

出國報告（出國類別：實習）

高壓直流(HVDC)電纜線路研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：何欣賢 10 等電機工程監

派赴國家：日本

出國期間：112 年 6 月 18 日至 112 年 6 月 23 日

報告日期：112 年 8 月 21 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

高壓直流(HVDC)電纜線路研習

頁數 17 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

何欣賢/台灣電力公司/輸變電工程處/課長/02-23229979

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：112年6月18日至112年6月23日

派赴國家/地區：日本

報告日期：112年8月21日

關鍵詞：高壓直流(HVDC)、線電壓換相轉換器(LCC)、電壓源轉換器單級(VSC)、
充油電纜、交連 PE 電纜、換流站

內容摘要：(二百至三百字)

由於社會環境變遷及民眾自主意識抬頭，新設架空輸電線路易遭抗爭阻撓；採地下電纜則因交流電產生之電容性無效電力而降低輸電效率，更將造成電壓上升對系統造成不利影響。考量系統特性及未來發展潛力，且因應大量離

岸風電併網需求，高壓直流(HVDC)輸電相較於高壓交流(HVAC)輸電具有長距離、低損失、無虛功率耗損之優勢，增加未來電力傳輸方式之選項。

本次出國實地觀摩北海道~本州 HVDC 線路與換流站，並參訪電纜製造廠。北海道~本州 HVDC 線路容量 600MW，為線電壓換相轉換器雙級(LCC，bi-pole)架構，直流架空線長度約 124 公里，直流電纜長度約 43 公里，合計約 167 公里，中間跨越最大水深約 300 公尺津輕海峽。為提升北海道電壓及頻率穩定度，北海道電力公司 2019 年完成線路容量 300MW，電壓源轉換器單級(VSC，mono-pole)系統之新北海道~本州 HVDC 線路，直流架空線長度約 98 公里，直流電纜長度約 24 公里，合計約 122 公里。跨越津輕海峽部分採用鐵路共架方式。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

壹. 實習目的

由於社會環境之變遷及民眾自主意識抬頭，新設架空輸電線路易遭抗爭阻撓，採地下電纜則因交流電所產生之電容性無效電力而降低輸電效率，且將造成電壓上升對輸電系統造成不利影響。鑒於世界各國使用高壓直流輸電案例漸多，因此現階段有必要就高壓直流輸電技術及作法進行了解，以增加未來電力傳輸方式之選項，提供規劃單位彈性運用，依電力供給狀況規劃輸電系統。

此外，考量系統特性及未來發展潛力，並因應大量離岸風電併網需求，高壓直流(High Voltage Direct Current, HVDC)輸電相較於高壓交流(High Voltage Alternating Current, HVAC)輸電具有長距離、低損失、無虛功率耗損之優勢，藉由本次出國研習，實地觀摩高壓直流(HVDC)電纜線路並參訪電纜製造廠，透過現場實地參訪、觀摩及雙方交流，瞭解高壓直流(HVDC)電纜線路規格，同時與日方保持良好互動，建立日後雙方進一步討論聯繫管道。

貳. 實習過程

本次出國參訪 J-Power 電源開發公司函館換流站、北海道電力公司北斗換流站及住友電工 Hidaka 及 Minato 工廠，實地參觀北海道~本州高壓直流(HVDC)線路及電纜製造相關設備。



圖 1 參訪人員合照

實習行程如下：

一、112 年 6 月 20 日(東京-北海道，夜宿北海道)

參訪北海道~本州高壓直流(HVDC)線路。(J-Power 電源開發公司)

二、112 年 6 月 21 日(北海道-東京)

參訪(新)北海道~本州高壓直流(HVDC)線路。(北海道電力公司)

三、112 年 6 月 22 日(東京)

研習高壓直流(HVDC)電纜線路及參訪工廠。(住友電工)

參. 實習內容

一、高壓直流(HVDC)介紹

本公司電力系統目前皆為交流電系統，而 HVDC 系統相較於 HVAC 系統具有輸電距離較長、線損較少及電網連接性較高之優點。隨著電力電子發展，將高壓閘流體轉換器(Thyristor Converter)技術應用到 HVDC 系統傳輸上，使得近期 HVDC 發展迅速，經國外統計 HVDC 及 HVAC 成本與距離之比較如圖 2。

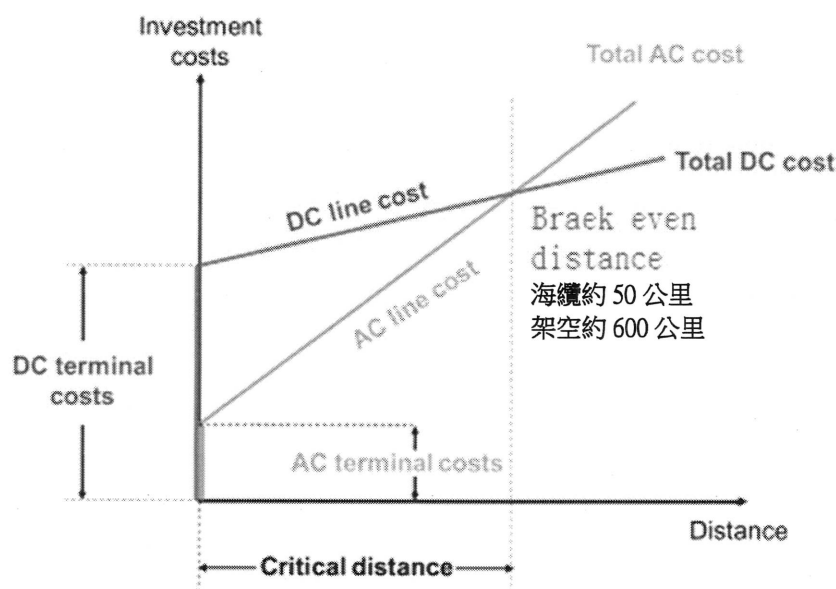


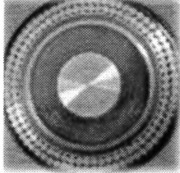
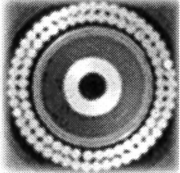
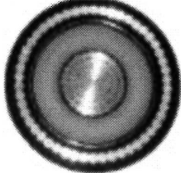
圖 2 HVDC 及 HVAC 成本與距離比較

