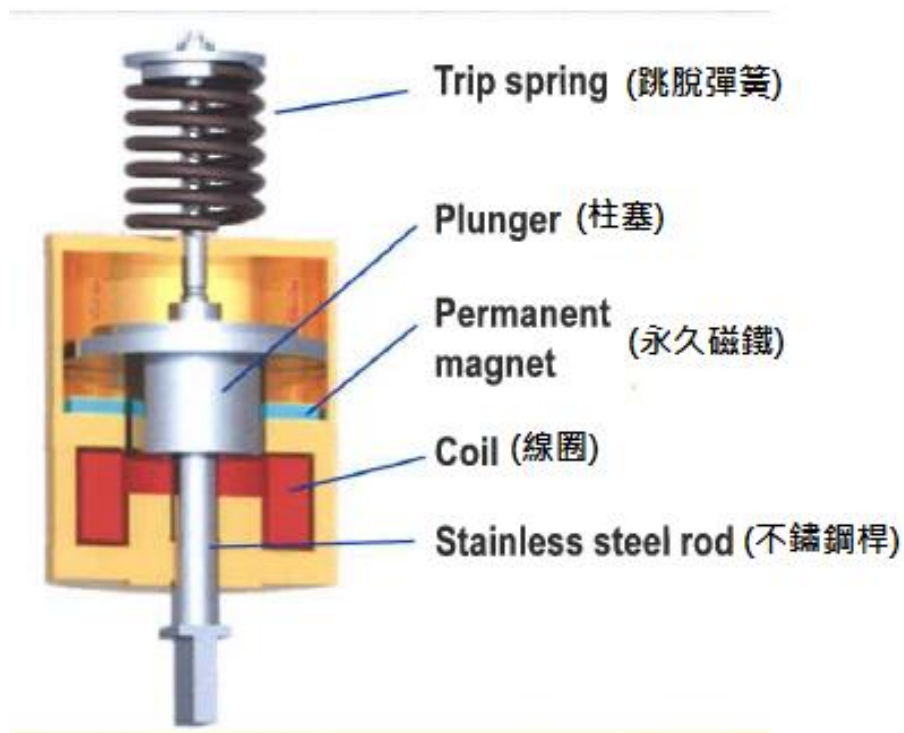


(資料來源:日立公司)

### B. 實體圖



C. 細部圖

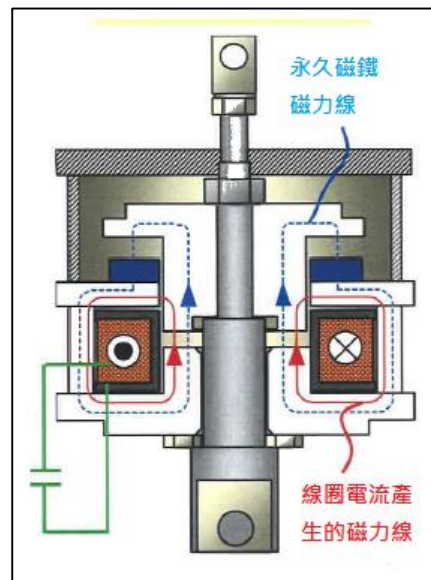


(資料來源:日立公司)

D. 操作原理如下：

(1)操作器閉合操作(opening)

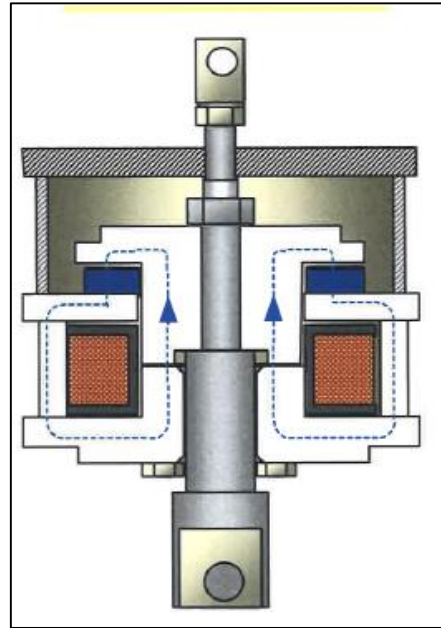
欲使操作器閉合(投入時)，外加一直流電源，產生磁力方向(藍色虛線)與內部永久磁鐵磁力(紅色實線)方向相同，藉此強大電磁力使致動器閉合。



(資料來源:日立公司)

(2)閉合門鎖(holding)

