

出國報告（出國類別：考察）

參訪日本智慧電網、再生能源及海纜之建構與模擬

服務機關：台灣電力公司

出國人員：

姓名	服務單位	職稱	電話	出國計畫
李清雲	系統規劃處	副處長	23666892	100 年度出國計畫第 109 號
周浩龍	系統規劃處	課長	23666912	100 年度出國計畫第 109 號
莊才德	業務處	課長	23666704	100 年度出國計畫第 101 號
黃建民	供電處	主辦	23666588	100 年度出國計畫第 016 號

派赴國家：日本

出國期間：100 年 12 月 11 日至 100 年 12 月 17 日

報告日期：101 年 1 月

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參訪日本智慧電網、再生能源及海纜之建構與模擬

頁數 61 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/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

李清雲	台灣電力公司	系統規劃處	副處長	2 3 6 6 6 8 9 2
周浩龍	台灣電力公司	系統規劃處	課長	2 3 6 6 6 9 1 2
莊才德	台灣電力公司	業務處	課長	2 3 6 6 6 7 0 4
黃建民	台灣電力公司	供電處	主辦	2 3 6 6 6 5 8 8

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他：開會

出國期間：100 年 12 月 11 至 12 月 17 日

出國地區：日本

報告日期：101 年 1 月

分類號/目

關鍵詞：智慧電網、再生能源、分散型電網、智慧型微電網、儲能設備、靜態型同步無效電力補償器(STATCOM)、超高壓直流(HVDC)、海底電纜、電力調整系統(PCS, Power Conditioning System)、特殊保護系統(SPS)、暫態穩定度控制、電壓穩定度控制

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、智慧電網與再生能源發電的整合為現代電網發展之趨勢，包括發電、輸電、配電和用電各環節的電力系統為對象，藉由用電端到發電端資訊的蒐集、管理與應用及電網控制，以實現資訊的智慧交流。本次赴日本參訪智慧型電網與再生能源整合運用，與日方進行交流，可藉配電及輸電系統與智慧電網間之介面與關連性，獲得智慧電網運與電池儲能用的新科技知識概念及技術能力。
- 二、本次參訪中部電力千代田基幹調度所，了解其全球第一套發展 TSC 系統。其建置目的係當系統發生故障時(70%為落雷引發)，快速切斷部分發電機組(即限制電源)，以避免機組失步引發大規模停電。該系統分為三個單元，分別為中央處理單元(TSC-P)、故障偵測單元(TSC-C)及機組跳脫單

元(TST-T)，TSC-P 透過線上取得最新運轉資訊，每 30 秒分析系統可能事故狀態，決定最適跳脫機組避免暫態不穩定，一旦事故發生後，根據最新分析決策，在 150ms 之內透過 TSC-C 及 TSC-T 完成跳脫機組動作，確保系統暫態穩定。

三、海底電纜深埋於海床底下，其埋深的選擇與考量，海底電纜防蝕與防外傷的考量、海洋調查項目、埋設路徑選定，海底電纜登陸段結構型式與如何保護登陸段海纜並縮短施工工期、海纜的巡視、點檢頻率與內容，海底電纜對於海洋潮流保護工法，希望能提供本公司同仁運用參考。

參訪日本智慧電網、再生能源及海纜之建構與模擬

目錄

壹、感想與建議.....	1
貳、出國緣由.....	6
參、出國行程.....	7
肆、參訪紀要.....	9
一、智慧電網.....	9
(一)智慧電網之定義.....	9
(二)智慧電網之發展方針.....	11
(三)智慧電網之應用.....	12
(四)SVC 靜態電力補償器之運用.....	14
(五)日本智慧電網的方向與藍圖.....	15
二、再生能源與儲能系統.....	18
(一)儲能系統的種類.....	19
(二)電力系統的電能儲能需求.....	26
(三)配電系統之運用與發展.....	30
(四)實例說明.....	30
三、日本中部電力公司系統模擬與控制.....	35

(一)中部電力公司電業概要.....	35
(二)中央調度指令所主要功能.....	35
(三)基幹調度控制所主要功能.....	36
(四)運轉操作.....	36
(五)中部國際空港之供電方式與海纜設備探討.....	37
(六)系統穩定性在線維持系統(TRANSIENT STABILITY CONTROL SYSTEM)	39
(七)稻永系統解析中心(POWER SYSTEM ANALYSIS CENTER)	40
(八)名城地下變電所參訪.....	41
四、海底電纜之施工與維護.....	42
(一)概述.....	42
(二)海底電纜維護巡視與點檢.....	44
(三)事故復舊對應.....	45
(四)海纜埋設方法介紹.....	46
(五)埋設機.....	48
(六)海纜埋深考量.....	49
(七)海洋調查項目.....	49
(八)問題提問與回答.....	54

壹.感想與建議

- 一、感謝公司能給予此次公務出國機會，本次出國由系統規劃處、供電處及業務處共同組成，成行前即依出國主題，積極接洽出國行程，不斷的與相關人員連絡確認、辦理相關手續，並與同行出國同仁開了幾次行前會，考量每個環節、每個細節。在抵達日本後，發現日本人在這方面他們考量與安排相當務實，這些技術經驗外的事物，更值得我們去學習與效法。
- 二、智慧電網為未來電網發展趨勢，世界各國除利用先進電力電子設備及監控技術等硬體設備建構健全電力網，以廣納再生能源或分散型電源、提升供電品質外，更須整合各資訊管理介面與加強發、輸、配及用戶用電等資訊管理，提高電力使用效率。
- 三、日本六所村智慧型微電網之實驗計畫係由日本風力發展協會結合相關設備廠商及用戶等協商建構，此發展模式值得國內仿效。國內之發展模式可由地方政府或能源局選擇適當地點並結合國內電氣設備製造商、汽車製造商、建築商等廠商及民眾共同參與合作，此除可教育民眾對節能用電之認識外，亦可發展實用型且有效率之微電網架構。
- 四、為降低再生能源等不穩定電源對電力系統之衝擊，可在頻率及電壓兩方面適度限制。通常為符合電力公司要求，再生能源業者可配合檢討裝設儲能設備緩和整體電力輸出變化量以控制頻率；增設無效電力補償設備如 SVC/STATCOM，以穩定電壓。
- 五、日本東北電力公司限制風力電場電力輸出 20 分鐘內變化量需在 10% 以內，故連接於該公司之遊佐風場(7 台機組每台容量 2MW)須增設電池儲能系統，以符合規定緩合電力輸出變化率。該措施值得本公司離島如金門、馬祖等地區設立風力發電機、太陽能發電之借鏡。

- 六、目前日本儲能設備多與不穩定分散型電源結合，東北電力公司甚至限制風場電力輸出變化，迫使風場業者增設儲能設備，此作法值得本公司參考。為達此目的，需結合全系統發電機之 AGC、預估再生能源容量及監測再生能源電力輸出變化量，審慎檢討合理電力輸出變化比率，列入再生能源併聯技術要點內要求業者遵守。
- 七、併接於配電系統之再生能源或分散型電源，易因高壓端系統發生故障而導至低壓端之配電系統電壓過低，使轄區內再生能源或分散型電源同時跳脫，若數量大將造成系統穩定度問題，須利用電力調整系統或規定發電機組需具備低電壓持續運轉能力(LVRT)因應，目前再生能源併聯技術要點配電系統並無此規定，可考量國外作法列入相關規定。
- 八、台電電網地下電纜比率偏高，易造成系統電壓過高問題，除須在輸電系統裝設無效電力補償設備外，配電系統未來亦可考慮引用，尤其在分散型電源大量併入後更需詳加檢討。目前日本正發展配電系統無變壓器 SVC，可減少設備體積及重量，值得本公司配電系統檢討使用。
- 九、日本名古屋市人口與用電量均小於台北市，但市區內有 5 座 (275kV/154kV)超高壓變電所(相當台電 345kV/161kV 超高壓變電所)，反觀台北市迄今僅完成 1 所仙渡超高壓變電所，用電量大之地區易出現供電瓶頸，形成供電困難，值得利用機會向台北市政府及民眾舉例說明。另中部(名古屋)國際機場亦僅由同一變電所引供，並未採行不同變電所供電，若有事故則由用戶配置之自備發電設備因應，此措施應可提供國內桃園國際機場參考採用。
- 十、中部電力公司系統運轉穩定措施係開發一系列特殊保護系統作為防範機制，包括暫態穩定度控制(TSC)、電壓穩定度控制(VQC)、系統穩定性控制(SSC)及過載因應對策，其中 TSC 分為中央處理單元

(TSC-P)、故障偵測單元(TSC-C)及機組跳脫單元(TST-T)，TSC-P 透過線上取得最新運轉資訊，每 30 秒考量 N-1、N-2 及負載遽變狀況進行系統及指令動作分析，決定最適跳脫機組避免暫態不穩定，一旦事故發生後，根據最新分析決策，在 150ms 之內透過 TSC-C 及 TSC-T 完成跳脫機組動作，確保系統暫態穩定。

十一、中部電力為求決策之正確性，其 TSC-P 係分由 Hitachi 及 Toshiba 兩公司建置個別主機系統，進行結果比對，當兩套設備所得結果不一致時，將採行總跳機容量較大者，以確保系統高可靠度，其跳機邏輯與本公司要求機組跳脫越少越佳之思考方向不盡相同，值得本公司相關單位研究參考。

十二、為確保再生能源併網系統安全可靠穩定運轉，應密切注意再生能源設備與併網技術之最新發展及導入各項研究成果，在考量台灣環境及系統安全下，審慎因應調整配電系統結構，並應結合產業界開發家庭能源管理系統(HEMS)，於低壓 AMI 先導計畫進行驗證，提升 AMI 效益作為未來需量反應的先期計畫。

十三、配合未來研究計畫及國科會計畫積極進行變電所虛擬電廠的效益評估，探討世界最新儲能技術、儲能系統的容量(佔比)及充放電策略與 SVC 靜態電力補償器運用於配電系統之可行性，以提升再生能源併網容量及供電可靠，循序漸進實現智慧電網的構想。

十四、海底電纜路徑選擇佔了相當重要的因素，若能於事先完善的調查海底地形、潮流、海底生態、海洋航線、漁船作業範圍等，預先規劃最佳路徑，即能免去將來維護產生問題以及減少對海洋生態的衝擊，報告中提及之海洋調查項目，希望能提供先期規劃設計單位參考。

十五、海底電纜後續的維護巡視、點檢及故障搶修將會對供電單位是一

大考驗，誠如報告中所述，海纜故障點的維修需要有特別的船(布設台船)以及熟練海纜切除工作技巧的潛水夫，還要有船上配合作業人員，海底電纜及相關器材的備料等等，這一切對於供電系統來講並沒有相關經驗與設備，是全新的考驗，建議公司可於海纜建置完成前，辦理相關的維護巡視、點檢以及故障搶修等人員教育訓練，必要時委請外國技師授課；相關器材的購置亦應一併配合，避免將來維護時囿於技術及設備而受制於外國廠商。

十六、海纜埋深的設計，依預估可能之船舶重量及錨重，設定足夠埋深，避免錨鈎/拖網損傷，海纜埋深設定須先行評估，並加上施工後因潮流影響之地形變化值。

十七、近岸端可以採用中部國際機場連絡線的方法，在近岸端海纜登陸段採用預鑄混凝土節塊工法或鋼管保護工法，其預鑄混凝土節塊於工廠製造可達完善養護，其品質易於控制，且可縮短施工時程，電纜安裝於預鑄節塊內可獲得良好保護亦可免去維護困擾。

十八、海纜鐵線鎧裝耐腐蝕及耐外傷，應考量採較嚴苛等級，因為本公司於海纜維護部分經驗技術缺乏，採較嚴苛等級(日本方面為二重鐵線鎧裝)可避免將來維護困擾。

十九、本次參訪行程包括了千葉風場的參訪，其風車設於近岸堤防外，吊車等施工重機具可及之處施工較海上方便，另可避免佔據土地，其在風車兩邊亦增設護堤，該護堤可提供施工機具站立用，也可將海浪對於風車的衝擊消弱，保護風車基礎。

二十、日本大企業肯投資於再生能源利用技術的開發，例如日立公司開發的風車、太陽能光電、蓄電池、智能電網整合資訊控制等，其眼光是長遠的，也是為了愛地球與環保。反觀我國，這些投資還有賴政府的扶植與相關法令的配套，期望我國在綠能產業能有進

展並擁有自己的技術，也能為地球環保盡點心力。

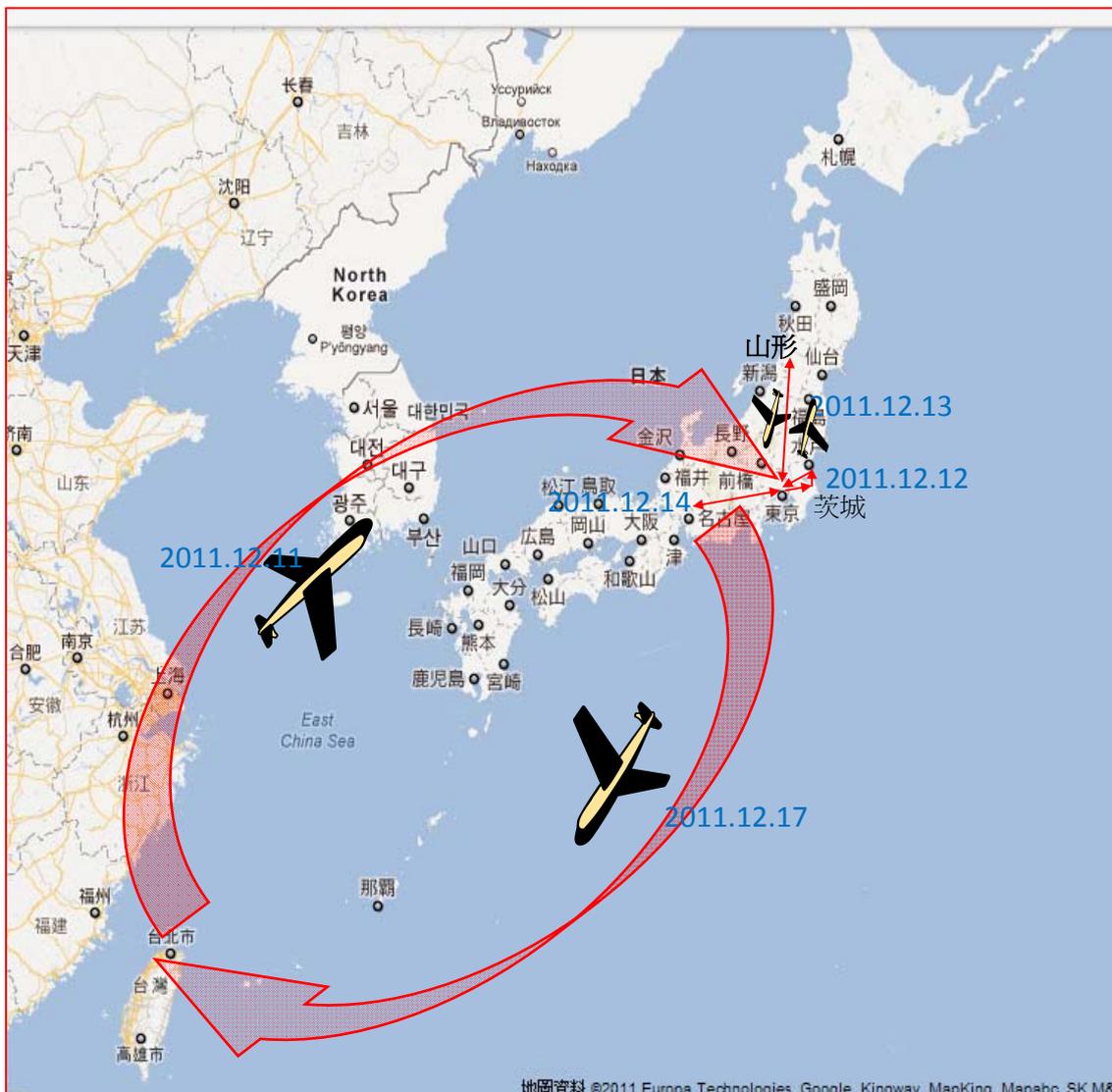
貳、出國緣由

- 一、近年來再生能源及資通訊發展技術日益精進成熟，致使智慧電網概念在配電系統電壓層級實現的機會愈來愈高，為與國際接軌並引進新科技等相關知識及技術，藉由參訪先進國家進行交流機會，以提升技術能力，加強策略性知識管理。日本方面，對於再生能源併網分析及電池儲能與智慧電網整合技術已有案例值得參考(如茨城縣日立市、青森縣六所村等)，借鏡日方實際建置及運作經驗，以及儲能系統技術發展過程與結果，進行交流。
- 二、中部電力千代田基幹調度所建置全球第一套暫態穩定度控制系統，其目的係當系統發生故障時(70%為落雷引發)，快速切斷部分發電機組(即限制電源)，以避免機組失步引發大規模停電，可即時監測系統資料經模擬檢討建立決策表，當系統發生類似事故可快速跳脫發電機，以確保系統，其作法值得本公司去參訪學習。
- 三、海底電纜的建置除了可提供離島穩定供電外，也可將離島蘊藏豐富之再生風力能源傳回本島使用，為配合政府政策及因應離島地區負載成長，本公司乃籌措興建二回線 161kV 台灣~澎湖海纜，期能將此一豐富再生能源充分利用並滿足離島地區之用電需求，海底電纜的設計施工與維護本公司並無相關實務經驗，藉由本次的參訪，得到日本中部電力公司所提供中部國際空港連絡線海纜建置維護技術經驗，供未來海纜建置規劃、運轉維護參考。

參、出國行程

本出國計畫自 100 年 12 月 11 日至 100 年 12 月 17 日前往日本東京及名古屋等地區，參訪電業機構包含千葉神栖洋上風力發電、茨城日立大沼工場智能電網、遊佐風力發電場、新神戶電池公司，並拜訪中部電力公司等電力公司，以了解日本再生能源系統模擬、分散型電源智能電網建構及海纜建置運轉情況，吸取其相關技術經驗。出國期間合計為 7 天，詳細行程如圖一，說明如表一。

圖一：參訪日本東京及名古屋地區電業機構時程示意圖



一、行程(100.12.11~100.12.17)