(一) 直流電纜

直流電纜依絕緣材質可分為充油(Oil-Filled, OF)、黏性浸漬紙(Mass-Impregnated, MI)及交連聚乙烯(XLPE)等三種，介紹如下表 1。XLPE 直流電纜安裝簡單、接合快速，沒有漏油問題且可避免環境汙染。由於以上優點，使得此種電纜持續快速發展。惟 XLPE 直流電纜存有主要缺點，即易受空間電荷(Space Charge)效應影響絕緣層電場分布，導致電纜加速老化。在極性反向(Polarity Reversal)過程中，可能引起電場大幅提升造成絕緣破壞，所以通常 XLPE 直流電纜在 HVDC 系統只用在電壓源轉換器型(VSC)，不適用電流源轉換器型(LCC)，主要係因其可控制電

力潮流特色，在沒有改變電壓極性情況下，允許電力潮流反向。

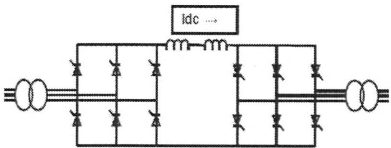
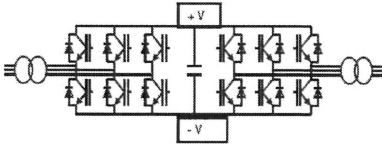
表 1 直流電纜比較表

項目	黏性油浸紙電纜 Mass-Impregnated Cable 	充油電纜 Oil-Filled Cable 	交連聚乙烯電纜 XLPE Cable 
使用電壓	600kV	600kV	525kV
運轉溫度	85°C	85°C	90°C
製造技術	成熟	成熟	快速發展中
敷設距離限制	無	受限長距離補油技術	無
敷設高低差限制	有	受限補油技術	無
環境汙染影響	輕微	嚴重	無
換流站型式	LCC 或 VSC	LCC 或 VSC	VSC

(二) 直流系統架構

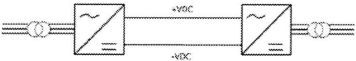
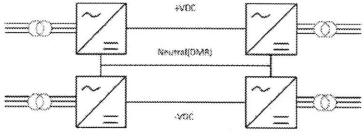
換流站為高壓直流系統關鍵設施，主要技術有二，一為線電壓換相轉換器(Line-Commutated Converter, LCC)或稱電流源轉換器(Current Source Converter, CSC)，另一種為電壓源轉換器(Voltage Source Converter, VSC)，比較如下：

表 2 LCC(或 CSC)與 VSC 比較表

	LCC 或 CSC 	VSC 
開關元件	閘流體(Thyristor)	絕緣閘雙極電晶體 (Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT)
諧波成分	高	低
濾波需求	高(占地較大)	低

電力潮流	改變電壓極性	改變電流方向
系統損耗	較低(約 2.5%~4.5%)	較高(約 4%~6%)
規格	高功率能力(大於 2GW)	低功率能力(小於 2GW)
系統成本	較低	較高

表 2 HVDC 系統架構比較表

項目	對稱單極 Symmetric Mono-Pole	雙極 Bi-Pole
系統架構		
換流站數量	2	4
電纜數量	2 (HVDC*2)	3 (HVDC*2+Neutral*1)
備註	主電路設備數量較少，常見於海底及地下輸電方案	不因故障導致完全停電

二、北海道~本州高壓直流(HVDC)線路

北海道~本州 HVDC 線路連結北海道 HVAC 187kV 電網及日本本州 HVAC 275kV 電網。1979 年完成第 1 期工程，線路容量 150MW，次年(1980 年)完成第 2 期工程，線路容量提升為 300MW；1993 年完成第 3 期工程，線路容量合計 600MW。前 2 期採用線電壓換相轉換器單級(LCC，mono-pole)架構，第 3 期工程完成後即為線電壓換相轉換器雙級(LCC，bi-pole)架構。為確保供電穩定，日本 2012 年完成第 1、2 期線路汰舊換新工程，線路容量維持 600MW。

本線路直流架空線長度約 124 公里(北海道 27 公里，80 座鐵塔；本州 97 公里，294 座鐵塔)，直流電纜長度約 43 公里，合計約 167 公里，中間跨越最大水深約 300 公尺津輕海峽；交流部分線路長度約 3.6 公里(北海道 0.8 公里，本州 2.8 公里)。