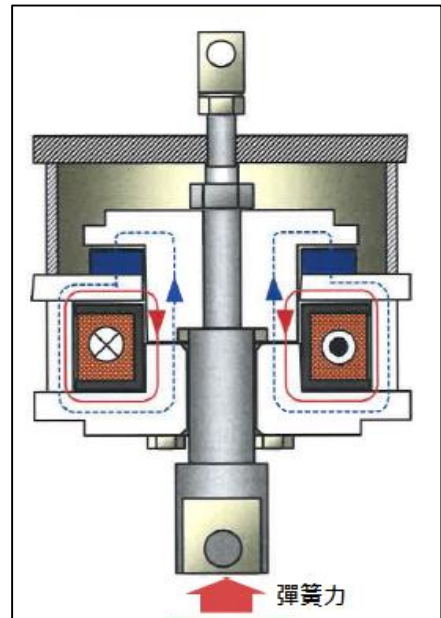
操作器閉合後，永久磁鐵磁力可讓操作器保持在閉合狀態。



(資料來源:日立公司)

(3)啟斷操作(closing)

當故障發生或與啟斷故障電流時，外加反向直流電源將產生磁力，其方向與永久磁鐵磁力互相抵銷，此時彈簧彈力可使操作器跳脫。



(資料來源:日立公司)

E、設計特點：

- (1)非機械式 latch 機構其使用高效能的永久磁鐵做 holding，降低 latch 結構的故障率。
- (2)與彈簧式機械操作結構相比，可減少約 85%的機械元件及降低約 80%的電力消耗。
- (3)無油式機械結構不會因為潤滑油流失而發生機械故障，大幅簡化維修工作。
- (4)在無控制電源的情況下，仍可由乾式電池單元供電，進行開閉操作（只有在做維護工作時，採用此方法）。此外，可使用手動操作桿操作本斷路器 OPEN。
- (5)搭配模鑄式匯流排(molded busbar)，故整套設備全無 SF6 氣體，故不需使用 Packing 和 O 型環加以密封(此工法無法完全確保 100%密封，僅能保證在某一期間內之洩漏百分比)。

(五) VIS與GIS的工作比較表 (“-” 表示無需操作)

no	安裝、現地測試、操作、保養維護、點檢、擴充、故障排除		24kV	24kV	
	類別	工作	C-VIS	C-GIS	
1	安裝	安裝	●	●	
2		重組或拆解	周圍環境與天氣檢點	—	●
3			內部及表面洩漏檢點	—	●
4		電纜接線	電纜頭清潔	●	●
5		配線	配線檢點	●	●
6		氣體配管	氣體管路清潔與密封檢點	—	●
7		吸收劑充填	充添後 30 分內抽空	—	●
8		抽真空	連接真空 pump 及真空表	—	●
9		充填氣體	連接氣體充填裝置並充填氣體	—	●
10		水汽檢查	氣體充填後靜置一定時間	—	●
1	現地 檢點	真空度檢點	●	●	
2		特性相關檢點	壓力開關操作檢點	—	●
3			CT/PT 特性	●	●
4			絕緣電阻	●	●
5			絕緣耐壓測試前後之接觸阻抗	●	●
6			CB、DS、ES 操作特性檢點	●	●
7			接地電阻	●	●
8		絕緣耐壓測試	AC 絕緣耐壓	●	●
9			電纜之 DC 絕緣耐壓	●	●
10		操作程序測試(含相序核對)	●	●	
11		保護電驛操作測試	●	●	
12		安全互鎖裝置測試	●	●	
13		保護協調機能測試	●	●	
14		噪音測試	●	●	
15		振動測試	—	●	
1	維護 檢點	外觀檢查	操作指示燈	●	●
2			異常噪音及振動	●	●
3			框架塗裝及氧化檢查	●	●
4			停止閥狀況	—	●
5			螺絲鎖緊程度	—	●
6			基地結構及接地配線檢查	●	●
7			機械連結結構	●	●

no	安裝、現地測試、操作、保養維護、點檢、擴充、故障排除			24kV	24kV	
	類別	工作	內容	C-VIS	C-GIS	
8		氣體瓦斯相關裝置	配管	—	●	
9			分解物、溼氣	—	●	
10			洩漏檢查	—	●	
11	維護 檢點	設備操作／控制檢查	氣體壓力表精度檢查	—	●	
12			操作計數器	●	●	
13			內部結露及氧化檢查	●	●	
14			潤滑油	—	●	
15			清潔	●	●	
16			控制線鬆緊度	●	●	
17			計數器操作	●	●	
18			彈簧氧化及損壞檢查	●	●	
19			合閘位置機械維持鎖住結構	—	●	
20			輔助開關測試	●	●	
21			操作測試	●	●	
22			控制回路測試	●	●	
23			繼電器及反覆開關手觸點	●	●	
24			安全互鎖回路	●	●	
25			部品更換	●	●	
26			量測	絕緣阻抗	●	●
27				加熱器故障檢查	●	●
28				VCB 真空度	●	●
29	VCB 接觸點磨損檢查	●		●		
30	保護 Relay 單元測試	●		●		
31	保護 Relay 程序測試	●		●		
32	CB 無載分閘/合閘操作特性測試	●		●		
33	最低操作電壓	●		●		
34	無跳脫操作測試	●		●		
35	氣體濃度檢知器測試	—		●		
36	壓力計精確度測試	—		●		
37	主回路阻抗及接地阻抗測試	●		●		
38	其他	密封室內部檢點	—	●		
39		部分放電測量	—	●		
40		吸收劑及管線接頭檢查	—	●		
41		洩漏電流測試	●	●		