日期	天數	起迄地點	內容
12/11(日)	1	台北->東京	移動
12/12(一)	1	東京->茨城	1. 日立公司拜訪 2. 神栖洋上風力視察 (千葉風場)
12/13(二)	1	東京->茨城	1. 日立大沼工廠參訪 2. JPS 海纜製造工廠參訪
12/14(三)	1	東京->遊佐 ->名古屋	遊佐風場視察
12/15(四)	1	名古屋->名張 ->名古屋	1. 蓄電池工廠參訪 2. 中部電力名城變電所參訪 3. 中部電力拜訪
12/16(五)	1	名古屋	1. 中電工務技術部拜訪(海纜工事說明) 2. 中電千代田大樓參訪 3. 中電稻永 PSA 中心參訪
12/17(六)	1	名古屋->台北	返國

肆、參訪紀要

一、智慧電網

(一)智慧電網之定義

電力系統需具備高品質(High Power Quality)、高可靠度(High Reliability)、高效能(High Energy Efficiency)特性。

所謂高品質包含有下列項目：

1. 電壓、頻率穩定控制
2. 暫態穩定度控制
3. 再生能源與分散型電源之協調應用

高可靠度包含有：

1. 縮短停電時間
2. 減少停電次數
3. 電網適應及自癒控制

高效能包含有

1. 減少輸配電系統損失
2. 資產及投資最佳化
3. 輸配電設備投資擴建效益與連續性
4. 設備使用效率

智慧電網之定義為電網藉由用電資訊管理、先進控制技術及設備應用，

併入大量、廣域的綠色能源，提供更高品質、更有效率的電力供應，達節能減碳目標。

智慧電網涵蓋發電、輸電、配電及用戶等系統，在資訊與通信架構有下列項目：

1. 電表資料管理
2. 設備管理
3. 效率管理
4. 安全保護
5. 狀態評估
6. 減少線路損失
7. 再生能源併聯
8. 需量反應
9. 用戶服務
10. 節能服務
11. 配電與分散型電源管理

在電網發電架構方面有下列項目：

1. 電力系統穩定器（PSS）
2. 變速抽蓄機組
3. 儲能系統

在輸電架構方面有下列項目：

1. SVC、STATCOM

2. HVDC

3. 彈性交流系統

在配電架構方面有下列項目：

1. SVR、SVC、STATCOM

2. 迴路控制器(LBC)

3. 非晶合金鐵心變壓器

在用戶端方面：

1. 電力調整控制

2. 電動車充電

(二) 智慧電網之發展方針

智慧電網為各國致力推動之建設，為達節能減碳之目的，都訂有發展方針，日本之發展方針如下圖所示，近期以發展顧客資訊服務系統、

配電管理系統、

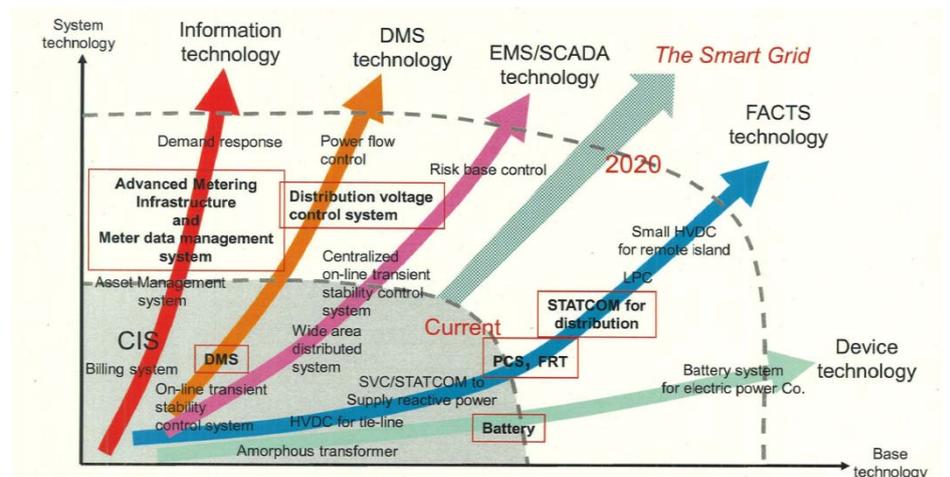
廣域分散電源、

穩定度控制系

統、無效電力補

償設備

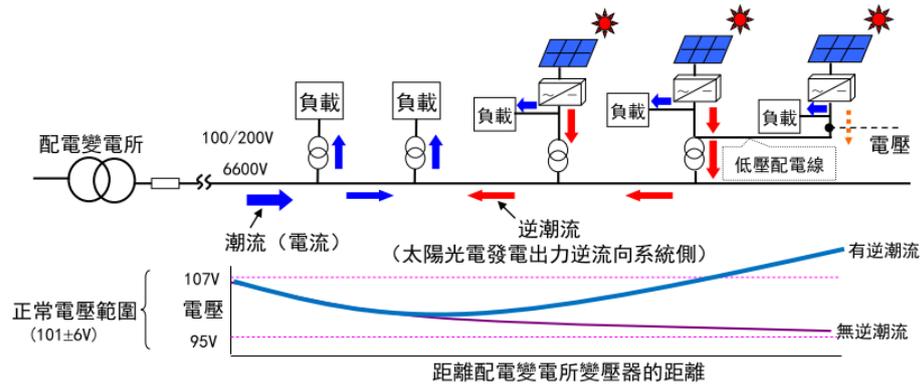
及電池儲能系



統等方面。

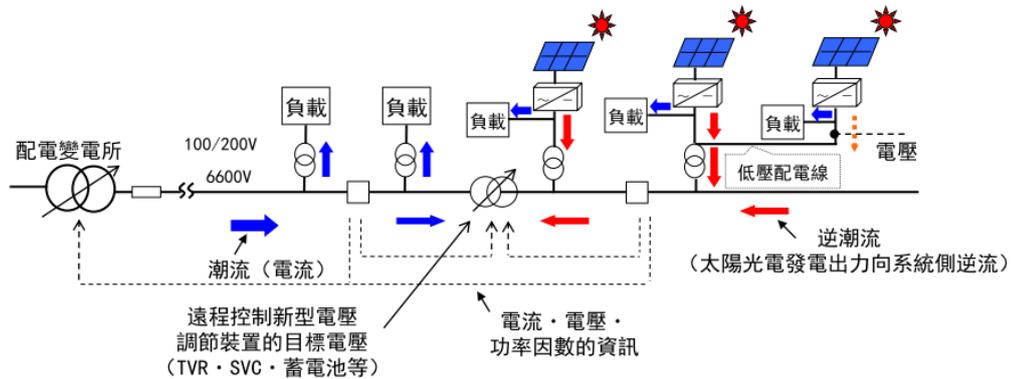
(三)智慧電網之應用

以日本方面為例，面對大量太陽光電，併入配電網輸出之逆送電力



來源：第2次關於低碳電力系統的研究會（2008年8月8日）

© 2011 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.



© 2011 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

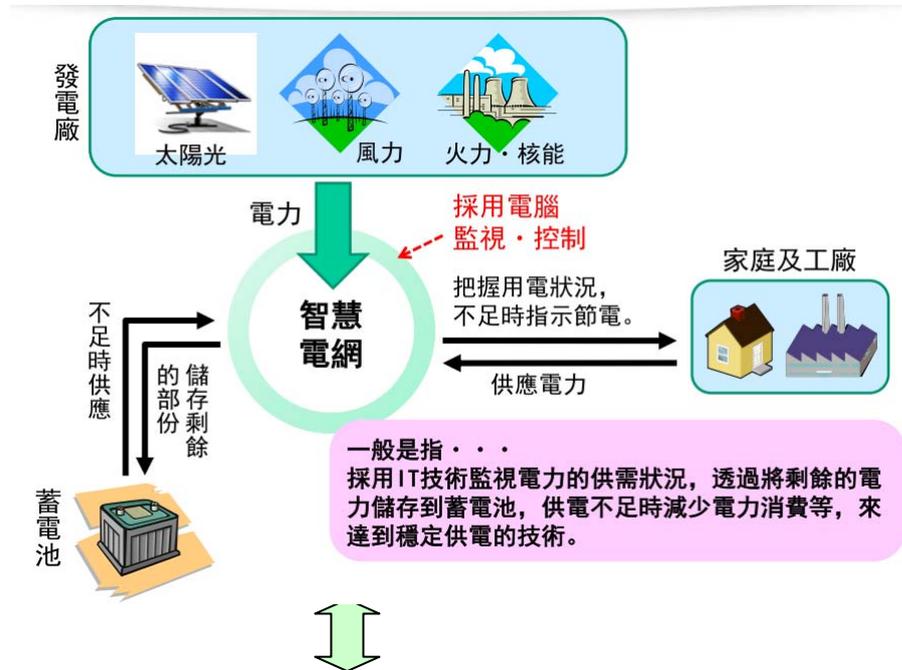
8

因隨天氣而發生變化，一般電壓控制裝置的反應速度過慢，無法及時維持於標準電壓範圍內，可能導致電壓品質問題。台灣配電系統與日本最大差異，在於配電饋線之線路長度較短，且各用戶間之桿上(地下)變壓器均附有電壓分接頭，對於線路長度較長之線路亦裝設有電容器，除作為虛功補償外，亦有電壓調節之功效，但對於及時維持於標準電壓範圍之控制，現階段之設備尚無法達成。

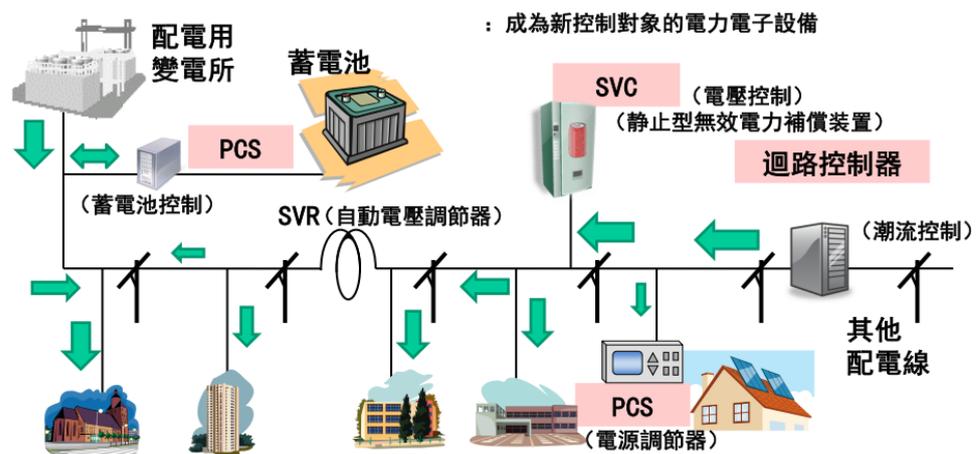
為預防大量再生能源併網產生之電力品質問題、提升再生能源併網的

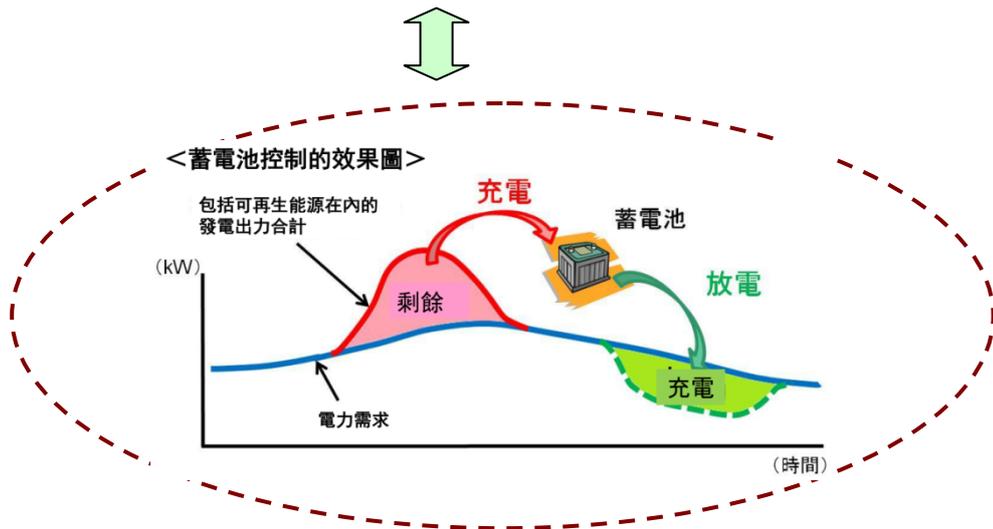
滲透比率及穩定性，並助於未來智慧電網的實現。日本方面已計劃導入可高速控制之「新型電壓控制裝置」，如蓄電池、SVC(Static Var Compensator)、SVR(Step Voltage Regulator)、LBC(Loop Balance Controler)等，運用實際電流、電壓分布、功率因數等資訊，由遠端電壓調整控制裝置進行變電所端及用電端控制。

並藉由自動化及智慧型電表裝置，將相關供電及用電訊息進行「高速整合、管理及控制」，亦即將配電線路透過靈活運用之智慧儀器，形成一「配電智慧電網」，逐步有效解決未來面臨之課題。



(配電用變電所)

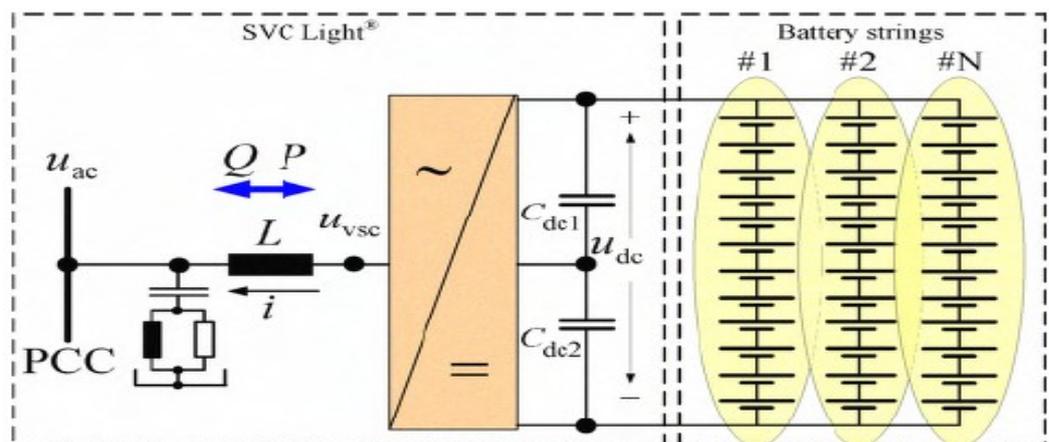




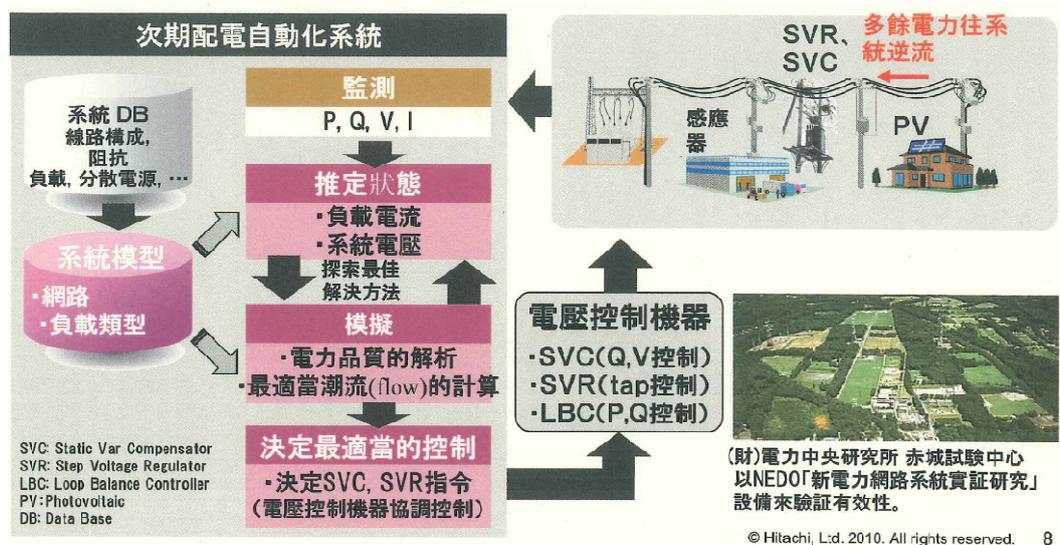
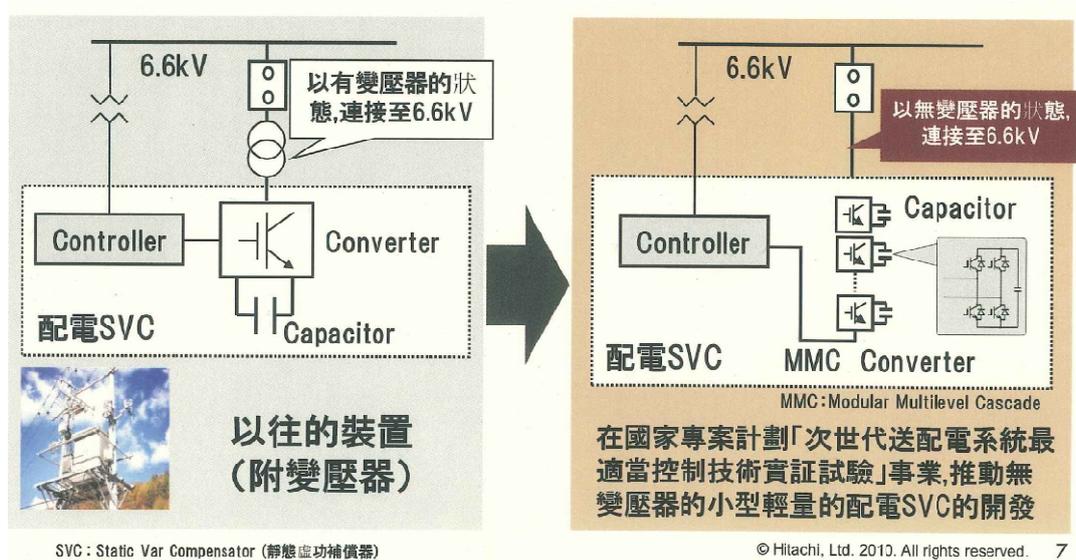
(四)SVC 靜態電力補償器之運用

目前在日本方面已研究試驗採用 SVC light with energy storage systems (以 ABB 公司的 SVC Light 即為 STATCOM)，能夠在電力系統中獨立地控制有效功率及無效功率，藉由控制無效功率，電網電壓及穩定度能夠有較佳且快速的動態響應，降低大量再生能源併網產生之電力潮流問題。