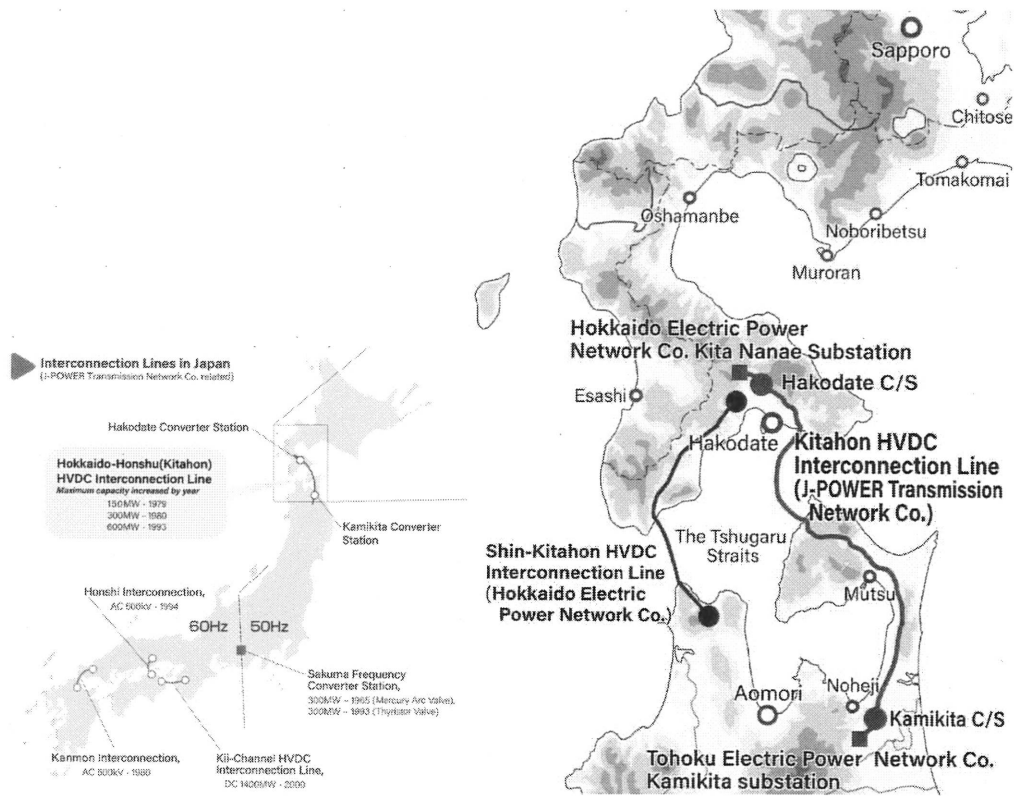


圖 3 北海道~本州 HVDC 線路圖

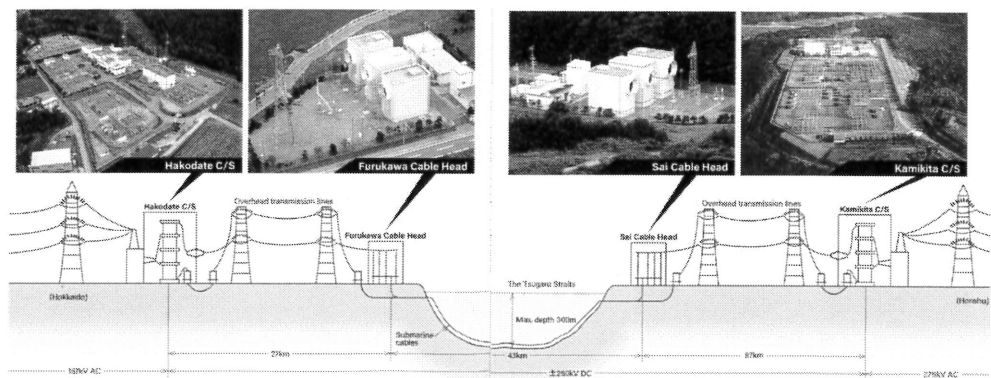


圖 4 北海道~本州 HVDC 線路概要

本線路相關 HVDC 設備介紹如下：

(一) 直流架空線：

1. 架空導線採用 810mm^2 ACSR，回流導線採用 240mm^2 ACSR。
2. 鐵塔標準塔高約 35 公尺，每座平均重量約 10 噸，與日本 154kV 級 HVAC 鐵塔幾乎相同規格。

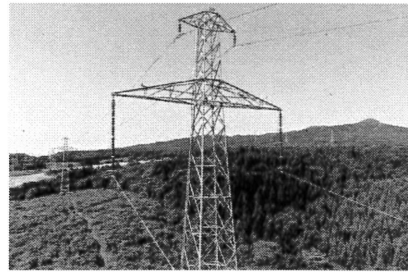
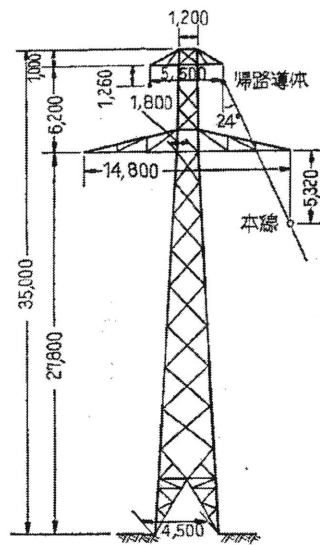


圖 5 HVDC 鐵塔圖

(二) 直流電纜：

1. 海纜部分採用內含光纖之 600mm^2 充油電纜及交連 PE 電纜(2012 年新建線路)，回流電纜則採用 500mm^2 交連 PE 電纜。
2. 陸纜部分採用 900mm^2 充油電纜及交連 PE 電纜(2012 年新建線路)，回流電纜則採用 $1,000\text{mm}^2$ 交連 PE 電纜。
3. 屋外型終端匣地點鄰近海岸，為避免鹽霧害影響供電品質，該終端匣採屋內型方式安裝，其瓷礙管長度約 8 公尺。

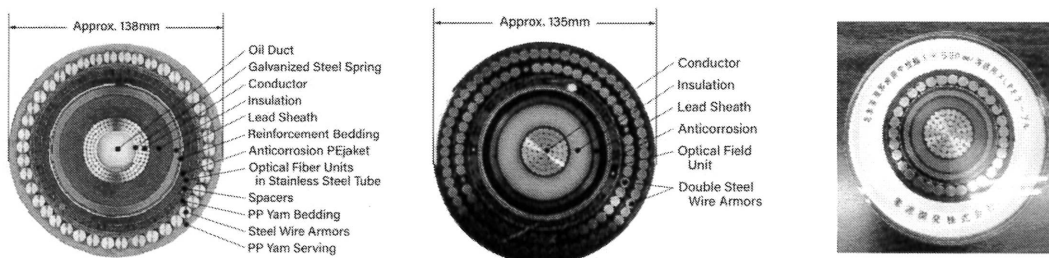


圖 6 HVDC 海纜(左至右：充油/交連 XLPE/回流電纜)