## 肆、歐洲地區相關技術探討

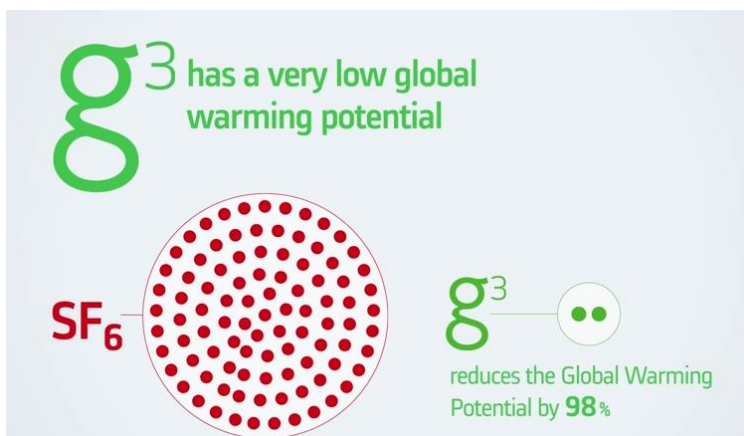
### 一、西門子混合氣體型 GIL

Gas Insulated Transmission Line (GIL)是極具可靠度的電力傳輸裝置，其優點如下：

- (一) 使用壽命超過 50 年，不會隨時間而絕緣老化。
- (二) 外殼為鋁合金金屬包覆，不會受外力撞擊、鼠咬而破壞絕緣被覆。
- (三) 低運轉成本—低阻抗(架空線 1/6、電纜 1/4)，低熱損(架空線 1/5，電纜 1/3)傳輸電力效益高。
- (四) 內部以氣體做為絕緣，不因使用時間而絕緣老化，僅需監視氣體密度，氣體洩漏每年小於 0.5%。
- (五) 電磁場極微小。
- (六) 內部故障不會燃燒。
- (七) 可傳輸較大送電容量，以一回線 345kV 3660A 為例，需 2500sqmm 電纜兩條。
- (八) 設計可承受 0.5g vibration shock。

台電電網系統裡亦有許多 GIL 實績，大部分應用在變電所內做為連絡線，其內部所使用的絕緣氣體係採用 SF6，目前西門子公司已開發混合氣體型的 GIL，係以氦氣與低於 20%的 SF6 氣體混合，可大幅減少 SF6 的使用量。

### 二、Alstom G3



Alstom 公司與 3M 公司合作，於 2014 年發表可取代 SF6 的絕緣氣體，稱之為 g3。g3 相較 SF6 可降低 98% 對環境的衝擊，並可應用在高壓設備，值得持續關注其發展。

(資料來源：alstom 網站)

## 伍、心得及建議事項

- 一、台電公司近年來受整體經濟環境及背負政策任務的影響導致財務虧損嚴重，公司因此積極調整組織，並加強成本控管，然而控管並不能只單純從價格上來考量，需進一步整體評估，如設備購入的後續維修、保養、零組件汰換等因素，從如此「成本意識」的概念切入，配合前述介紹 C-VIS 的內容，可以看出本項設備的設計特點反應在後續維保部分，可大量減少人員工作負擔，且目前 D/S 等級變電所幾乎都無人駐守，而是維修人員以區域分配巡視的方式進行相關維護作業，故此一設備的發展確有其優勢。
  
- 二、本項產品目前在國內已有使用實績，應用在桃園機場捷運的變電系統中，將來雙子星等建案亦有採用，惟在電力事業上，受限於 23kV 級開關設備仍屬於國產化保護項目之一，故若要引進台電公司，則須與台灣本地廠家進行技術合作，並取得台電公司電力設備器材廠商承製能力審查作業之合格證明。另外雖然 C-VIS 銷售於台灣其價格高於 C-GIS(考量到進口匯差、運費及前述國產化因素)，然而日本國內由於 SF6 為京都議定書管制之六種溫室氣體之一，使得 C-GIS 的價格反倒比 C-VIS 要來得高，有鑑於此，持續關注無 SF6 或 SF6 減量之技術確有必要性，一旦將來政府配合國際減碳需求而調整相關政策時(如增加使用溫室氣體設備之相關賦稅)，本公司即可採取因應之配套方案。
  
- 三、台灣電力發展與電網建置已趨近成熟，短期內應不再有像第六輪變電計畫如此龐大的電網建設，然而許多營運超過三、四十年的變電所，其設備使用年限將至，可想見接下來本系統的工作重點，將會落在設備汰換更新上，因此需積極引入新型技術及設備，確保變電所能在顧及安全且更長久的運作。