SVC Light 是以電壓源轉換器為基本架構，而電壓源轉換器能夠完全地控制電壓大小及相位以達到與系統電壓同步，因此可視為無效功率控制器。主要優點如下：動態電壓控制、增加系統傳輸能力及穩定度、改善電力品質、提升再生能源併網穩定度、助於智慧電網的實現。SVC light with energy storage system 之架構如下圖：



日本正積極研究配電級無變壓器 SVC，以減少面積及重量，本公司可視日本研究成果檢討應用。

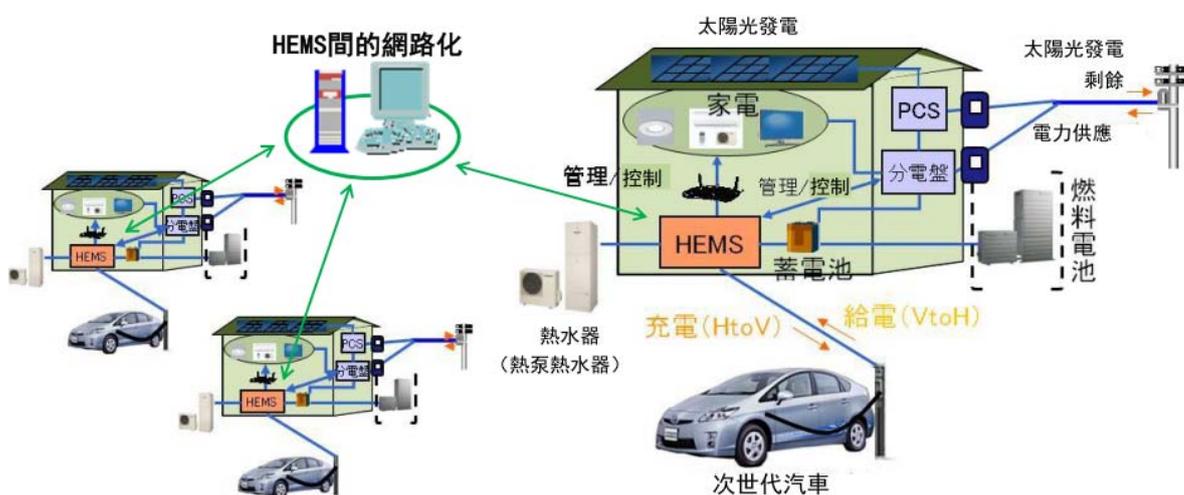


(五) 日本智慧電網的方向與藍圖

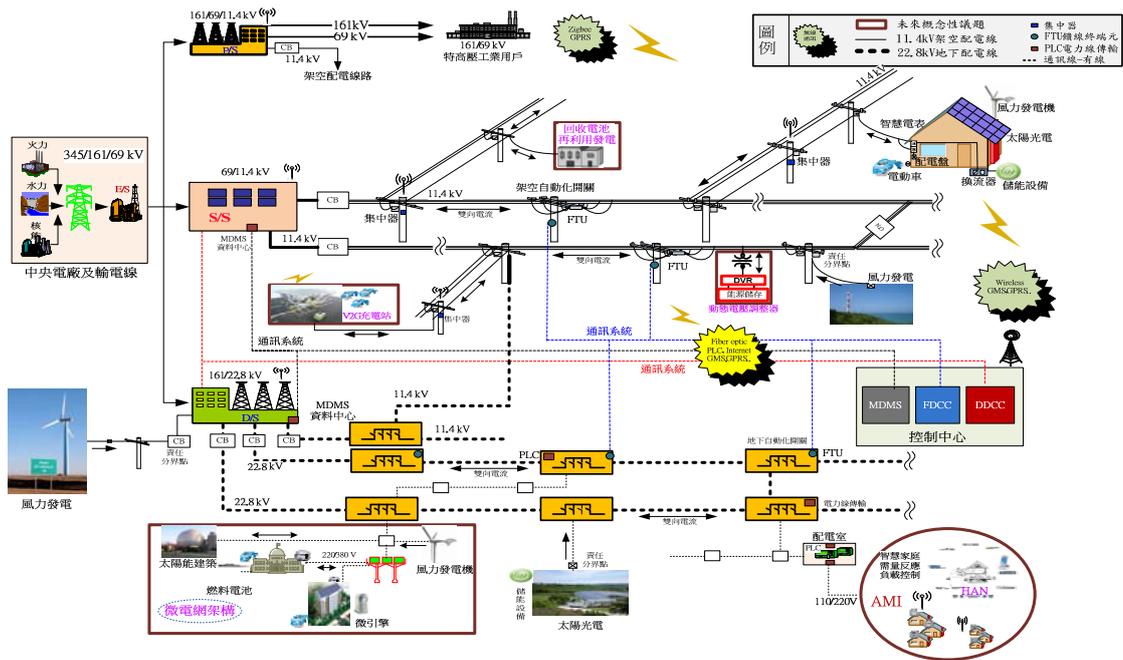
日本智慧電網發展方向，已朝向大量太陽光等再生能源的普及，必須從電力系統收集更多的資訊，以確保供應可靠度為前提著手，即由廣泛的電力公司供應與用戶需求兩方面的及時反應控制，以達到高優質、高效率及節能減碳目的。目前針對再生能源產生電壓與潮流的對策包括：電力潮流監控與調度管理，及尖離峰期間電力如何運用儲能裝置，

以有效因應未來新能源的加入。

另智慧電網建置方面，亦先著重於配電系統與用戶用電兩大領域之發展，以因應對策包括：引入電力電子設備的電壓控制方式抑低太陽光發電造成的配電線電壓的上升，及儲能電池解決出力不穩定課題，至於離峰期間剩餘電的對策，則是善用儲能技術搭配家用能源管理系統 (HEMS)，依負載需求變化預測與控制，進行多餘電能的分散使用參考下圖：



由於各國電網及環境狀況不同，對於智慧電網的定義與藍圖亦有差異，本公司配電系統的設備，包括從變電所、饋線及電表設備，多以利用資訊技術構建，充分達到 Smart，未來要進行的是相關設備的再提升以及資訊網路的佈建，使其更加智慧化。下圖為本公司智慧配電網架構與實施範圍：

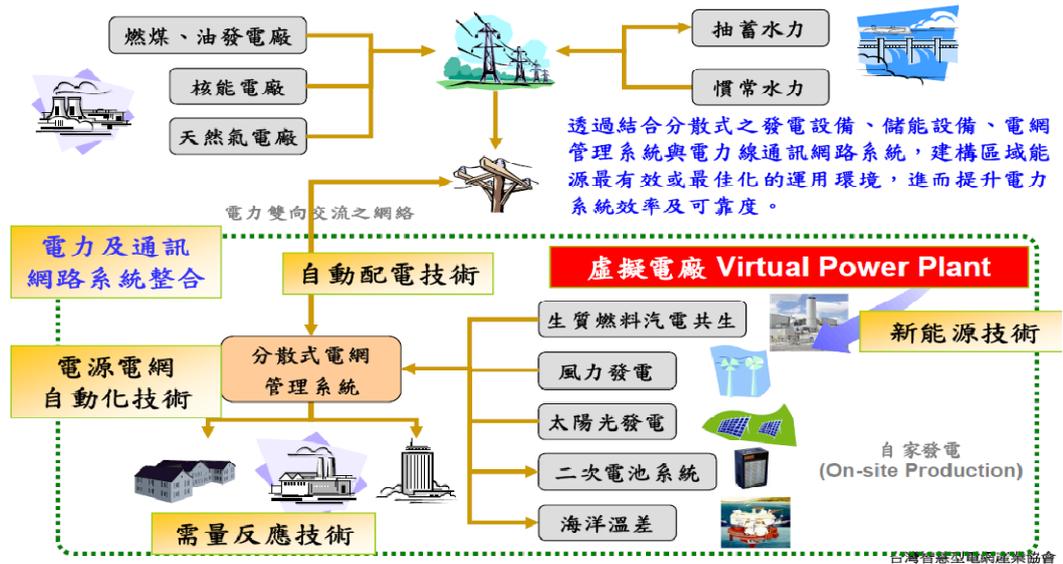


本公司主要在電力供應與用戶需求兩方面的策略方針為：

1. 運用創新科技，強化分散式能源整合：再生能源併聯配電網整合太陽能、風力發電及電動車。
2. 顧客服務導向，提升能源使用效率：智慧型電表基礎建設(AMI)，配合AMI時程改善需量反應方案。

至於未來分散式發電(Distributed Generation, DG)、儲能設備(Energy Storage System, ESS)、充電式油電混合車(Plug Hybrid Electric Vehicle, PHEV)與純電動車(Electric Vehicle, EV)等設備的併入配電系統，再加上實施需量反應(Demand Response, DR)機制，將使得配電系統的整體運轉與規劃變得更多變且更複雜。

為配合多變與複雜的運轉決策，可透過虛擬電廠(Virtual Power Plant, VPP)作為配電運轉決策的緩衝，有效地達成降低尖峰負載與配電設備供電壓力、提高系統供電可靠度，基本構想如下圖。



資料來源：台灣智慧型電網產業協會

二、再生能源與儲能系統

風力及太陽光電是目前較成熟及大量推廣的再生能源發電系統，但發電方式乃屬間歇性不穩定電源，其電氣特性亦與傳統水、火力發電不同，與電網併聯運轉對系統穩定度、電力品質、運轉特性、安全與效益將產生一定的衝擊，尤其是系統較弱地區或離島等獨立電網，因缺乏大電網的相互支援，受到再生能源之衝擊將更為嚴重。

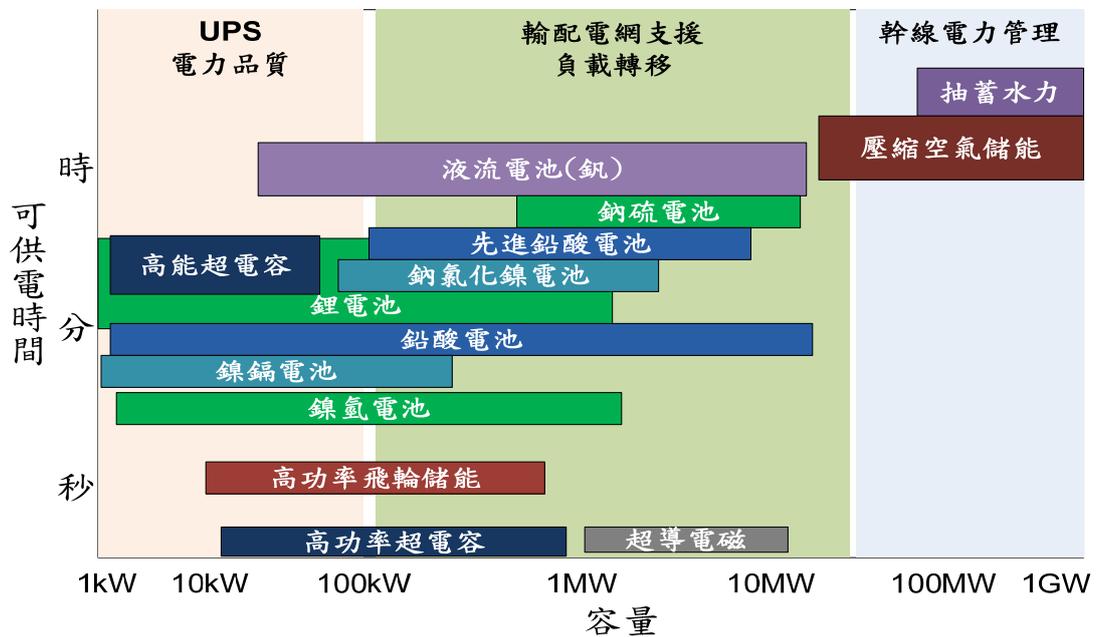
綜觀世界趨勢，對於不穩定再生能源發電裝置的大量增加，及考量確保供電可靠度的高風險電網基礎建設投資、電網尖峰需求管理的高資金成本因素，以及未來高優質智慧電網的實現，對於儲能系統之選用及相關技術，正朝向另一波嶄新的局面。

本次參訪日本東北地區，因受自然環境因素（地震、大雪、雷害等）影響，電力供應較脆弱，但部分地區因自然風能充足，多開發風力發電系統作為替代能源，相對造成電力系統衝擊的隱憂。除考量因應短時間的電力短缺外，另因東北電力公司為確保風能變化對系統的衝擊，均要求併網輸出功率應維持於一定時間之穩定性，多採搭配鉛酸儲能電池形成

一小型智慧電網，以取得最佳化的運用。

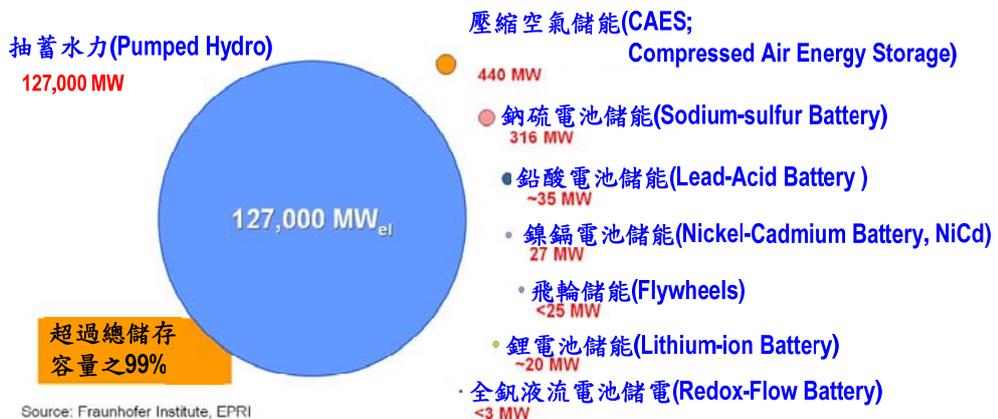
(一)儲能系統の種類

目前世界先進國家電力系統，有商轉的儲能系統：抽蓄水力儲能、壓縮空氣儲能、鉛酸電池、鈉硫電池、鎳鎘電池、鎳氫電池、液流(鈳)電池、飛輪儲能及鋰離子電池等。依各儲能系統之可供電時間（額定功率×放電時間）與裝置容量分布情形如下：



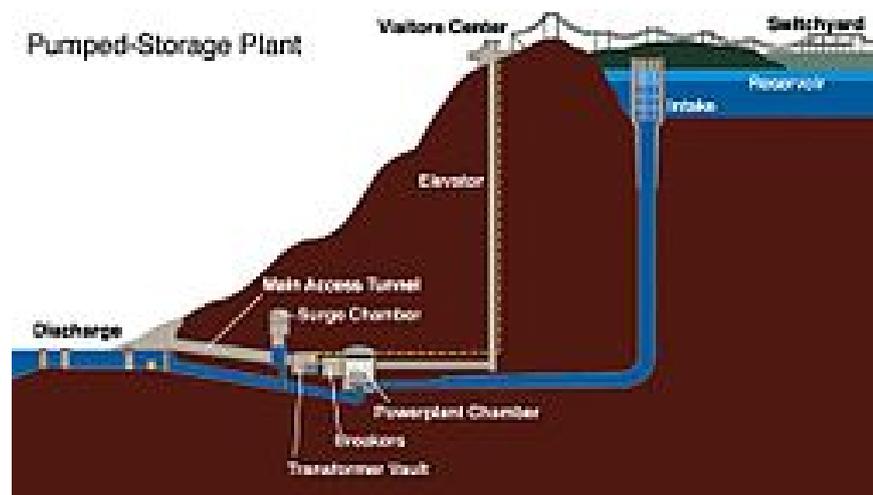
目前全球儲能設備裝置容量如下：

1. 抽蓄水力儲能系統 (Pumped Hydro)



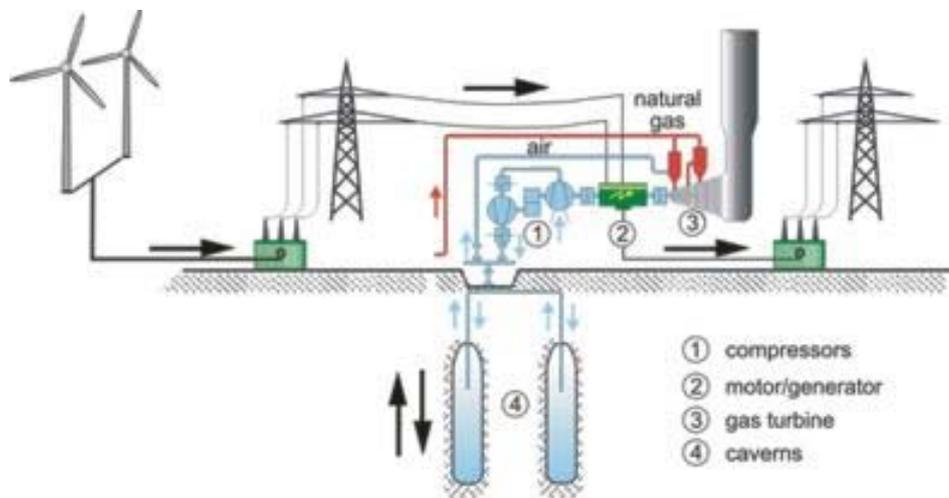
抽蓄水力儲能系統係利用負載離峰時，調配從較低的蓄水池開始抽蓄，將水送到較高處的蓄水池，此時抽蓄水力儲能系統為馬達負載；而當系統於尖峰或需要電力時，再利用水往低處流的慣性原理，藉由高低落差將高處蓄水池的水送低處蓄水池的同時，推動水渦輪機的葉片來發電。

抽蓄水力儲能系統是大型且成熟商轉的技術，但需要適當的地形才能建置，其裝置容量取決於高處蓄水池的大小，且因為是利用水的高低落差來推動葉片發電，故儲存能量的時間可達 10 小時以上。



2. 空氣壓縮儲能 (Compressed Air Energy Storage)

空氣壓縮儲能係利用系統負載離峰時，由電動機帶動空氣壓縮機，將空氣壓入作為儲氣室的密閉大容量地下洞穴或管路，即將電能轉化成可儲存的空氣壓勢能並儲存於儲氣室中。當系統發電量不足時，將壓縮空氣