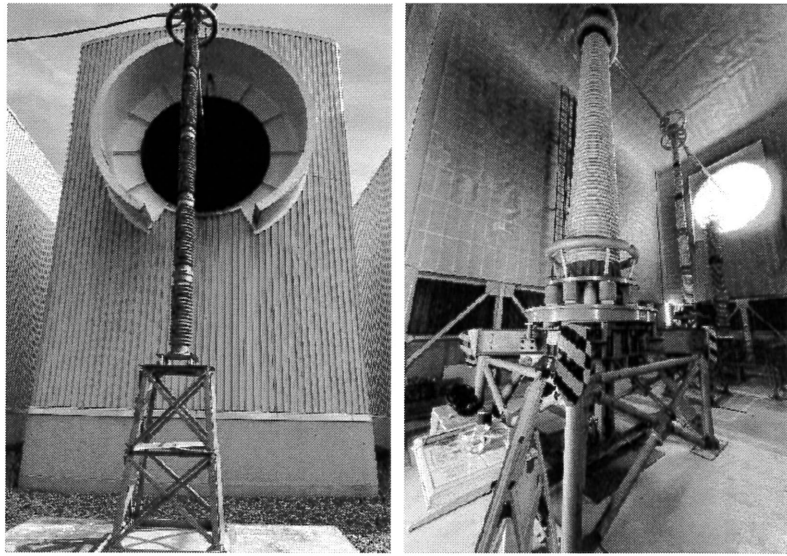


圖 7 HVDC 屋外型終端匣

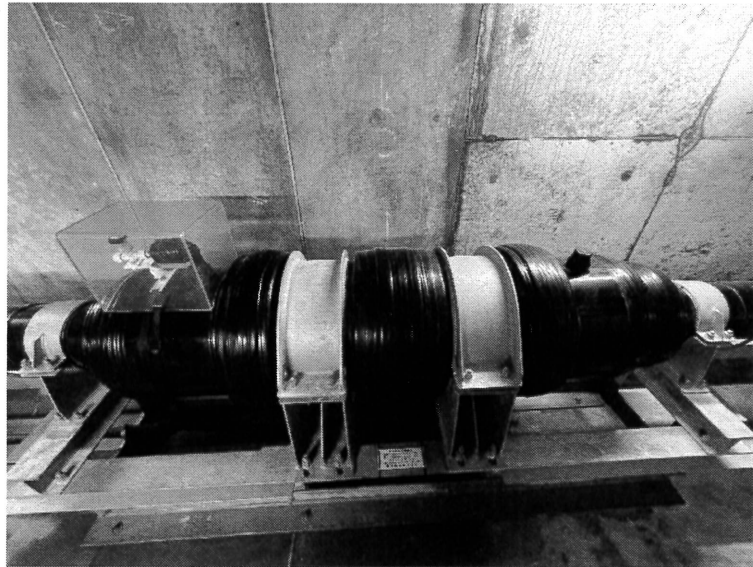


圖 8 HVDC 交連 PE 海陸纜接續匣

(三)換流站

1. 容量 600MW，額定電壓 $\pm 250\text{kV}$ ，額定電流 1,200A。
2. 函館換流站包含諧波濾波器、變壓器、閘元件室、直流電抗器等。進入閘元件室需著防塵鞋套及防塵衣。
3. 維護週期部分，例行性巡檢 1 次/1 年(停電天數約 5 天)；細部檢修 1 次/6 年(停電天數約 14 天)。

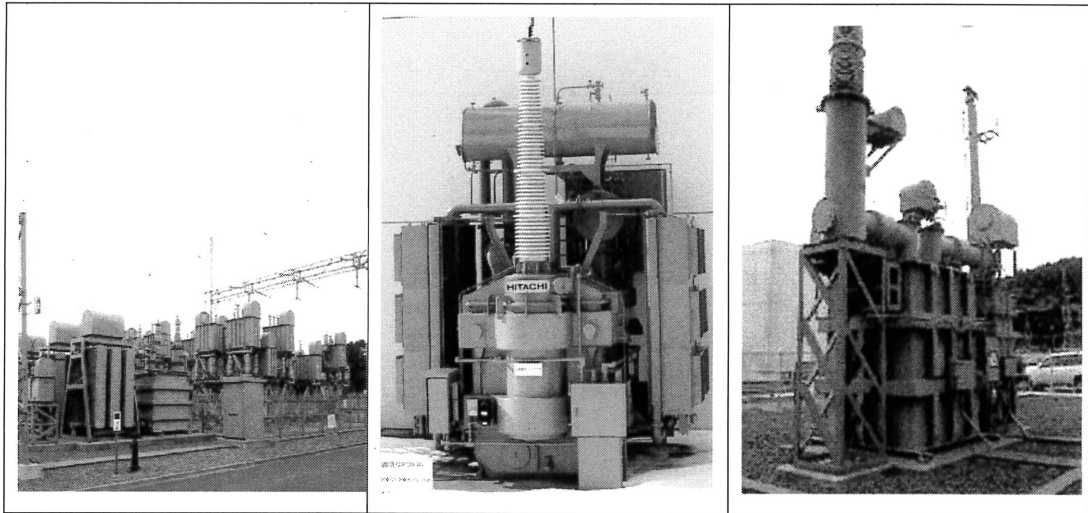


圖 9 HVDC 交流濾波器、直流電抗器、直流濾波器(左至右)