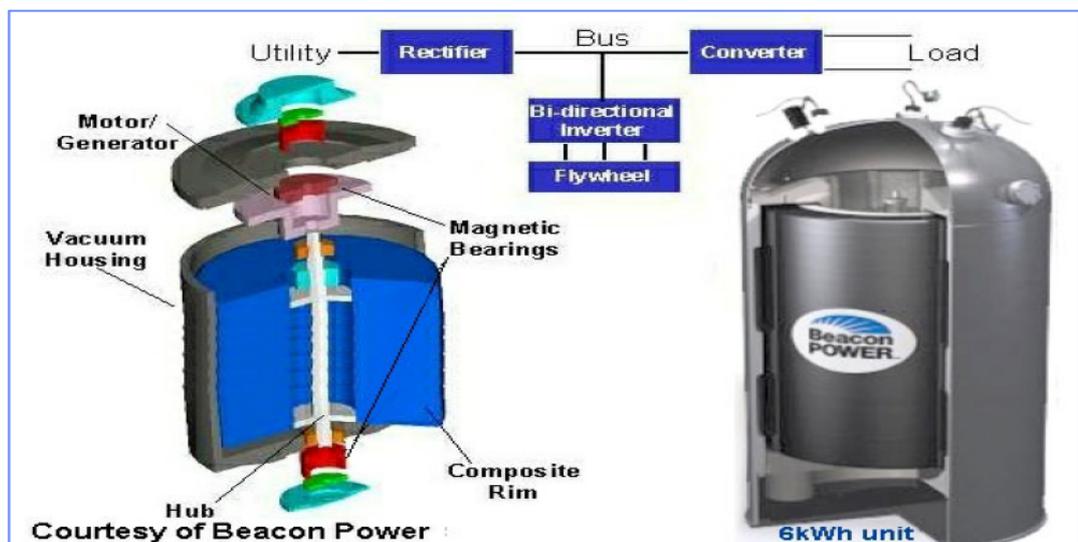
經換熱器與油或天然氣混合燃燒，導入燃氣

輪機作功發電，提供電力給系統，容量可從 400MW~2000MW，儲存能量的時間可達 30 小時以上。空氣壓縮儲能系統的優點為投資成本及維護費相對較低、環境污染小、動態響應快及佔地較小等；但其缺點是需要有適合的地質環境才能建置。目前有商轉的空氣壓縮儲能站有德國以及美國的阿拉巴馬州。

3. 飛輪儲能 (Flywheels)

飛輪儲能技術，原理是透過磁力使飛輪懸浮，並將飛輪在中空無摩擦損耗環境下高速旋轉產生，飛輪儲能系統在充電時，電流流經馬達驅動飛輪增加速度，藉由飛輪旋轉運動，將能量以動能（旋轉）的形式儲存電力，在放電時，則經由飛輪的旋轉帶動發電機產生電流，輸出供給負載。

飛輪儲能是將動能的方式將電能儲存起來，故又可稱為「動能電池」，其特性為儲能密度高、功率大、效率高（80~90%）、壽命長、無污染、響應快速（<4ms）。飛輪儲能系統是屬於短時間的電力暫存設備，對於發電機不穩定的發電情況能有補償而達到調節頻率的作用，但不適合在長時間放電的應用上。



4. 鉛酸電池 (Lead-Acid Batteries)

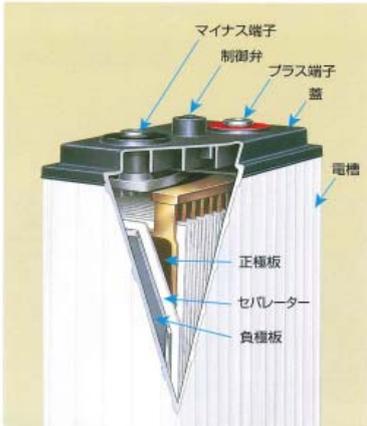
鉛酸電池是目前世界上發展最成熟的可充電電池，電極由鉛製成，利用硫酸為電解液進行化學反應，將化學能與直流能互相轉化，進而達到重複使用的效果，可使用在汽車、船艦、通訊站及不斷電系統等，但是鉛酸電池的輸出是非線性，且會因為用途的差異而影響到放電比率以及深度放電的週期，進而造成使用壽命的縮短。鉛酸電池的成本會因為鉛價而有所起伏。

本次參訪日本新神戶電池及日立公司，對於大型風場及獨立發電地區，目前多搭配採鉛酸電池方式作為穩定電力使用。

特長

- **サイクル専用仕様**
充放電を繰り返すサイクル用途での使用を想定して設計された電池です。
- **期待寿命***
LL形 ……3000サイクル, 10年
LL-S形 ……4500サイクル, 15年
LL-W形 ……総放電電量 $4725 \times 10^3 \text{Ah}$, 17年
*当社推奨の使用条件下における期待値であり、保証とは異なります。
- **耐震構造で省スペース**
耐震性の金属枠に単電池を複数個挿入するユニット構造を採用し、それらを連結して設置することで、短い期間で省スペースな設置が可能です。
(50Ah電池は単電池での設置となります。)
- **自然エネルギー用途にも対応**
太陽光や風力で発電した電力を貯蔵して、必要な時に必要な分だけ負荷などに電力を供給することができます。
- **豊富な容量バリエーション**
小容量から大容量まで、用途や規模に応じた電池選定が可能です。

基本構造図 (単電池)



5. 鈉硫電池 (Sodium-Sulfur)

鈉硫電池(NaS)係由熔融液態電極和固體電解質組成的，構成負極的活性物質是熔融金屬鈉，正極的活性物質則是硫和多硫化鈉熔鹽，其特點如下：

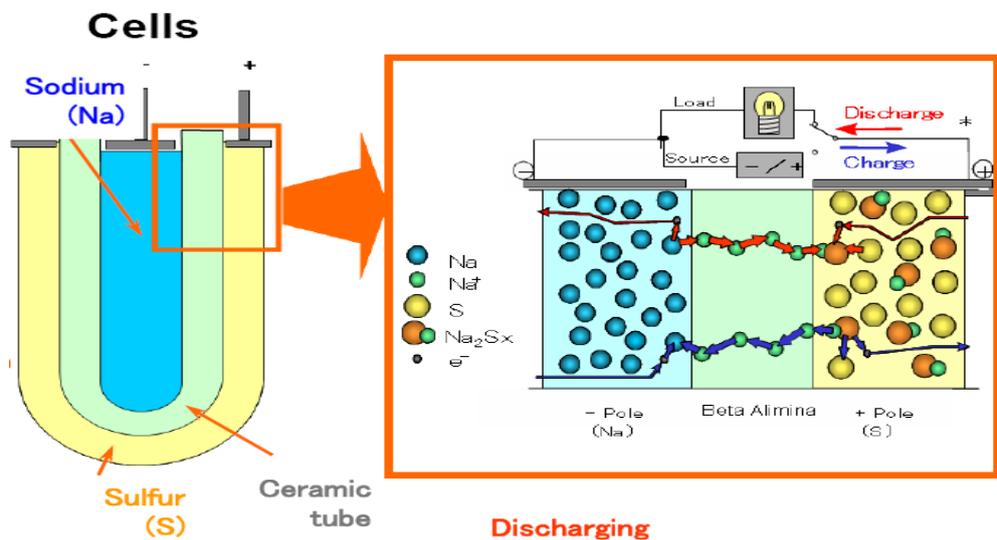
(1) 高能量比，為鉛酸電池的 3-4 倍。

(2) 可大電流、高功率放電，其放電電流密度一般可達 $200\text{--}300\text{mA}/\text{cm}^2$ ，

於暫態可放出其 3 倍的固有能量。

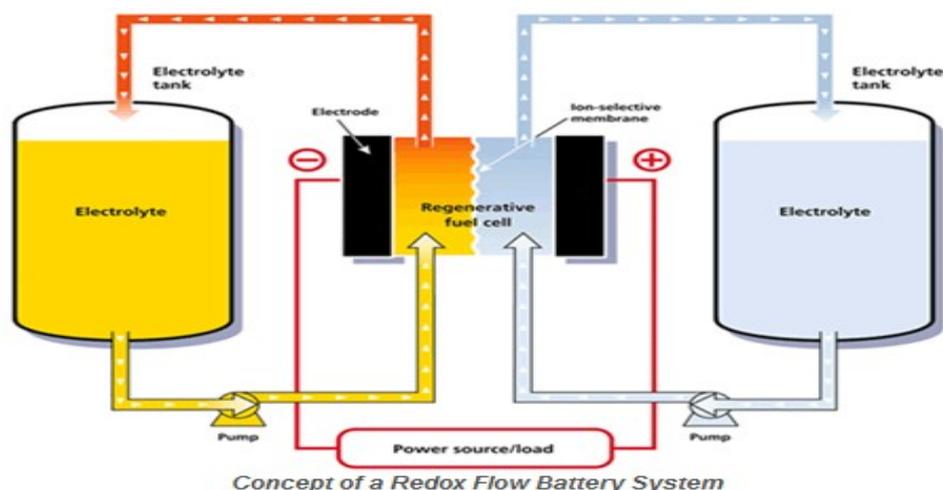
(3) 充放電效率高。由於採用固體電解質，所以沒有通常採用液體電解質二次電池的那種自放電及副反應，充放電電流效率相當接近 100%。

鈉硫電池因為必須將化合物加熱到熔融態，故其工作溫度在 300-350°C，目前全球有 221 個共 316MW 裝置容量的鈉硫電池儲能站，但隨技術發展，在 2012 年之前全球鈉硫電池裝置容量會達 606MW，或可取代鉛酸電池作為商業用途。



6. 鈮液流電池 (Vanadium Redox Batteries)

鈮液流電池 (VRB) 是一種液體電池，目前正逐步進入商用化階段。



鈳液流電池作為一種化學的能源存儲技術，和傳統的鉛酸電池相比，在設計上有許多獨特之處，性能上也適用於多種工業場合，如可以替代柴油發電機及備用電源等。鈳液流電池將存儲在電解液中的能量轉換為電能，藉由通過兩個不同類型且被一層隔膜隔開的鈳離子交換電子來實現；電解液是由硫酸和鈳混合而成的，酸性和傳統的鉛酸電池一樣，由於電化學反應可逆，所以鈳電池可隨著兩種鈳離子濃度的變化而充放電。在鈳液流電池中，電解液在多個電池單元間流動，電壓是各單元電壓串聯形成，標稱電壓是 1.2V，電流密度則由電池單元內電流收集極的表面積決定，但電流的供應取決於電解液在電池單元間的流動，鈳液流電池的峰值功率取決於電池層總的表面積，而電池的電量則取決於電解液的容量。鈳液流電池其特點為：

- (1) 能量循環效率高。
- (2) 深度放電後壽命不受影響。
- (3) 不因電解液的腐蝕而使化學特性受到影響。
- (4) 電解液可以無限期使用。
- (5) 循環壽命無限。
- (6) 可量化儲存能量。
- (7) 低環境影響衝擊。

7. 鋰離子電池 (Lithium-Ion)

鋰離子電池主要賴鋰離子在正極和負極之間移動來達動充放電的動作，可充電式的鋰離子電池被廣泛使用在消費型電子產品上，一年的產值可達到 12GWh，且被插電式混和電動車(Plug-in Hybrid

Electric Vehicle, PHEV)及電動車(all-Electric Vehicle, EV)採納為電池模組的使用，對於插電式混和電動車使用的鋰離子電池容量大小為 15kWh~20kWh，而電動車最高可達 50kWh。



若與傳統的鉛酸電池相較之下，鋰離子電池的技術相對較新，且對於不同的化學反應而有不同的能量特性；高能量密度且質量相對輕的鋰離子電池較無地形空間限制，且其直流/交流轉換效率可達 85%—90%，鋰離子電池也被採用在終端用戶電源管理、家庭後備電源管理、頻率調節以及緩和風力、太陽光發電的輸出。鋰離子電池的開發廠家如 Altair Nanotechnologies 目前已開發了 1MW/250kWh 的車載式鋰離子電池系統以供應當地的電力業者使用。

以下資料為日本新神戶電池對於建置 4MWh 容量之鉛酸電池與鈉硫電池及鋰電池三者間所需費用、重量、空間、維護與生命週期及其較劣勢部份之比較情形。

Comparison with NaS battery (Capacity: 4MWh)

Comparison item	Lead-acid battery		Nas battery		Lithium-ion battery	
Operation temperature	⊙	Room temperature	△	280~350°C	⊙	Room temperature
Discharge current (Max current/Capacity)	○	0.4C	△	0,15C	⊙	3.0C
Maintenance	⊙	-	△	Dangerous object handler	⊙	-
Cycle life	○	4,500	○	4,500	△	2,000~3,500
Required area(1MW-4h)	○	168m ²	△	168m ²	⊙	108m ²
Weight (1MW-4h)	△	162t	○	84t	⊙	59t
Cost (per kWh)	△	125%	○	100%	×	200%~
Weak points	●Needs recycle ●Heavy		In technical trouble now		●Expensive now ●Challenge for large capacity	

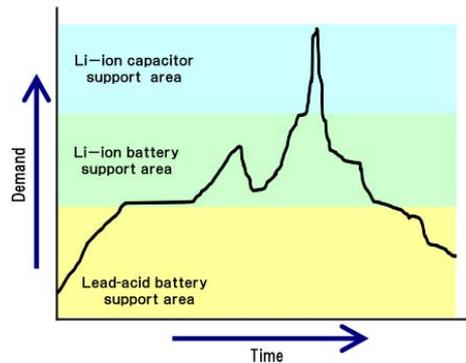
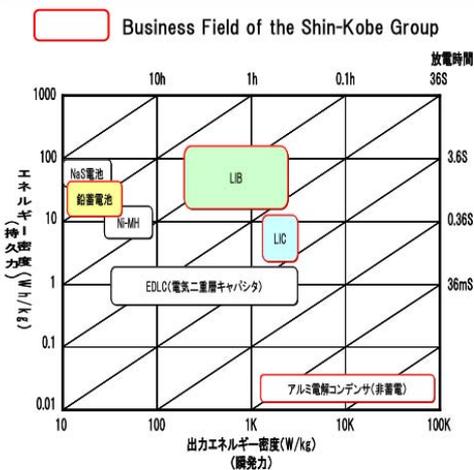
本次參訪日本新神戶公司對於鉛酸、鈉硫及鋰電池的特性，請參考下圖，相關之實驗運用另於下文中提及。

3. Characteristics of Accumulation Devices

HITACHI
Inspire the Next

Comparison of Accumulation Devices

Hybrid System: Image of Load



By selecting or combining the best accumulation device depending on the demand, construction of a optimum system is possible

© Hitachi, Ltd. 2011. All rights reserved.

3

(二)電力系統的電能儲能需求

1. 平衡負載

近年來到氣候環境影響及用電習慣影響，尖峰及離峰負載的差距越來越大，電力系統在運轉調度通常利用水力發電、集中式抽水蓄能

或燃氣輪等調頻機組來因應。但往往尖峰負載發生的時間相當短暫，因此如採用電能儲存技術，或可減少發輸電設備新擴建的投資，達到負載平衡目的。

日本如東京電力公司(TEPCO)，用鈉硫電池(NAS Battery) 作為電力系統的儲能，裝置於變電站側或負載側，至 2009 年底的總安裝容量達 392MW。

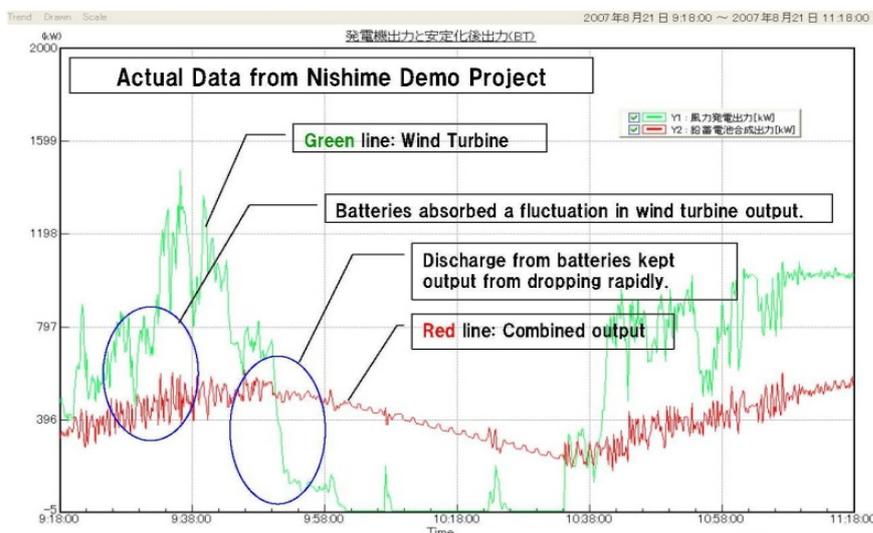
2. 提升供電品質

電力系統除考量間歇性再生能源等發電系統併網後，對系統穩定度、電力品質的衝擊外，另對於電力系統遭受無法預期的雷害、鹽害等天然災害或外物碰觸故障，所引起的瞬間電壓驟降現象，一直是產業與電力公司共同面臨的問題。若搭配採用一些儲能設備(如蓄電池、飛輪等)，並與無效功率補償設備相結合，可作為供電品質改善手段。

再生能源搭配儲能應用，在中國大陸風力發電，多透過 110kV 以上特高壓輸電線將大容量的風場(10~100MW)搭配大容量的儲能電池，始併入輸電系統，以維持穩定的輸出。在日本，試驗安裝鈉硫電池來穩定風力發電的輸出，但昂貴的投資是主要缺點，本次參訪日本

5. How it works with LL type battery

HITACHI
Inspire the Next



新神戶及日立公司係採鉛酸電池的實驗運用相當多，成效卓越參考資料如下表：

1. Electric Power Co. [A] (1)

◇ Application results to micro grid on an isolated island

Table1 Specification of battery system

Item		Content	
Energy storage system	PCS	Nominal capacity 300kW	
	Battery	Type	LL1500 (1500Ah-2V)
		Construction	LL1500×200 cells series
		Capacity	600kWh
Diesel engine generator		1,050kW	
Wind turbine generator		280kW	

Fig.1 Wind turbine generator

Fig.2 Converter and control unit

Fig.3 System configuration

Reference : Wind Turbine Generator and Battery Hybrid system : T.IEE Japan, Vol.121-B, No.6, 2001
© Hitachi, Ltd. 2011. All rights reserved. 10

7. Battery system for 15MW wind farm (2)

◇ Application results to large-scale wind farm
《 Yuza Shonai in Yamagata Prefecture Japan 》

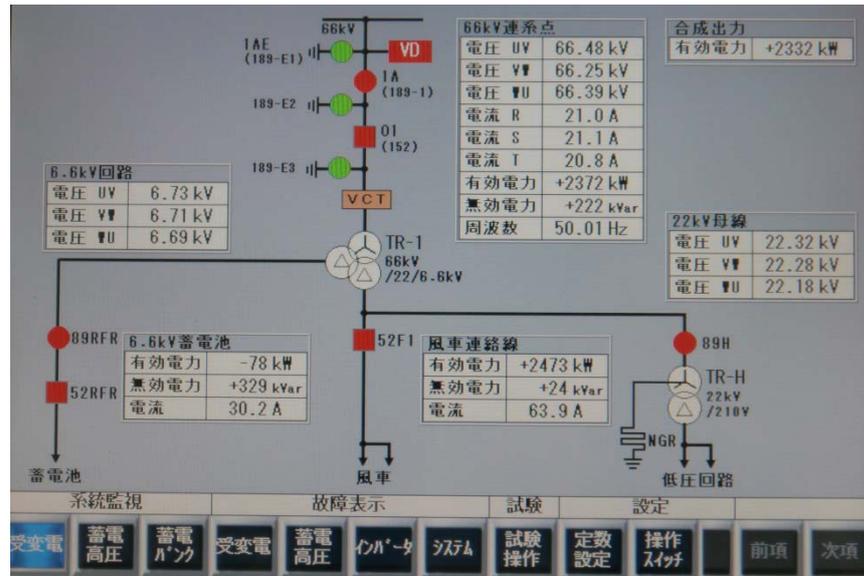
In operation : March 2011

《System summary》

- ◇ Purpose : Stabilization
- ◇ Wind turbine generation : 15.4 MWh (2.2 MW×7)
- ◇ Battery capacity : 10.4 MWh
(LL1500-W×288cells series×2parallel×6set : total 3456cells)
- ◇ Battery foot print : 30m×13m=390m²
- ◇ Weight : 420t

19

日本遊佐陸域風力發電廠搭配大型儲能系統



遊佐風力發電搭配儲能運用之單線圖

至於太陽能發電系統，尤其於偏遠地區的獨立太陽能發電系統，因不與大電力系統相連，此時搭配儲能設備作為電能之補償是必須的（多使用鉛酸電池，因價格低廉而應用最為普遍）。另設置於屋頂併網型的太陽發電系統，目前搭配儲能設備運用較少，未來將視市場技術成熟（包括定價機制、設備和負載管理、資通訊安全等），及對併網佔比偏高之配電線路，再持續進行檢討。

1. Solar Power Storage on Grid (1)

HITACHI
Inspire the Next

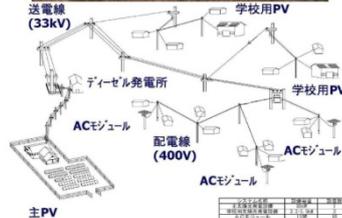
Thailand · Ribbon island (Okinawa Power Co.~NEDO) / Oct.2001



PV:75kW



540kWh Batteries



(三)配電系統之運用與發展

儲能系統在運用發展上主要考量的兩大性能指標有：儲能容量的多寡，以及儲能裝置充/放電能量的轉換速度。

綜觀前述各種儲能系統特性，針對於配電系統，目前世界各國電力公司運用情形較少，多為搭配微電網等試驗性質使用。若以配電系統而言，儲能設備容量通常宜採用 kW 等級，較常使用之電池模組為鉛酸電池及鋰離子電池，且因可藉由串接而提高電壓等級，使用範圍相當廣泛。儲能設備對於配電系統的應用需求整理如下：

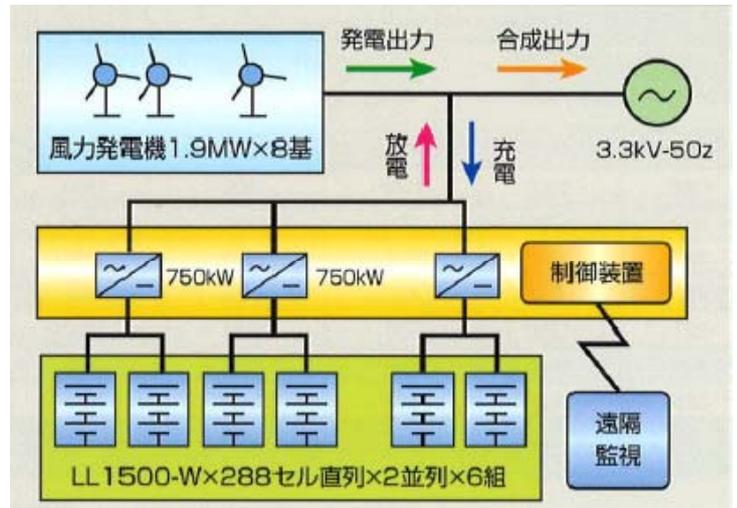
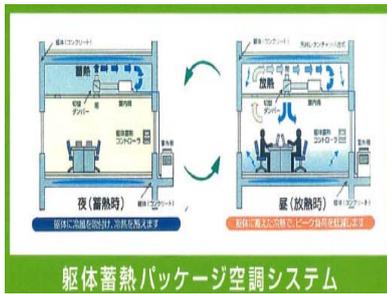
應用項目	目的	儲能系統容量	運轉時間需求	使用壽命
分散式儲能系統	增加用電可靠度	25~200kW(單相) 25~75kW(3相)	2~4 小時	15~20 年
工商用戶之電力品質	避免電壓驟降以及暫態事故	50~500kW	<15 分鐘	10 年
		1,000kW	>15 分鐘	
工商用戶之用電可靠度	提供後備電源以及暫態過渡能力	50~1,000kW	4~10 小時	10 年
工商業用戶能源管理	降低燃料成本以及增加可靠度	50~1,000kW	3~4 小時	15 年
		1MW	4~6 小時	
家用電源管理	效率以及節能	2~5kW	2~4 小時	10~15 年
家用備用電源	增加可靠度	2~5kW	2~4 小時	10~15 年

(四)實例說明

1. 大沼工場 smart grid

該工廠位於茨城日立市，主要製造生產變壓器及引擎相關設備，該廠電力來源除外電供應外尚配置有風機、太陽能版、蓄電池、燃氣

發電機等設備，並配置高效能儲熱、照明、生產設備，整廠電力規劃近似具體而微的智能電網，藉由廠內能源管理大量降低外購電力，甚至可躉售剩餘電力予電業公司，其電源配置如下圖：



2. 遊佐風力發電廠

位於山形縣庄內遊佐風力發電廠，是由 7 台 ENERCON E82 型風機(每台最大出力 2.08MW)組成，連接至變電站後，配合站內蓄電池之配置，再升壓為 66kV 後分歧引入系統。



對於併入系統限制，日立公司表示，各電力公司會依據風場特性以及相關電力系統強弱定出規範，就該電廠而言，東北電力公司要求其風場出力的變動率必須符合以下條件：

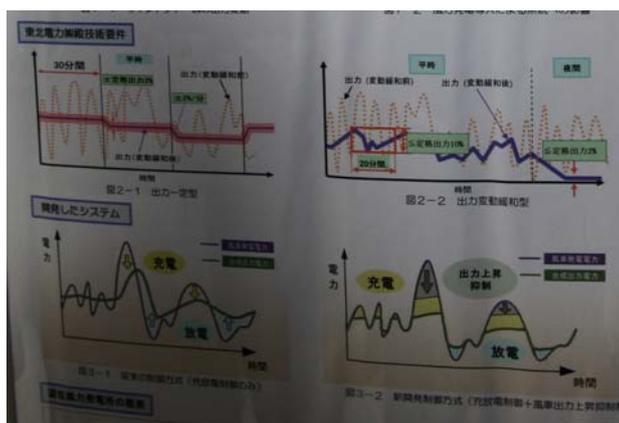
(1) 出力固定型—30 分鐘出力變動 $\pm 2\%$ 。

(2) 出力變動緩和型—日間 20 分鐘出力變動 $\leq 10\%$ ，夜間 $\leq 2\%$ 。



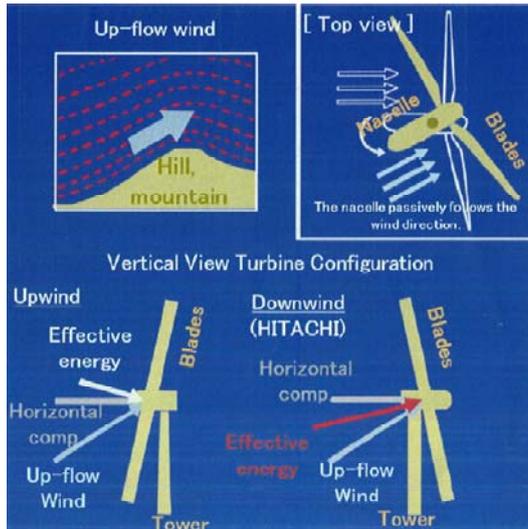
根據建置經驗，出力固定型其蓄電池配置容量約為風機機組容量的

80%，出力變動緩和型其蓄電池配置容量約為風機機組容量的 20%。而鉛酸電池設備費用約為風機造價的 20%。

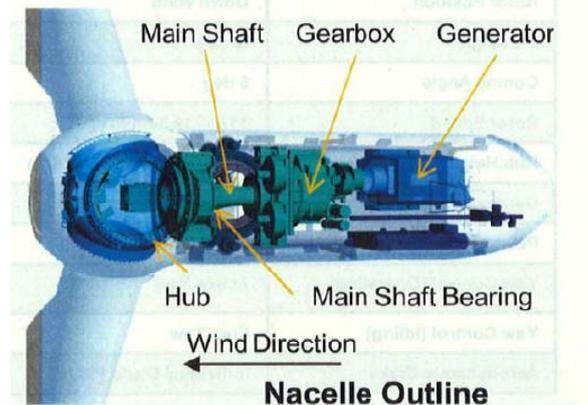


3. 神栖海上風場

該風場係日本目前境內規模最大之海上風場，共有七台 2MW 日立製造 Subaru 風機，屬於實驗之性質，本案雖稱海上風場，然距離海岸僅數十公尺，與一般離岸風力距離 500 公尺定義尚有落差，應屬於近岸風力規模，個別風機出力透過空架橋接入岸邊升壓變壓器 (1.4kV→22.8kV) 後再匯集升壓至 66kV 併入系統運轉。



Subaru 風機係由日立公司與 Enercon 公司技術合作開發之雙饋式機組，其特色為葉片為背部受風



(傳統為正面迎風)，據稱可降低其運行噪音，且效率較高，

該風場七台風機之土木工程系分由七家營造廠商同時承攬，風機機身亦印有承攬廠商標誌，除商業性質，亦宣示其具備之工程技術能力，日本對於風能開發屬漸進式發展，待運轉及驗證成熟之後，將在該風場西北側離岸 500 公尺*500 公尺海域進行大規模風機建置，預計將規劃 100 台 5MW 等級以上之風機，惟年度尚未確定。

該風場投資單位係為神栖市府所有，建置成本每台風機約 5 億元台幣，據稱每台風機年收入約 2600 萬元台幣(未含維護成本)，就投資效益而言似尚待考量，台灣對離岸風場開發之腳步建議應視技術發展、成本及市場環境再予商榷。



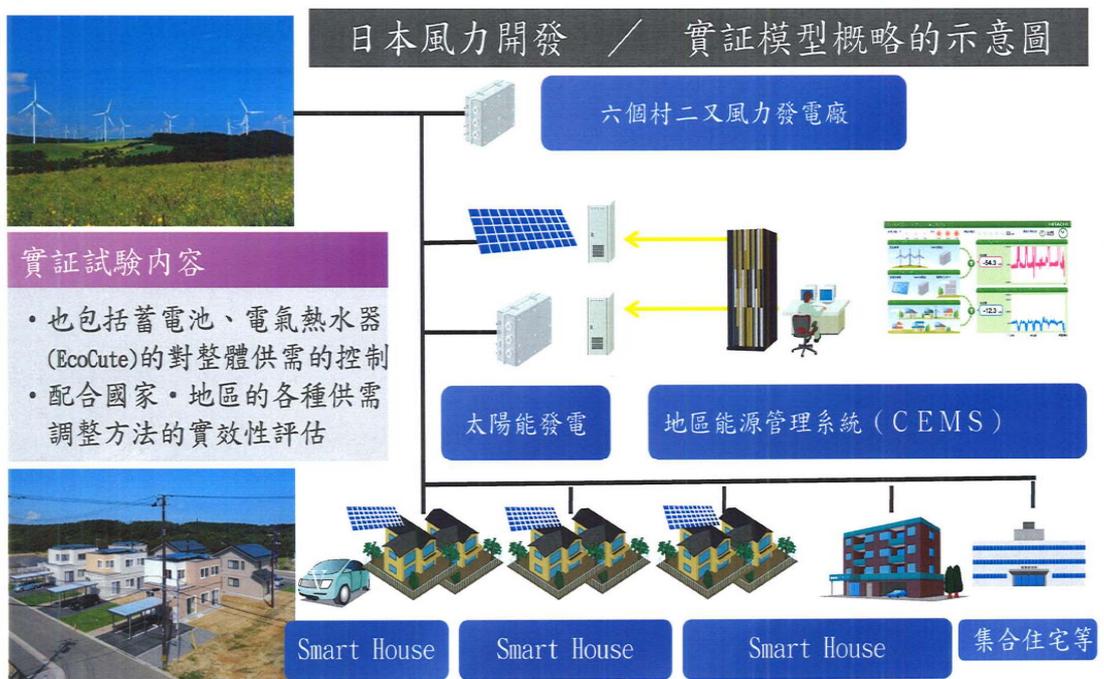
4. 名張 SHIN KOBE 電池工廠

該工廠(新神戶電機)主要生產電池設備，主力分為鉛酸電池及鋰電池，目前日本搭配再生能源配置之儲能設備多為鉛酸電池，據稱，該類電池可 100%回收，並無污染問題，本次參訪其鉛酸電池生產線，從進料鉛塊到成品測試整體流程，其製造類似於傳統產業並無特別技術，然對於各流程間銜接皆遵循標準品管作業，故可確保品質穩定，值得參考。

5. 青森縣六所村市浦風力發電廠

六所村智慧電網結合風力、太陽能發電、電池儲能及智慧住宅、插電式家庭充電站等家庭用電管理系統，由日本風力開發、日立、豐田及松下等公司共同提供智慧，建立一無碳、電能應用最佳化之供電架構，於 2010 年 9 月開始運轉。

風機容量:510MW、太陽能發電：100kW、蓄電池:250kW、2010 年 1 月開始運轉



三、日本中部電力公司系統模擬與控制

(一) 中部電力公司電業概要

中部電力的供電區域包括愛知、岐阜、三重、長野、靜岡(富士川以西)，日本中部 5 縣，面積約 9000 平方公里，人口達 1600 萬人左右，約日本全國 1/10 佔比。中部地區位於東京和大阪之間，作為日本的交通、物流及生產的中心地，為重要的樞紐。同時也是連接頻率各異的東日本(50 赫茲)和西日本(60 赫茲)的重要據點。其電壓等級為 500kV-275kV-154kV-33kV-6600V-200V-100V。2010 年中部電力之裝置容量:32,828MW (台電為 40,912MW)、尖峰負載:29,982MW (台電為 33,023MW)中部電力規模與台電相當，對於其系統與運轉建置可借鏡參考。

電力系統的運行，是按照供需運行與系統運行的兩條線來組織的。供需運行中樞是設於公司總部大樓的中央調度指令所，而系統運行的中心則是基幹調度控制所。在基幹調度控制所，時刻對公司的主網架(500kV 及 275kV)系統運行監視運行(指令、控制)，另外，154kV 及以下系統則由設在各縣的分局調度控制所進行日常監視運行。

(二) 中央調度指令所主要功能

1. 供需調整

預測用戶的用電量，並準備相應功率(考慮發電機組出力或從其他電力公司購買電力等)。並且，為了降低電價，還要研究低成本發電機併列等經濟運行方式。

2. 頻率調整

確實調整負荷功率與發電功率，並使之達到平衡以使頻率保持在 60Hz。

(三)基幹調度控制所主要功能

1. 系統監視

即時對供電設備(變電站、輸電線等)進行監視以確定其是否異常。並且，為了防備打雷、颱風等異常氣象情況，還要研究制定能解決更加安全穩定地供電輸電路徑。

2. 電壓調整

為了使用戶所使用的電壓控制到正常值，對 500kV、275kV 的電壓進行調整。

(四)運轉操作

藉由對 500kV 及 275kV 無人變電站、發電廠進行集中監視進行運行操作。其任務與作用，係對連接到各火力電廠、核電站的 500kV 及 275kV(即所謂電力大動脈)的電力設備進行運行。為了在故障后迅速恢復，並且防止因個人操作而引起的人為失誤，該所操作按指令和控制一分為二。

操作前須確認設備狀態，透過事先編定登錄的指令操作程序，通過模擬操作確認安全後，再執行實際自動操作。

主計算機採用 3 重結構，即使其中 2 重主機發生故障，監視運行業務仍可繼續運行。另外，訓練是在專用計算機運行，也就是說即使在訓練過程中，系統仍能確保 3 重系統運行。而基幹調度控制所與中央調度指令所的系統是相互鏈接，並進行大量的信息交換。當其一因受災等原因而無法運行時，可互為備用運轉。



供給区域

中部電力的供電區域包括愛知、岐阜、三重、長野、靜岡（富士川以西）的中部5縣，面積約9000平方公里，人口達1600萬人左右。中部地區位於東京和太極之間，作為日本的交通、物流及生產的中心地，起着重要的作用。同時，也是連接頻率各异的東日本（50赫茲）和西日本（60赫茲）的重要樞紐。

自電綫、頻率交換站及交流。已時，可以暫時地相互支援。目的電力供給。



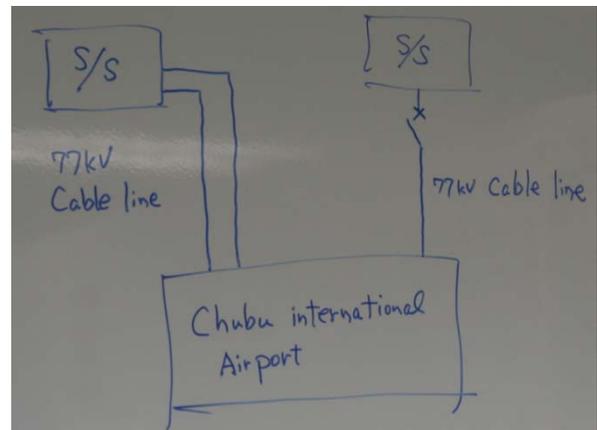
(五) 中部國際空港之供電方式與海纜設備探討

對於重要公共運輸用戶受電方式，中部電力提供了位於愛知縣的

中部國際空港之供電方式供本公司參考，該機場係由填海造成，其電源分由東榎戶開關場兩回 77kV 架空線橋架經常引供，另由 77kV 東夏戶開關場～知多變電所線路分歧常開提供備用聯絡線路，並採海纜施設，長度約 1.2km，該海纜設置係屬國防考量，確切路徑屬機密性質，當既設兩回架空線路事故方投入運轉，可了解，即便日本國際機場亦未採行由不同變電所同時引供之設計，中部電力表示中部國際空港本身同時配置自備發電設備，以提供重點設備緊急用電，此思考方向應可供桃園國際機場參考。