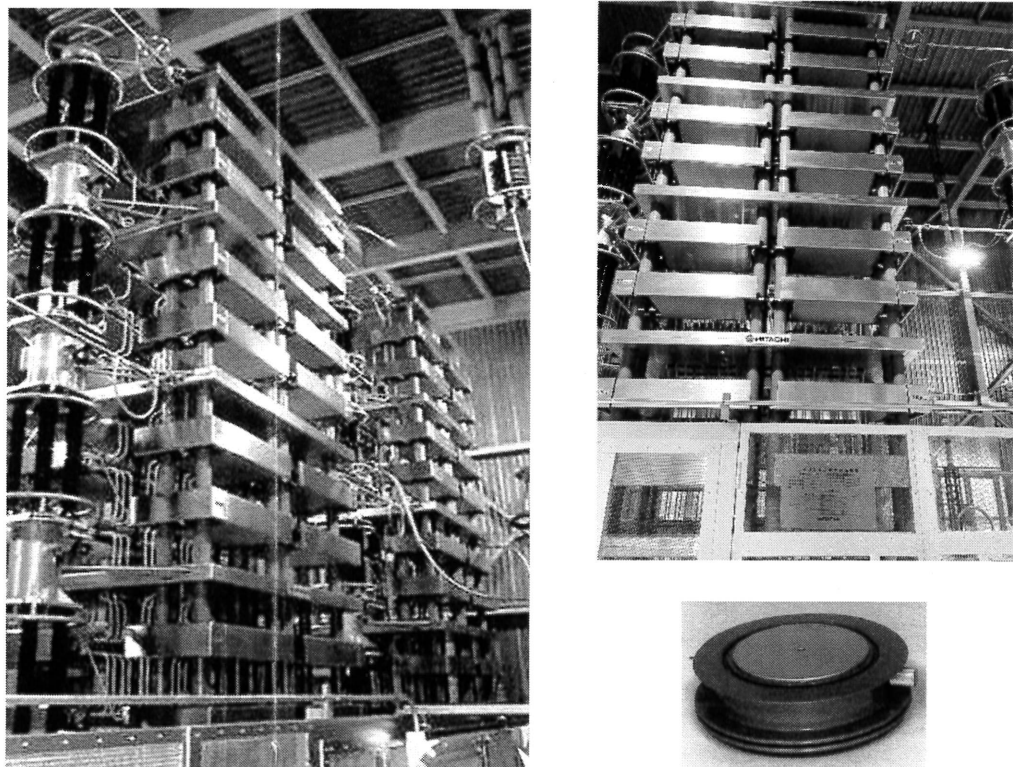


圖 10 HVDC 閥元件室及閘流體元件(右下)

(四)日本 2012 年完成汰舊換新工程，將運轉逾 40 年 DC 充油海纜抽除，相關海纜照片如下：

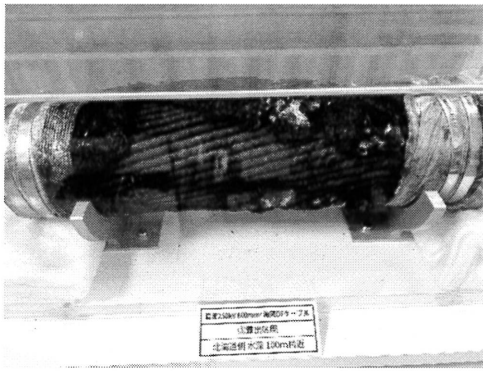


圖 11 汰換前充油海纜(水深 100m)



圖 12 汰換前充油海纜(水深 200m)

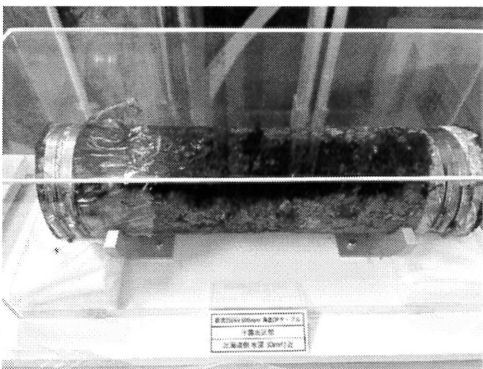


圖 13 汰換前充油海纜(水深 30m)

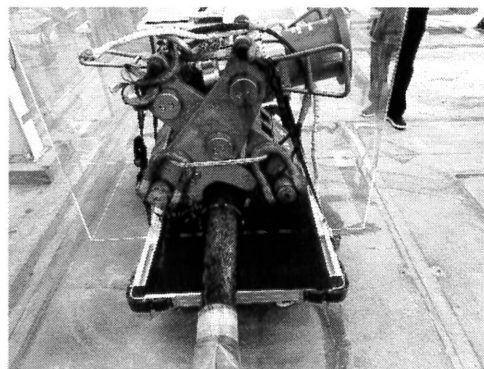


圖 14 海纜切斷器

三、新北海道~本州高壓直流(HVDC)線路

為提升北海道電壓及頻率穩定度，北海道電力公司於 2019 年完成線路容量 300MW，電壓源轉換器單級(VSC，mono-pole)系統之新北海道~本州 HVDC 線路，中間跨越最大水深約 300 公尺津輕海峽部分採用鐵路共架方式，降低海事工程風險。