對於海纜的維護可分為定期巡視(普通巡視每年兩回、特定巡視每月兩回)及定期點檢(接續箱點檢三年一次、特別點檢六年一次)，以避免漁具、船錨破壞電纜，並確保設備接續及埋設之安全。

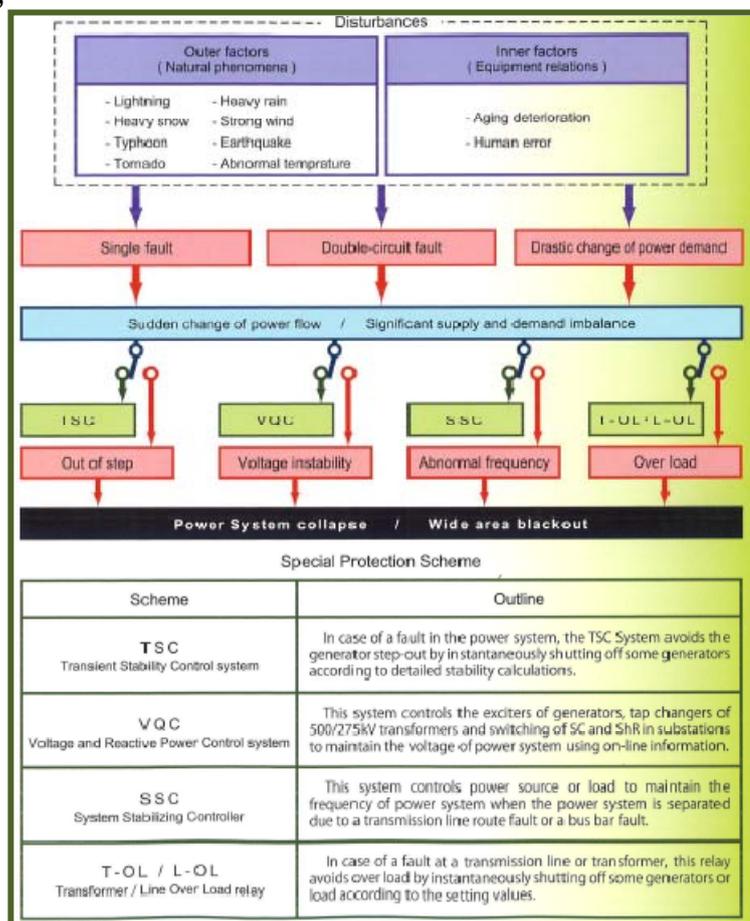


(六)系統穩定性在線維持系統(Transient Stability Control System)

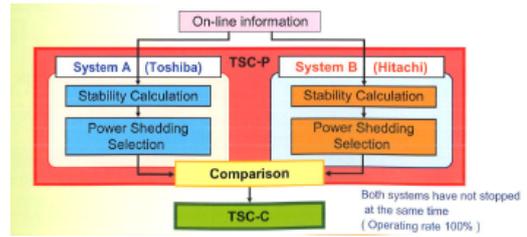
針對系統擾動(天然災害或人為操作失誤、設備惡化等)引發系統崩潰之危機，中部電力公司開發了一系列特殊保護系統作為防範機制，並分為四大系統，分別處理失步(TSC)、電壓不穩定(VQC)、頻率(SSC)及過載(T-OL, L-OL)等問題，其考量之條件為N-1、N-2及負載劇烈變動之狀況，進行分析及指令動作。

本次參訪中部電力千代田基幹調度所，主要為介紹其 TSC 系統(全球第一套發展)，其建置目的，係當系統發生故障時(70%為落雷引發)，快速切斷部分發電機組(即限制電源)，以避免機組失步引發大規模停電。該系統分為三個單元，分別為中央處理單元(TSC-P)、故障偵測單元(TSC-C)及機組跳脫單元(TST-T)，TSC-P 透過線上取得最新運轉資訊，

每 30 秒分析系統可能事故狀態，決定最適跳脫機組避免暫態不穩定，一但事故發生後，根據最新分析決策，在 150ms 之內透過 TSC-C 及 TSC-T 完成跳脫機組動作，確保系統暫態穩定。



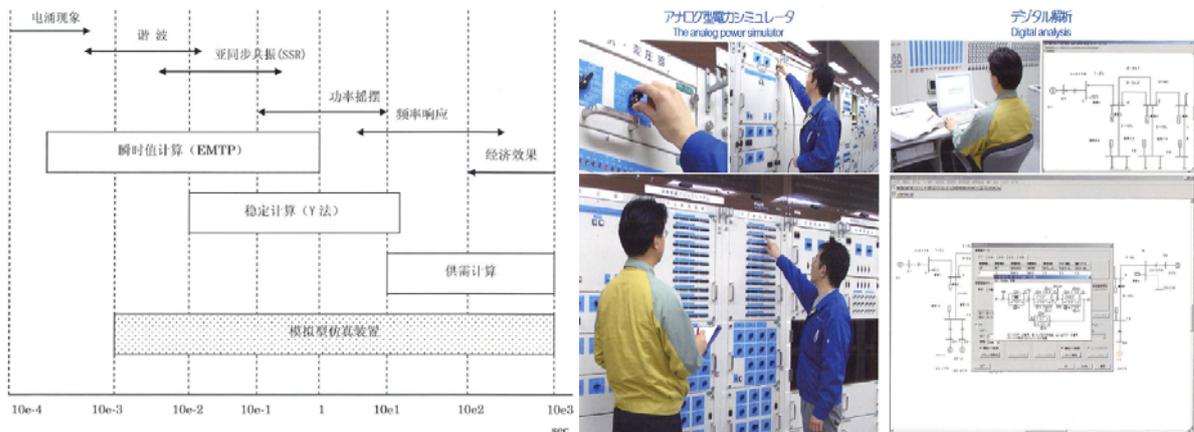
中部電力為求決策之正確性，其 TSC-P 係分由 Hitachi 及 Toshiba 兩公司建置個別主機系統，對於分析事故後跳機之決策內容，進行結果比對，當兩套設備所得結果不一致時，將採用總跳機容量較大者，作為未來動作選項，以確保系統高可靠度，其跳機邏輯與本公司要求機組跳脫越少越好之思考方向不盡相同。



(七) 稻永系統解析中心(Power System Analysis Center)

PSA 建置於 1992 年，係由日本北海道、東北、東京、北陸、中部、關西、中國、四國、九州等 9 大電力公司共同投資發展，對於日趨龐大及複雜之電力系統與電力需求，進行跨網的分析研究，深入探討各時間領域內(Serge. Hamonics. subsynchronous resonance. Stability. Frequency fluctuation. Economic effects...)電力系統特性之解析。

該中心分析設備採用數位與類比兩套模擬系統，數位系統主要針對系統現象進行高精確度以及長時間計算分析，類比系統則採用



仿真的模擬裝置，將電力系統主要設備元件類比至額定電壓 50V

系統，可處理發電機模型 34 台、負載模型 38 台、等值輸電線路 100 條、聯絡變壓器 23 台，該系統對於風力機組、太陽能機組以及 HVDC、SVC 亦以設計等效模擬元件，可對於系統特性與現象進行仿真分析。

該套設備之優點為：

1. 能連續針對毫秒~數小時系統狀態進行模擬，並仿真 3kHz 以上之系統特性。
2. 不須列出數學模型或程式編譯，能發現因非線性而難以預測之系統現象。
3. 對於整體系統狀態如搖擺現象等進行視覺表現。

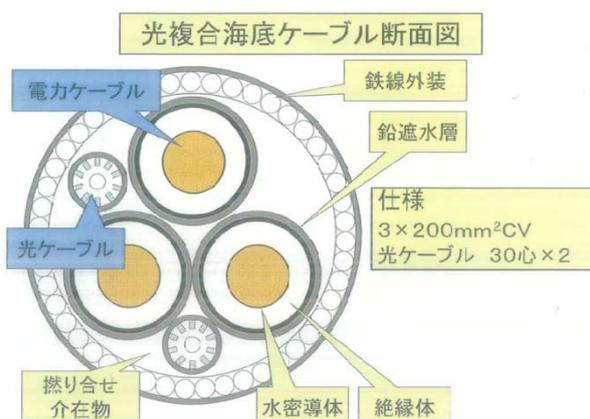
惟系統若超過 30 台機組，則必須對系統進行簡化，方可進行分析。參訪時中電公司於盤面模擬愛知變電所發生事故造成系統暫態不穩定現象，並藉由跳脫知多火力電廠#5#6 機組達到穩定之目標。

(八)名城地下變電所參訪

名城地下變電所為日本境內第二間地下變電所，用地係與名古屋市政府租用，1994 年準備作業，2000 年建置完成，與名古屋城鄉鄰而建，並獲設計大賞，除地下 3-5 樓分別為 B3:GIS 與冷卻室 B4:電纜室 B5:主變與電抗器室外，B2 和地面則提供停車及公用空間使用，對於興建簡介，從設計、規劃、施工、運轉，相扣環節讓人印象深刻，整個建築工法、器材運輸之難度，都值得借鏡，該變電所並提供一般民眾參觀，藉由淺顯易懂圖表或介面，教育參訪者電力提供之管道各項設施之功能，使得電力設備不再充滿神秘與距離感，對於爭取市民認同應具極高成效。

名城地下變電所建置規模如下；

較單芯電纜的三條三相電纜具有施工運輸容易、維護方便、受外力破壞事故機率較三條電纜低等優勢，然而其電纜製造外徑有其極限，所以相對的三芯電纜送電容量較低為其缺點。該中部國際空港連絡線海纜構造如右圖所示。



中部國際空港連絡線送電電壓為 77kV，外徑為 134mm；海纜單位重 50kg/m；線路長度約為 1,200 公尺，因應防蝕及外傷考量採用一重鐵線鎧裝。線路基本資訊詳如下圖所示。

中部國際空港連絡線(海底ケーブル)

項目	仕様
電圧・ケーブルサイズ	77kV 3 × 200mm ² CV
外径・重量	134mm ・ 約50kg/m
鉄線外装	1重
長さ	1.2km

上述海底電纜採用一重鐵線鎧裝，係依據日本法規電氣設備技術第 146 條，如下圖鐵線外裝構造法規所示，該鐵線外裝需 6mm 以上鐵線。

鐵線外裝構造

項 目	要 求 性 能	構 造
①法規	電気設備技術第146条に合致すること。	6mm以上の鉄線とする
②耐腐食	ルート断面、潮流データから試算される腐食減量がケーブル期待寿命30年持つこと	埋設若しくは所要鉄線径を算出 埋 設：一重鉄線 φ6か8mm 非埋設：二重鉄線
③耐外傷	漁具対策	想定される漁具による機械力に耐えること。 埋 設：一重鉄線 φ6か8mm
	錨害対策	想定される錨による機械力に耐えること。 非埋設：二重鉄線
	転石	埋設するか對外傷性を持たず。通常は、想定が難しいため、二重鉄線化 埋 設：一重鉄線外装 非埋設：二重鉄線外装
	岩盤摩耗	可能であれば埋設。通常は、想定が難しいため二重鉄線化し、防護管に収める。 埋 設：一重鉄線外装 非埋設：防護管としてシャニ管（FRP製・鋳鉄製）

一重鉄線外装構造採用

該海底電纜設計另考量：

1. 耐腐蝕：依海纜路徑断面、潮流資料等計算腐蝕量，設計壽命為30年，因其為埋設於海床下所以採用一重鐵線鎧裝。
2. 耐外傷：針對漁具及錨害、轉石、岩盤摩耗分別考量依據海纜是否埋設而採取一重或二重鐵線鎧裝。本案採針對上述考量採取一重鐵線鎧裝。

(二)海底電纜維護巡視與點檢

中部電力公司對於中部國際空港連絡線之維護分為巡視及點檢，介紹如下

1. 巡視頻率

- (1) 普通巡視 2 回/年(和陸纜相同)
- (2) 特定巡視 2 回/月 (針對海纜重要性特定巡視)

2. 巡視內容

- (1) 目視範圍內岸上是否有工事
- (2) 海纜路徑有無漁船作業下錨

3. 點檢頻率

- (1) 人孔點檢 1 回/3 年
- (2) 電纜點檢 1 回/3 年
- (3) 接續箱點檢 1 回/3 年
- (4) 特別點檢 1 回/6 年

海纜點檢與一般陸纜相同，但需加特別點檢。

4. 點檢內容

人孔點檢、電纜點檢、接續箱點檢、目視點檢等與一般陸纜同。

5. 特別點檢內容

- (1) 潛水夫目視點檢(碎石防護區)
- (2) 磁氣探測

(三) 事故復舊對應

一般海底電纜若三相分三條布設，其各相電纜間均須留有間距，因為將來如事故復舊後，電纜長度因接續後比原來更長，所以無法埋在原來路徑上，所以各相海纜間須有適當間距。本案中部國際空港連絡線為單條海纜內含 3 相 3 芯(3 x200mm²)及光纖，並無須考慮上述間距問題。

1. 中部電力公司針對海纜事故時故障點探查採取以下 2 種方法：

(1)脈衝雷達檢測法

(2)Murray loop method

其故障點探查應用實例如下圖所示，其發生日期為平成 15 年 11 月(西元 2003)，配電海纜斷線就是採用脈衝雷達測定故障點，故障點距離島 991m，斷線原因為大型船舶錨害。



2. 事故復舊時仍應有相對應之備品作為因應。

(四)海纜埋設方法介紹

1. Anchor Wire 布設如右圖，

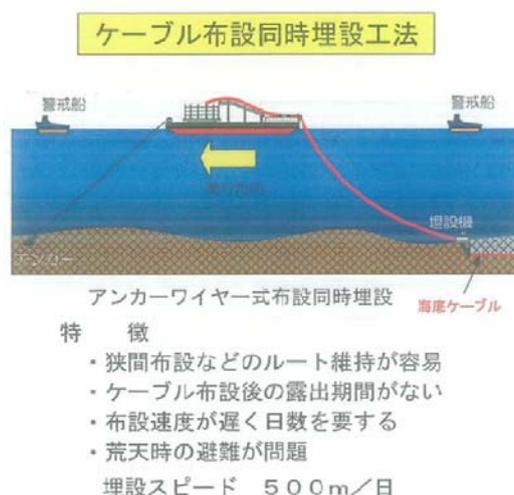
其特徵

(1)可在狹小空間布設

(2)容易維持路徑

(3)布設時電纜不外露

(4)布設速度慢



(5)天候不佳時避難問題

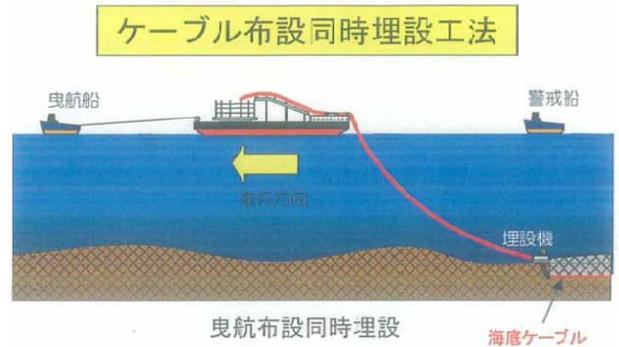
(6)埋設速度 500m/日

2. 拖曳船埋設，其特徵為

(1)長距離埋設時可縮短工期

(2)布設時電纜不外露

(3)埋設速度 10~20m/分



特 徴

- ・埋設距離が長い場合に工期短縮の利点がある
- ・ケーブル布設後の露出期間がない

埋設スピード 10~20m/分

3. 電纜布設後再行埋設法如右圖，其特徵

(1)可在狹小空間布設

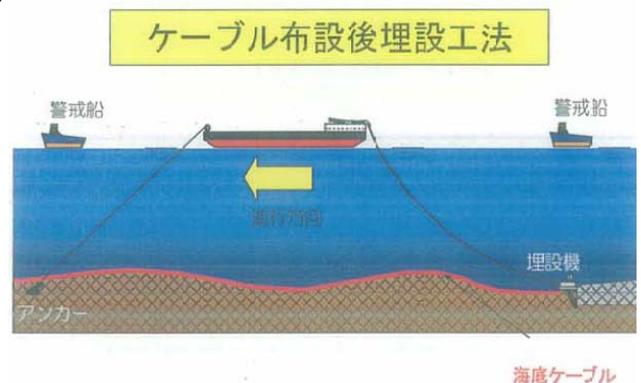
(2)容易維持路徑

(3)布設時電纜外露

(4)埋設速度慢

(5)天候不佳時對應容易

(6)埋設速度 500m/日



特 徴

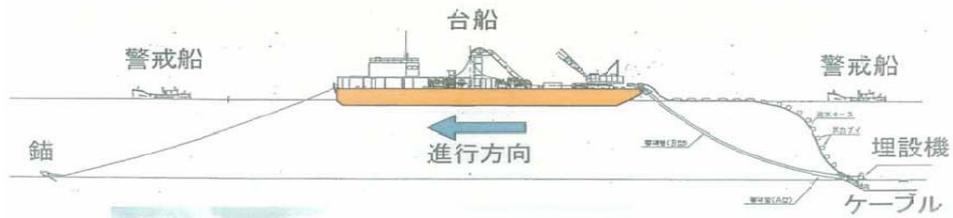
- ・狭間布設などのルート維持が容易
- ・ケーブル布設後に埋設するまでケーブルが露出
- ・荒天時の対応が容易