本線路直流架空線長度約 98 公里(北海道 77 公里，205 座鐵塔；本州 21 公里，64 座鐵塔)，直流電纜長度約 24 公里，合計約 122 公里。

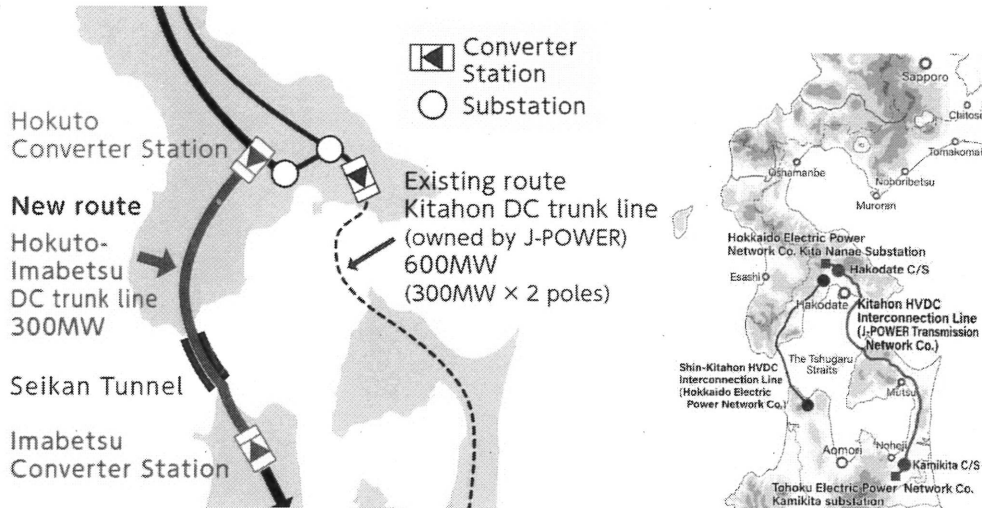


圖 15 新北海道~本州 HVDC 線路圖

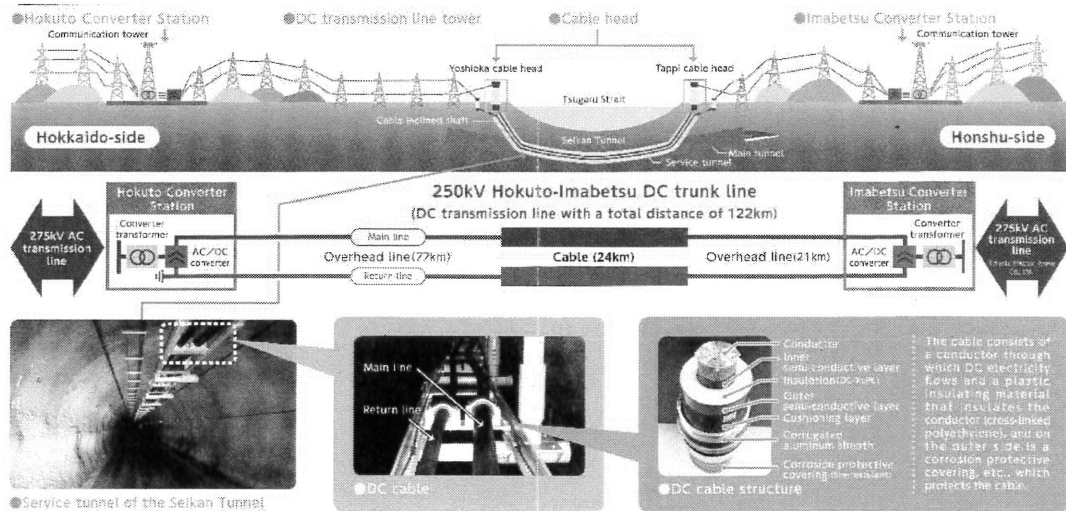


圖 16 新北海道~本州 HVDC 線路概要

本線路相關 HVDC 設備介紹如下：

(一) 直流架空線：

架空導線採用 810mm^2 ACSR，回流導線採用 410mm^2 TACS，地線採用 OPGW 170mm^2 。

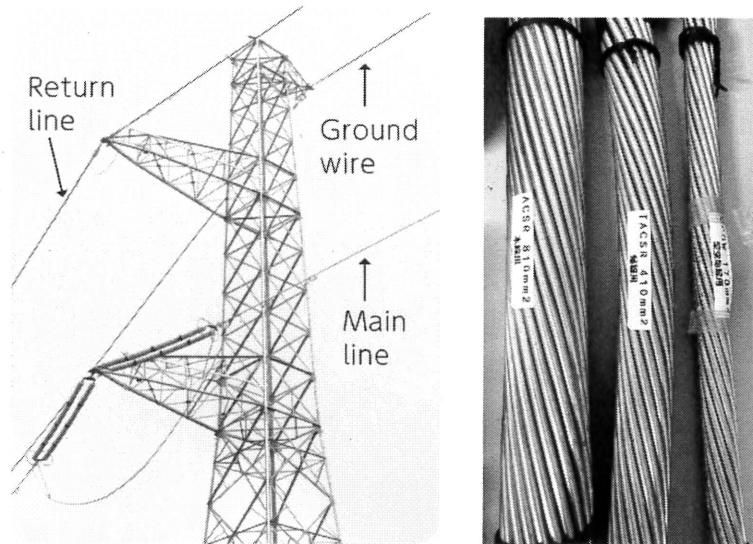


圖 17 HVDC 鐵塔及架空導線

(二) 直流電纜：

1. 依佈設條件採用 800、1000 或 1500mm² 交連 PE 電纜。
2. 屋外型終端匣地點鄰近海岸，為避免鹽霧害影響供電品質，該終端匣同樣採屋內型方式安裝。



圖 18 HVDC 電纜及屋外型終端匣室

(三) 換流站

1. 容量 300MW，額定電壓+250kV，額定電流 1,200A。
2. 北斗換流站面積約 34,000m²(170m*200m)，包含開關設備、變壓器、閥元件室(約 50m*50m*17m)等。進入閥元

件室需著防塵鞋套及防塵衣，另為減少無線電干擾，內部以金屬材質屏蔽。

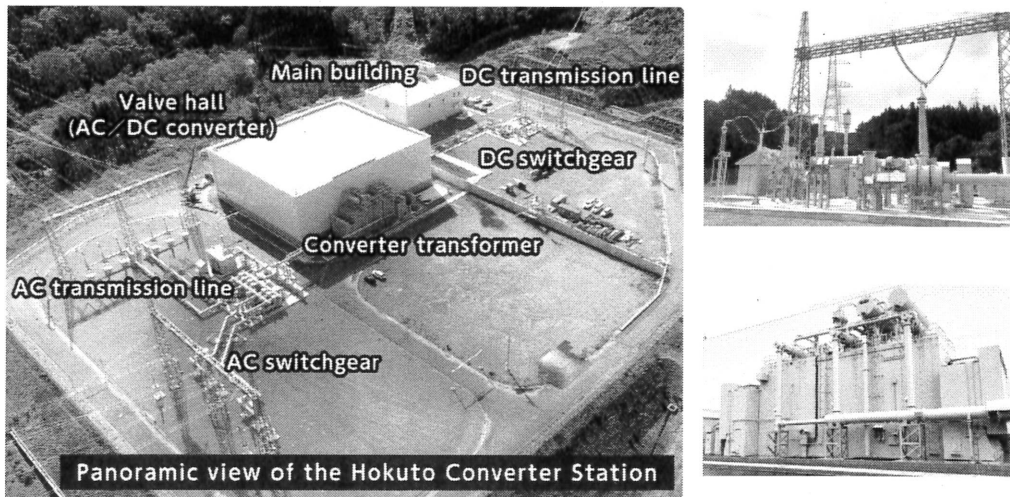


圖 19 HVDC 換流站配置、直流開關(右上)、變壓器(右下)

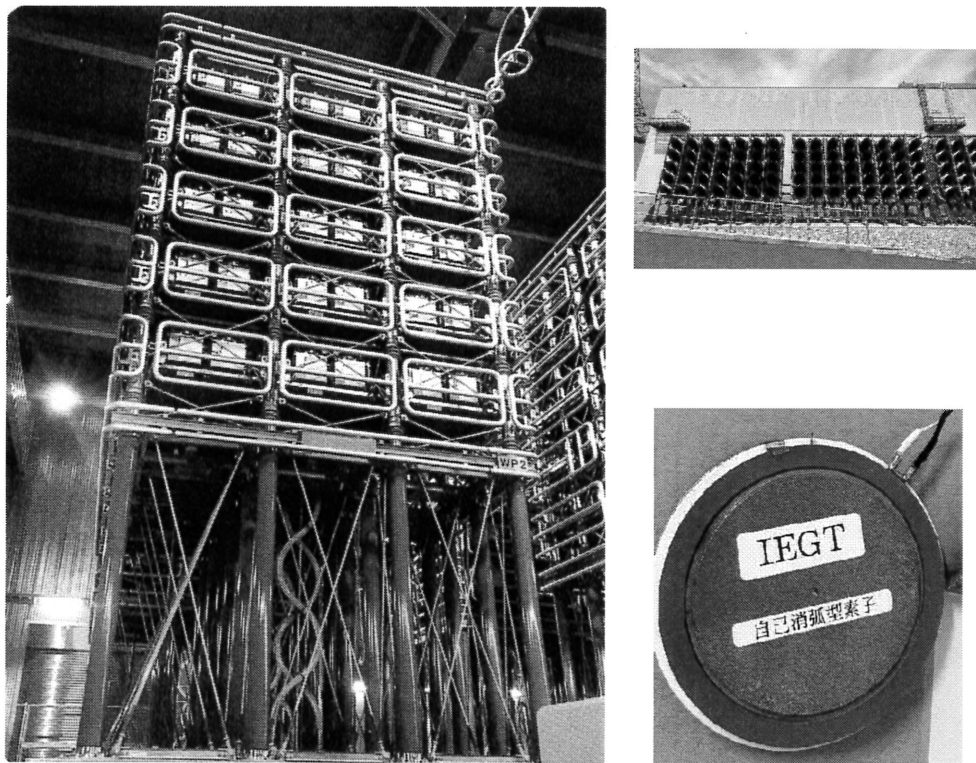


圖 20 HVDC 閥元件室、散熱風扇(右上)及閘流體元件(右下)