埋設スピード 500m/日

4. 埋設工法選擇

因 NTT 通訊線間隔太近、埋設路徑限定，故中部國際空港連絡線採用 Anchor Wire 海纜同時布設法，海纜布施台船如下圖：

海底ケーブル布設概要

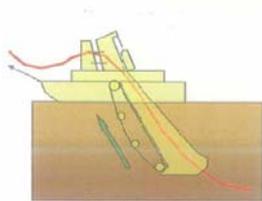


布設台船

(五)埋設機

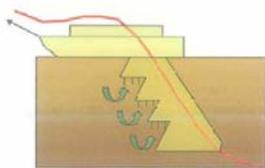
海底電纜埋設主要採用埋設機埋設，埋設方法主要為水力噴射式，在埋設機底部有數排噴水孔，作業時，每個孔同時向海底噴射出高壓水柱，將海底泥砂沖開，形成海纜溝，埋設機上有導纜孔用來引導海纜至海纜溝，此埋設機由施工船拖曳前進。埋設機分為 trench 式、water jet 併鋤式及鋤式、water jet(高壓水柱)等型式，各有其適用之對應土質，如下圖所示。

ケーブル布設同時埋設機



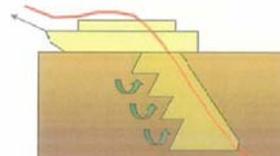
トレンチャー式埋設機

硬質粘土地盤に対応



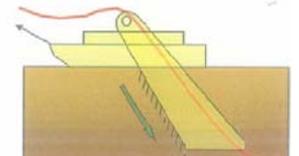
ウォータージェット併用鋤式埋設機

低圧WJ併用
泥・砂地盤に対応
高圧WJ併用
泥・砂・硬質粘土地盤に対応



鋤式埋設機

軟弱な泥地盤に限定対応



ウォータージェット式埋設機

低圧WJ
泥・砂地盤に対応
高圧WJ
硬質粘土地盤に対応

trench 式、water jet 併鋤式埋設機

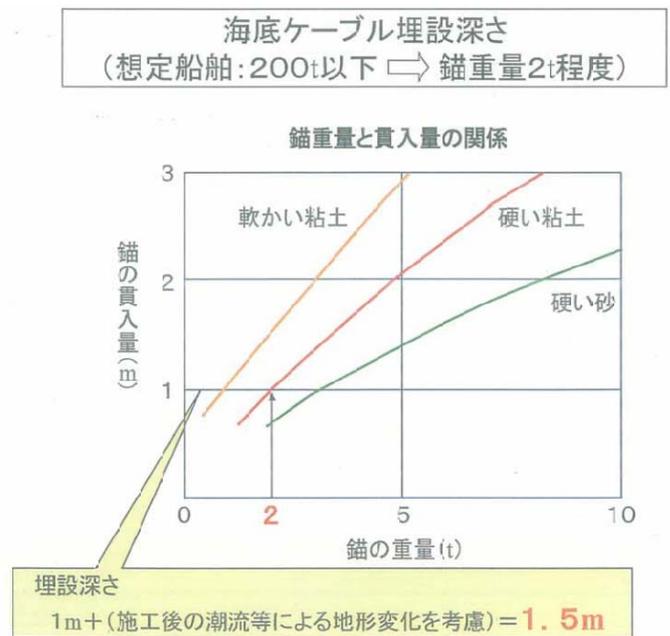
鋤式、water jet 式埋設機



water jet 式埋設機照片

(六)海纜埋深考量

為避免海底電纜遭船舶錨鈎損傷，海纜埋設於海床下深度必須足夠並妥為考量施工後之潮流等因素造成之海底地形變化，評估得到合適之埋設深度，中部電力公司之埋設深度評估詳如右圖。



(七)海洋調査項目

為決定海纜埋設之路徑，應辦理之海洋調查項目區分為：

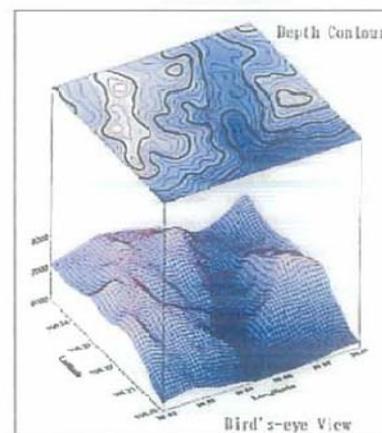
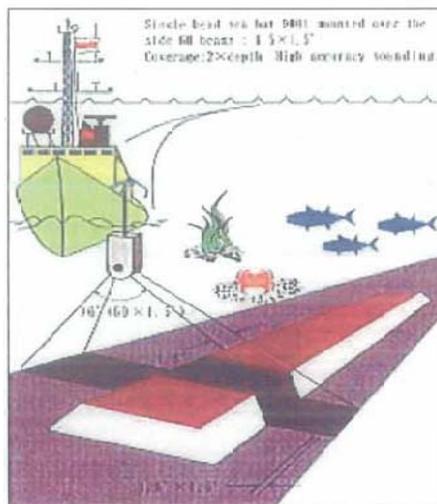
1. 一次調査(決定路徑)

- (1)海底面地形調査(全調査範圍)
- (2)超音波地層厚探查(全調査範圍)
- (3)潛水夫調査(浚渫區域外)
- (4)取樣(2點)
- (5)船錨貫入試驗(2處)

2. 二次調査

- (1)基準點測量(兩端陸地)
- (2)海底面地形調査(浚渫區域內或中心)
- (3)磁氣探查(浚渫區域外)
- (4)潛水夫調査(浚渫區域外)

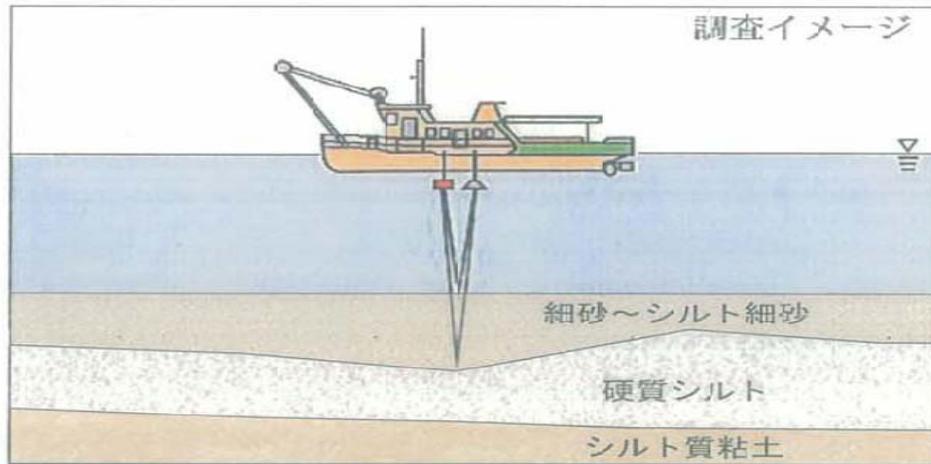
海底面地形調査



海底地形、海底イメージを調査取得

海底面地形調査

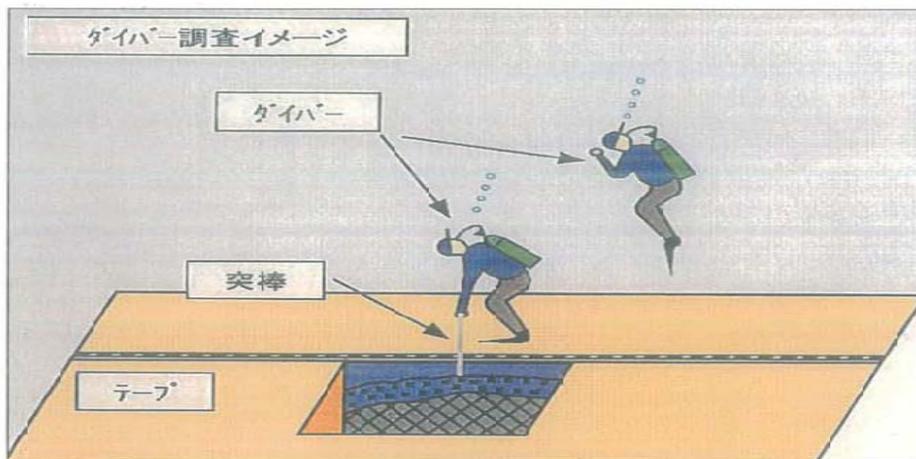
超音波地層探査



海底の地質、地層厚を調査

超音波地層調査

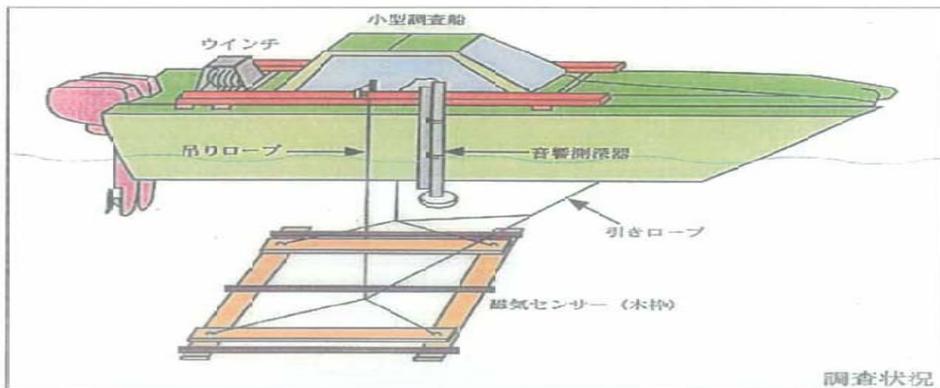
ダイバー調査



- ・ 突き棒による貫入長試験を実施
- ・ サンプリングによる地質の確認 (2箇所)

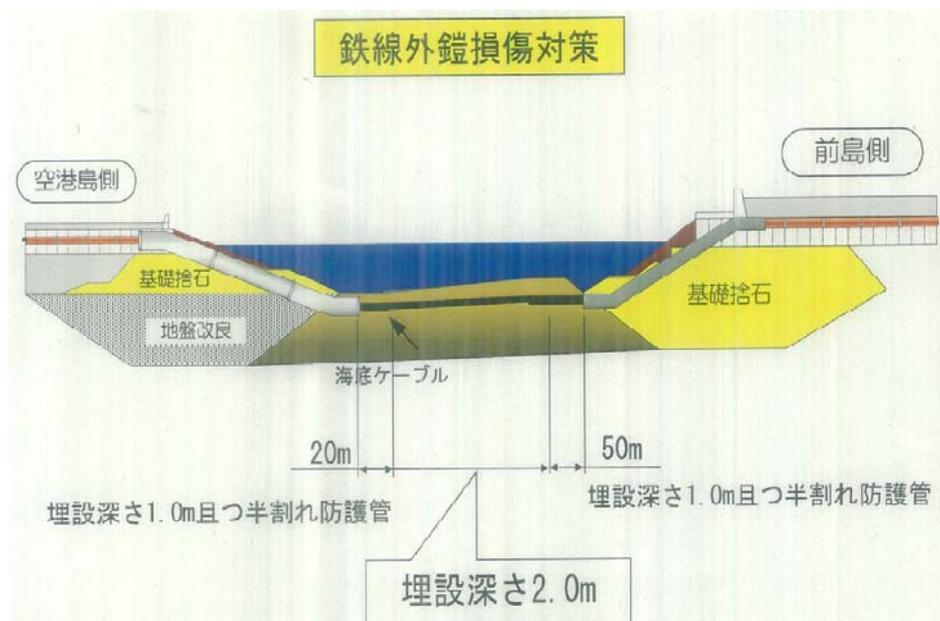
潜水夫調査

磁 気 探 査



磁気反応があった箇所については、ダイバーによる確認を実施

磁気探査



避免鐵線外傷對策

前島側管路製作狀況



預鑄混凝土節塊防護工法

空港島側管路製作狀況



鋼管防護工法

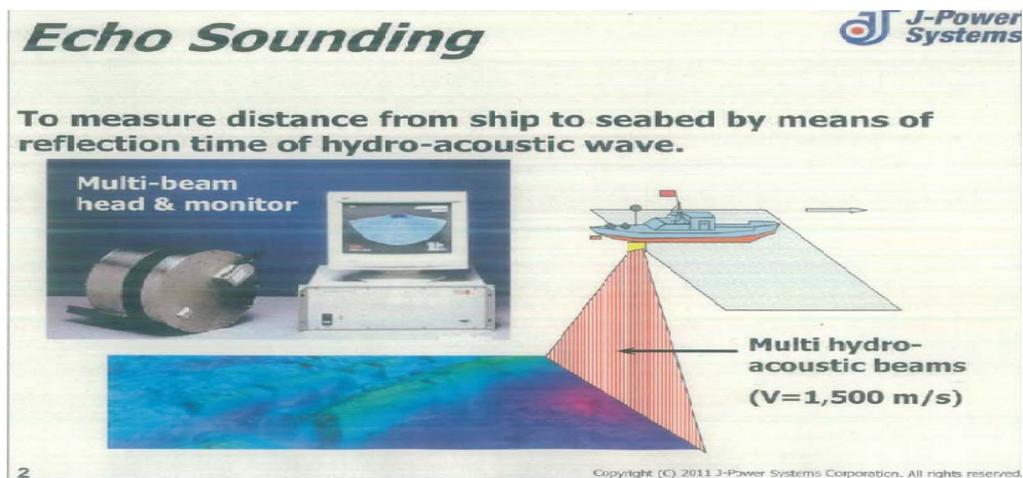
(八)問題提問與回答

針對本次主題海底電纜設計施工與維護技術，事前擬定問題提出與日本方面共同討論，分項整理如下表。

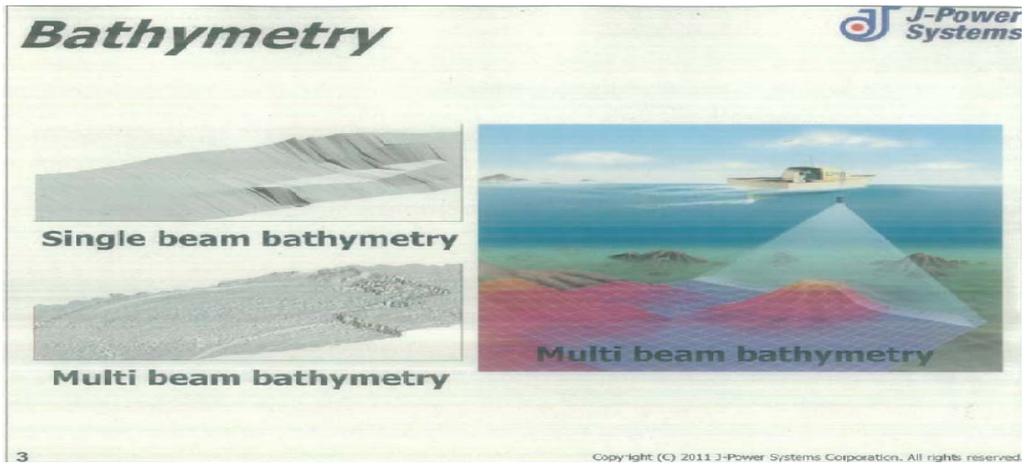
表 3.1 問題提問與回答

編號	問題	回答
1	海域調查如何辦理?海域週遭環境與自然條件對水下設備安全之影響評估?埋設海底電纜對生態環境之影響?	海底調查使用音波探查機(echo sound device)或測深機(bathymetry)。海纜布設路徑選擇避開海洋生物、岩盤、既設管線。珊瑚等必要移植。
2	如何辦理海底測量?海底電纜及其附屬設施之耐震設計如何考量?;抵抗海底潮流之抗拉設計考量;埋設於海中之抗蝕保護設計考量。	基本上，海纜埋置於海床下無須考慮地震影響。在強海流區域採用石塊保護(rock dumpling)或混凝土蓆保護(concrete mat)。抗蝕保護之鐵線外裝依客戶要求。
3	海底電纜的施工埋設(固定方式/深海施工/淺海施工)介紹。	深海部採用 ROV 和埋設機埋設；淺海部採用埋設機；更淺部先切割挖溝再埋海纜再回填。如果是在岩盤區(非埋設)採用石塊保護(rock dumpling)或混凝土蓆保護(concrete mat)。
4	海底電纜之構造、製造流程及其與一般電纜之差異。	導體/絕緣體，海纜和陸纜相同。海纜有遮水層鉛被覆層及鐵線鎧裝外裝外傷保護。陸纜有遮蔽層銅線，遮水層用金屬薄層 laminated metal tape
5	海底電纜若有故障其故障點找尋及如何修復(接續)。	先用 Murray loop 方法找到故障點，然後以潛水夫目視檢測故障點切斷海纜，然後再以預備海纜接續修復。

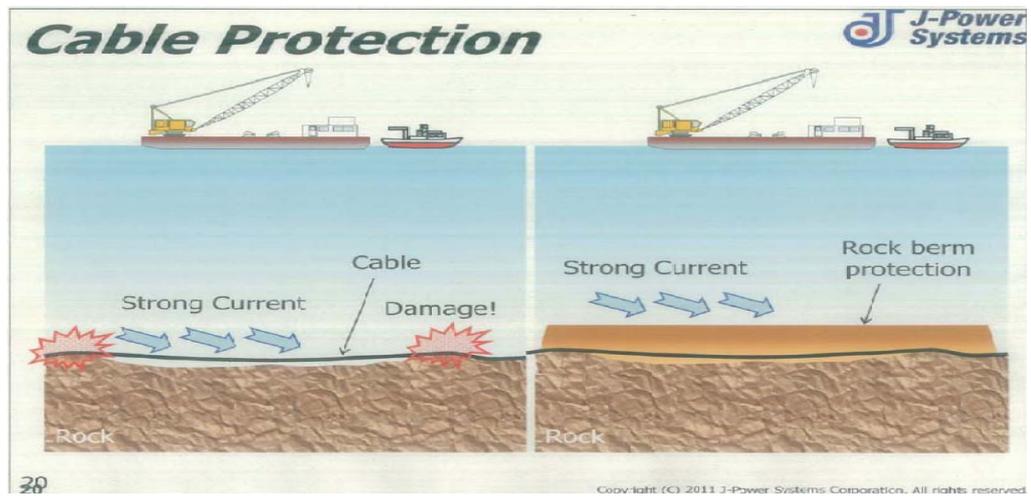
編號	問題	回答
6	海底電纜輸電系統遮蔽層接地系統。	兩末端遮蔽層經由接線盒直接接地。
7	海底電纜之維護機制(機電、土木設備)及緊急應變措施。	兩端接線盒開啟，檢查塑膠外套，以直流電加載。
8	目前於日本運轉中之海底電纜介紹。	目前主要有： 本州~北海道 DC250kV OFcable 約 45km 四國~本州 DC250kV OFcable 約 48km 九州五島 AC66kV XLPE cable 約 54km
9	海底電纜埋設於海底 2 公尺，其海纜結構安全評估。	當海纜埋設於海床下 2m 深，依不同土質狀況可抵抗船錨力如下： 砂層：8tons 錨(80,000tons 級船) 粘土：5tons 錨(20,000tons 級船)
10	海底電纜登陸段之土木結構如何保護及警戒措施。	通常海纜於近岸段會以鋼管保護再埋設於地底，所以不須考慮保護及監視。



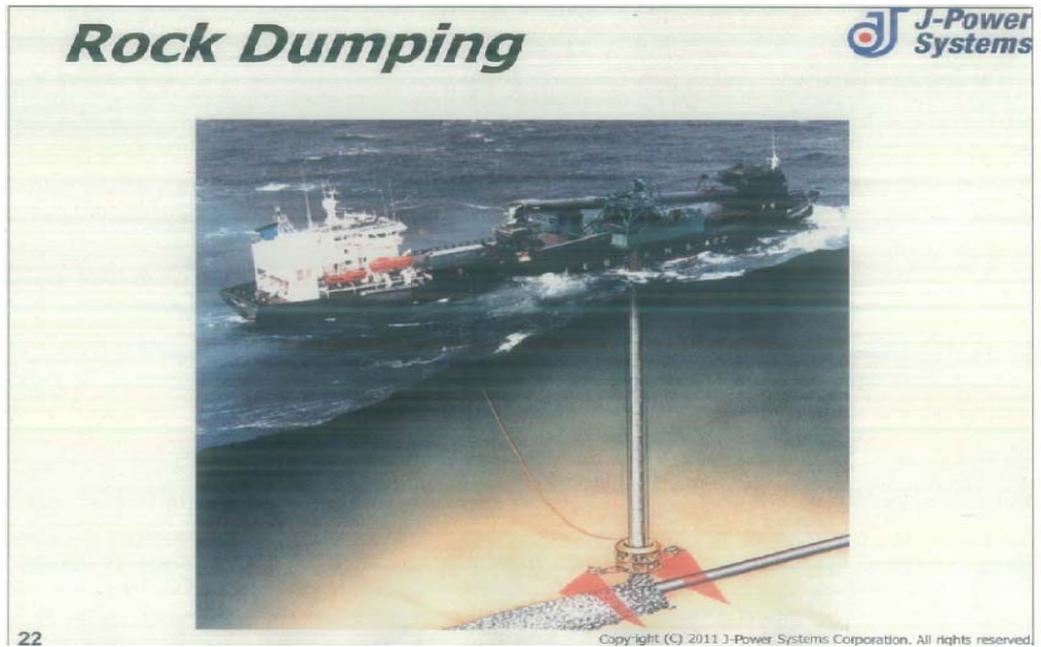
音波探查機



測深機



海底潮流保護



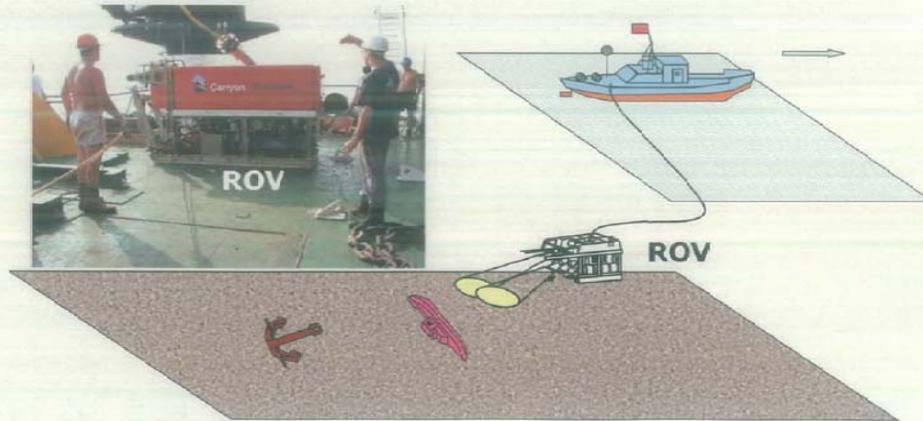
Rock Dumping 工法



Concrete Mattress 工法

ROV Survey

To visually inspect obstacles by mean of ROV equipped with CCD camera.



4

Copyright (C) 2011 J-Power Systems Corporation. All rights reserved.

ROV 調査

Pre trenching at shore



Cofferdam Installation

Dredging by Grab Dredger



17

Copyright (C) 2011 J-Power Systems Corporation. All rights reserved.

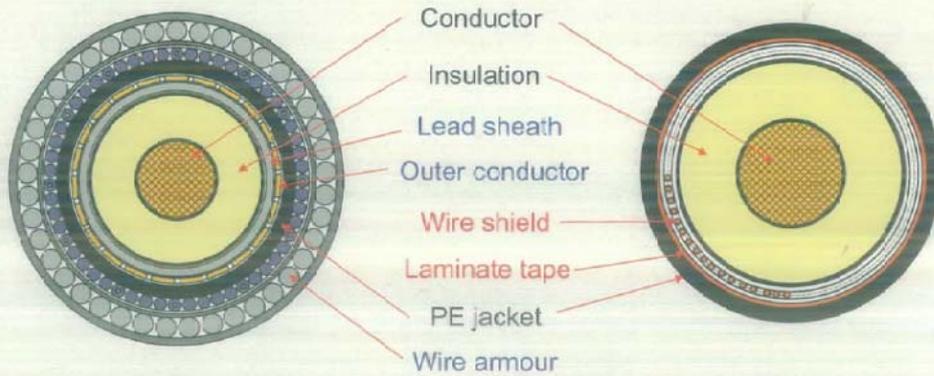
近岸區工法

Construction of Submarine cable and Land cable



Submarine Cable

Land Cable

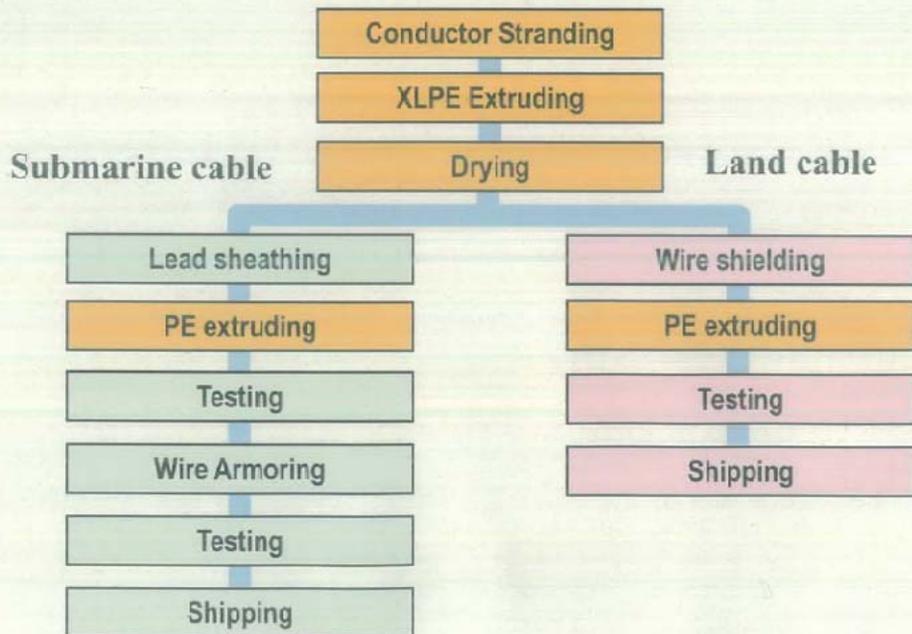


31

Copyright: (C) 2011 J-Power Systems Corporation. All rights reserved.

海纜與陸纜比較

Manufacturing Process of XLPE Cable



32

Copyright: (C) 2011 J-Power Systems Corporation. All rights reserved.

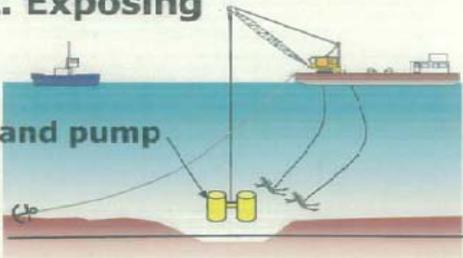
海纜與陸纜製造流程比較

1. Fault Location

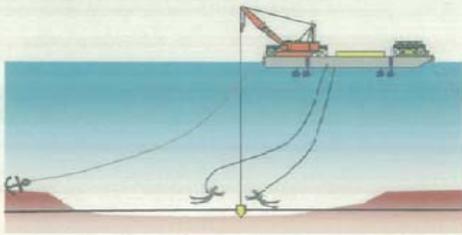
Fault location with a **pulse radar and/or Murray loop** shall be conducted.

2. Exposing

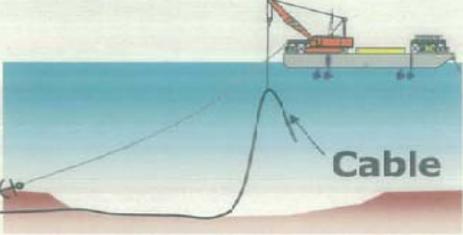
Sand pump

A diagram showing a ship on the surface and a sand pump on the seabed. A hose connects the pump to the seabed, and another hose goes up to the ship. The pump is used to clear sand from around the cable.

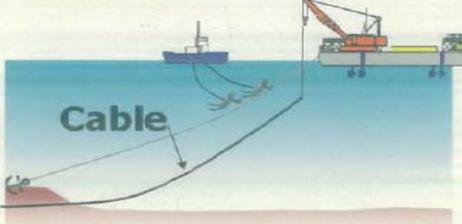
3. Cable Cutting

A diagram showing a ship on the surface with a crane. A cable is being lowered from the ship to the seabed. A cutting tool is positioned at the end of the cable on the seabed.

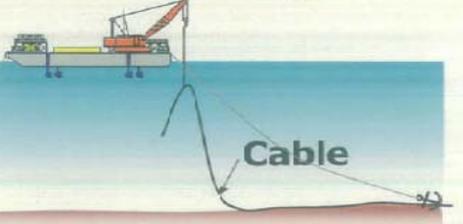
4. Cable Recovery

A diagram showing a ship on the surface with a crane. A cable is being pulled up from the seabed. The cable is labeled "Cable".

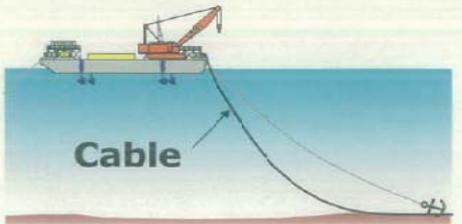
5. Cable Recovery

A diagram showing a ship on the surface with a crane. A cable is being pulled up from the seabed. The cable is labeled "Cable".

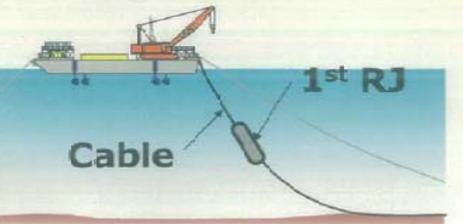
6. Cable Recovery

A diagram showing a ship on the surface with a crane. A cable is being pulled up from the seabed. The cable is labeled "Cable".

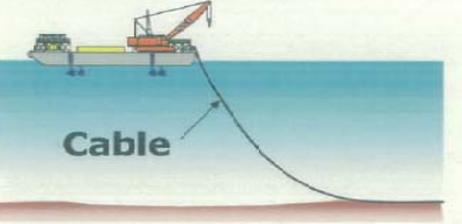
7. 1st Repair Joint

A diagram showing a ship on the surface with a crane. A cable is being pulled up from the seabed. The cable is labeled "Cable".

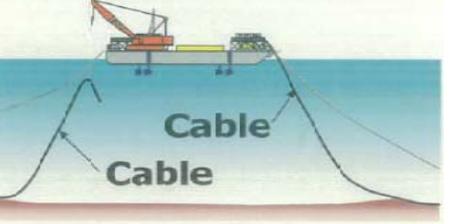
8. 1st Repair Joint

A diagram showing a ship on the surface with a crane. A cable is being pulled up from the seabed. A repair joint is being installed on the cable. The repair joint is labeled "1st RJ". The cable is labeled "Cable".

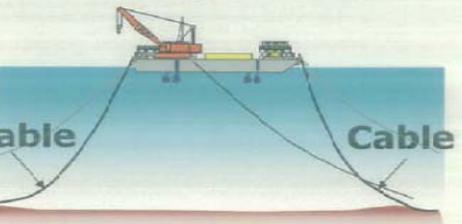
9. Cable Laying

A diagram showing a ship on the surface with a crane. A cable is being laid from the ship to the seabed. The cable is labeled "Cable".

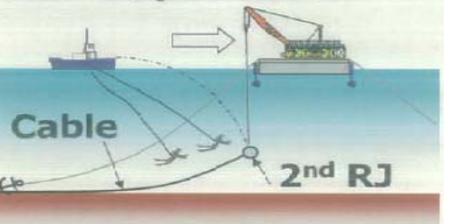
10. Cable Recovery

A diagram showing a ship on the surface with a crane. A cable is being pulled up from the seabed. The cable is labeled "Cable".

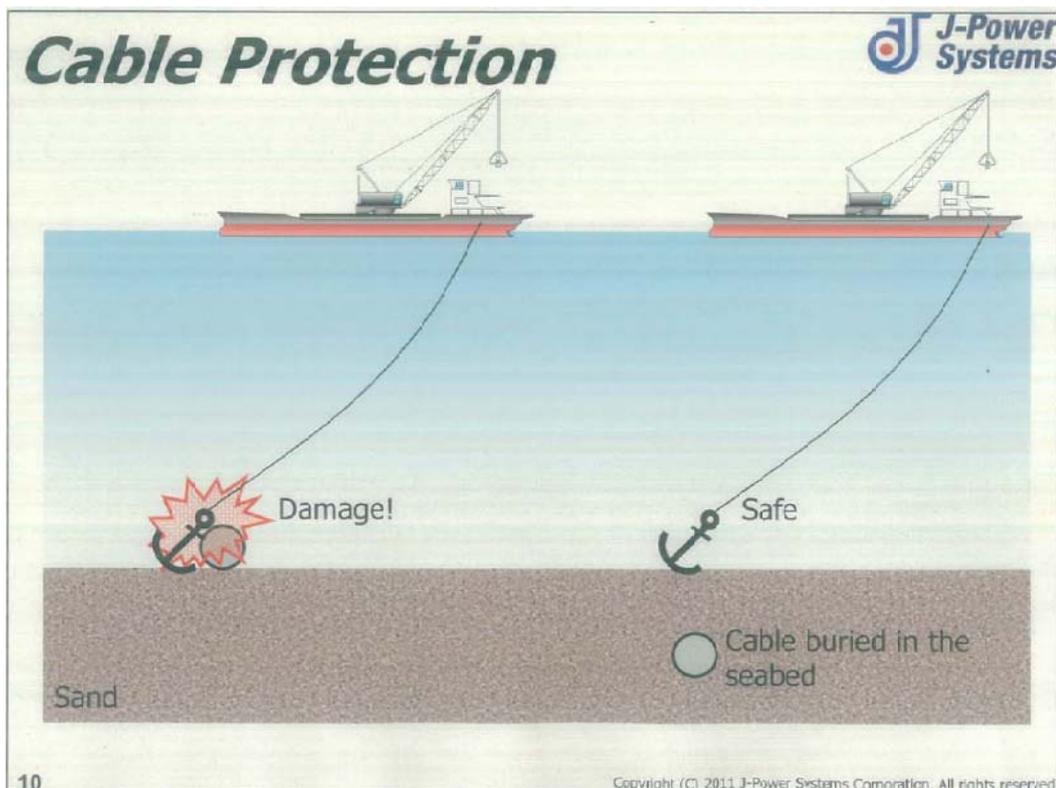
11. 2nd Repair Joint

A diagram showing a ship on the surface with a crane. A cable is being pulled up from the seabed. A repair joint is being installed on the cable. The repair joint is labeled "2nd RJ". The cable is labeled "Cable".

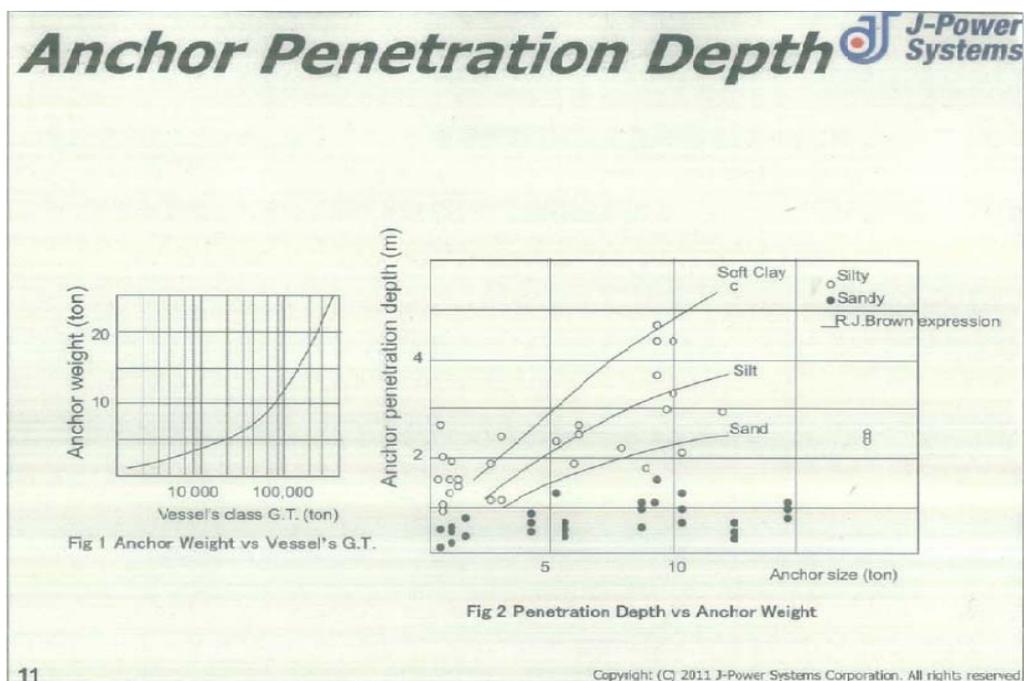
12. 2nd Repair Joint

A diagram showing a ship on the surface with a crane. A cable is being pulled up from the seabed. A repair joint is being installed on the cable. The repair joint is labeled "2nd RJ". The cable is labeled "Cable".

海纜故障 修復步驟



錨害/海纜保護示意圖



錨貫入深度查表