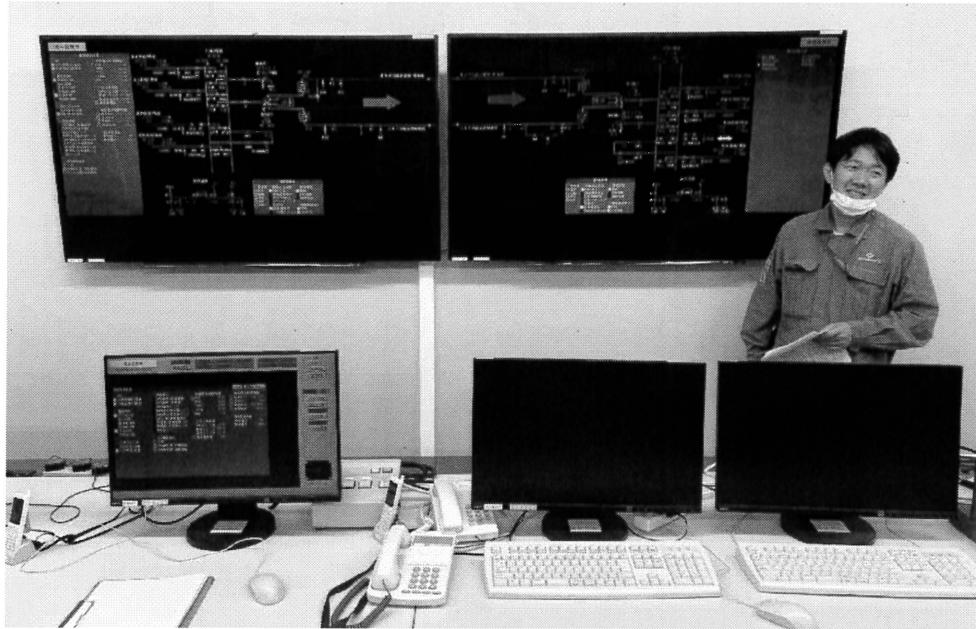


圖 21 北斗換流站 HVDC 監控畫面

四、工廠參訪

住友電工 HITAKA 工廠及 MINATO 工廠皆位於日上市，HITAKA 工廠主要生產電纜及附屬器材；MINATO 工廠主力產品為海纜。

本次參訪正值 MINATO 工廠產製英國~愛爾蘭 GREEN LINK HVDC 線路工程海纜，該線路容量 500MW，採電壓源轉換器對稱單級(VSC, mono-pole)架構，電壓等級 DC 320kV，線路長度約 189 公里，海纜長度約 160 公里，陸纜長度約 29 公里。據日方技術人員表示該案海纜採鋁導體設計，並進一步說明在相同容量需求條件下，鋁導體截面積大約為銅導體 1.6 倍(仍應視實際條件計算)，惟整軸成品重量仍低於銅導體，考量海纜長度及船舶乘載重量，該案採鋁導體設計有其必要。

另本次與日方技術人員研討過程，其依本公司日前提出線路容量 1,500MW，採電壓源轉換器對稱單級(VSC, mono-pole)架構，線路長度 80 公里之案例估算結果，建議 DC 400kV 海纜截面積 2000mm² 為最佳(經濟)方案，但因相關海床、土壤等條件未知，僅就一般設計條件與經驗估算。

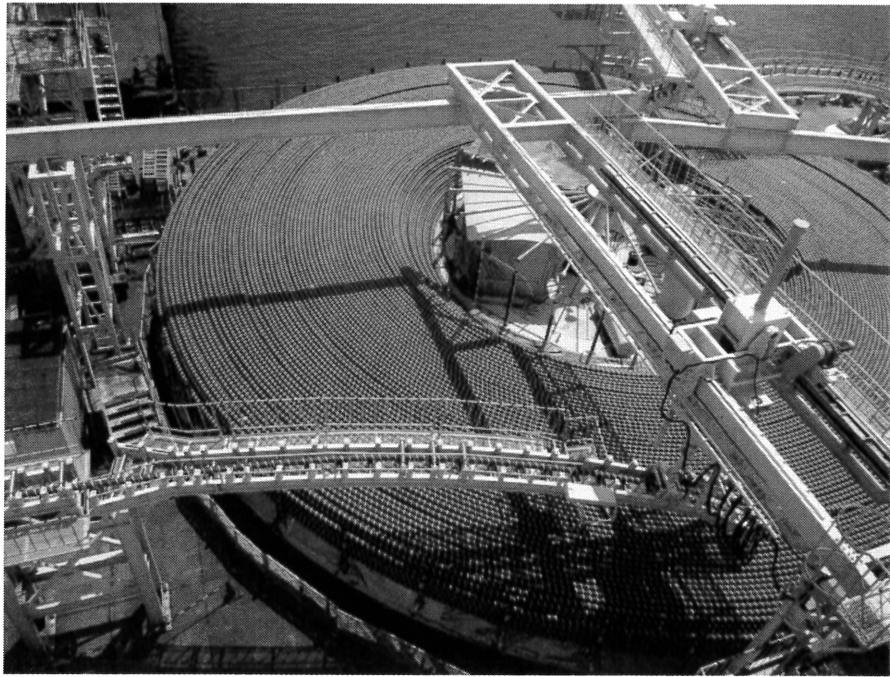


圖 22 MINATO 工廠海纜裝載示意圖



圖 23 HVDC 電纜

肆. 行程感想與建議事項

近年本公司配合政府政策推動再生能源，產生大量併網需求，而 HVDC 長距離輸電低損失，無虛功率耗損之優點，提供電網規劃選項。本次行程安排實地參訪北海道~本州 HVDC 線相關設備，並與日方技術人員交換意見，發現 HVDC 關鍵技術為電力電子元件，需權責部門持續投入研究，以利公司後續 HVDC 推展。

參酌北海道~本州 HVDC 線案例，本公司興建 HVDC 線路需考量換流站所需用地問題。此外，臺灣沿海鹽霧害嚴重，涉及屋外型端匣同樣需興建建築物包覆，此點亦增加線路規劃難度。有關漁業協商部分，北海道~本州 HVDC 線在第 1 期工程進行海域調查作業前即啟動漁業協商，並於協商確定方開始製造電纜，降低施工風險。

本公司目前就 HVDC 規劃案正跨單位檢討中，無論採陸纜或海纜佈設，就施工面均技術可行，惟西部海岸需克服跨越其他管纜線挑戰，且國內尚無 HVDC 經驗，為加速提升本公司 HVDC 技術，建議由公司研究單位委託專業廠商蒐集相關規劃、設計、施工、運維技術資料，並針對公司系統特性及法令規定、工程可行性與建置成本等面向，綜合評估後提出最經濟可行方案。

本次現場參觀住友電工 HITAKA 工廠時，發現部分電纜設備操作開關旁貼有 A4 紙張大小圖畫，洽詢日方人員表示為強化工安意識，舉辦員工家屬繪畫活動，透過家人繪畫作品貼在設備旁，提醒操作人員落實標準作業程序，降低意外發生。公司或可納入參考，請電廠設備操作人員家屬提供繪畫作品，張貼在各自負責工作區域，強化工安意識，避免發生意外。