

出國報告（出國類別：實習）

參加美國電機電子工程師學會年會
及
電力系統分析短期課程

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：陳建堂 電機工程監

出國地區：美國

出國期間：99年7月19日至99年8月1日

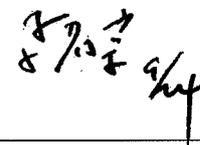
報告日期：99年9月

出國報告審核表

出國報告名稱：參加美國電機電子工程師學會年會及電力系統分析短期課程		
出國人姓名(2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位
陳建堂	區域規劃組組長	系統規劃處
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：99年7月19日至99年8月1日		報告繳交日期：99年9月23日
出國計畫主辦機關審核意見	■1.依限繳交出國報告 ■2.格式完整(本文必須具備「目的地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) ■3.無抄襲相關出國報告 ■4.內容充實完備。 ■5.建議具參考價值 ■6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式：	

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報 告 人	 99.9.23 陳建堂	審 核 人	單位  99.9.23 張忠良 主管處 主 管	總經理 副總經理	
-------------	---	-------------	---	-------------	---


 99.9.23
 李清

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加美國電機電子工程師學會年會及電力系統分析短期課程

頁數 48 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：

陳建堂	台灣電力公司	系統規劃處	區域規劃組組長	02-23666896
-----	--------	-------	---------	-------------

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：99 年 7 月 19 日至 8 月 1 日 出國地區：美國

報告日期：99 年 9 月

分類號/目：

關鍵詞：智慧電網(Smart Grid)、互通能力(Interoperability)、資安(Cyber Security)、商業輸電計畫 (Merchant Transmission Projects)、非傳統輸電系統擴充方式(non-Traditional Transmission)、線上動態安全評估(on-line DSA)

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、IEEE 年會為一頗受重視的國際性會議，今年，討論議題如智慧電網、線上動態安全評估、風電場整合技術、分散能源整合技術與標準等，均為電力公司關注之焦點，除了匯集各委員會專家的主管會議及專業訓練課程，與會發表的論文逾 1,000 篇。本次年會主題：*Power Systems Engineering in Challenging Times*，就是透過會議平台為電力產業目前新的重大議題或面臨的難題，提出新的視野、創新概念、解答與交流。
- 二、在 TVA 管理局高可靠度規範下，BSI 的分析工具提昇了分析規劃效率。該程式能處理超過 10 萬個匯流排，可讀取 PTI、EPRI 及 IEEE 電力潮流檔，可模擬並聯電容器、有載切換器、調相器、非線性負載、直流輸電線、FACTS 等設備，且在 PJM、CAISO 等公司有實用經驗。本公司未來在電力系統的模擬分析上，也逐漸面臨高速即時性的龐大數值分析要求，這方面，BSI 在理論研究與程式開發上都有出色成果。

參加美國電機電子工程師學會年會及電力系統分析短期課程

目 錄

壹、心得與建議事項	5
貳、出國緣由	9
參、出國行程	10
肆、參加美國電機電子工程師學會年會.....	11
一、美國電機電子工程師學會 PES 年會紀要.....	11
二、參加議程內容重點摘要.....	16
(一)智慧電網技術整合	16
(二)非傳統輸電系統擴充方式	27
(三)ON-LINE DSA 實務經驗.....	32
伍、電力系統分析課程研討.....	41
一、BSI 電力系統事故分析整合程式簡介	41
二、相關程式開發理論與評估實例.....	44

表目錄

表 1 出國行程表.....	10
表 2 美國電機電子工程師學會 PES 2010 年會活動議程	13
表 3 主管會議(SUPER SESSIONS)主題.....	16
表 4 訓練課程(TUTORIALS)單元.....	16
表 5 參與者與各領域間的界面關係	20
表 6 15 個優先行動方案與完成目標.....	22
表 7 利用在發展智慧電網風險評估上的相關文件	23
表 8 確認安全要件的其他文件	25
表 9 NY ISO 發展中商業輸電計畫.....	30
表 10 ISO NEW ENGLAND 發展中商業輸電計畫.....	30
表 11 TEPCO-BCU 性能評估彙整表.....	48

圖目錄

圖 1 美國電機電子工程師學會 PES 2010 年會	12
圖 2 智慧電網各領域互相關係	19
圖 3 發展智慧電網資通安全策略要件的的任務流程	24
圖 4 MATL 跨國境線路圖	31
圖 5 魁北克水力幹線系統	33
圖 6 魁北克水力 ON-LINE DSA 結構圖	34
圖 7 EIRGRID ON-LINE WSAT 結構圖	36
圖 8 BCTC 500KV 幹線系統結構圖	37
圖 9 線上暫態穩定度評估與控制的整合架構	44
圖 10 BCU 法的概念簡述	45
圖 11 TEPCO-BCU 的架構圖	46

壹、心得與建議事項

一、智慧電網的理念成為全球面對未來挑戰的共同選擇，其特徵從技術

觀點可作如下描述：

- 自癒：具備自我監視、診斷及修復等功能。
- 互動：揭露能源消費資訊兼具教導用戶節約及提高用電效率。
- 安全：從規劃、設計至施工、營運全程考量安全性。
- 高品質：適應高科技、自動化生產、資料中心用電。
- 潔淨化即插即用：適應各式智慧用電設備及提高再生能源佔比。
- 可市場化交易：支援全國或地區性的電力交易。
- 優化資產管理：降低成本提高營運效率。

二、智慧電網將革新我們的能源使用方式，創造 21 世紀的能源經濟，

從社經觀點其效能可綜述如下：

- 提高再生能源佔比，使人類使用能源潔淨化。
- 電動車輛的智慧型充電，促進電動車輛的普及。
- 消費者可明智的用電，管控電費帳單。
- 高效率電網調度，減少線損，提高電網營運效率。
- 減少配電停電時間，避免社會成本。
- 改善電力系統供電可靠度與安全性，提高生活品質。
- 節能減碳，改善地球暖化，促進人類生活環境的永續發展。

三、美國、歐盟及中國等均積極推動建構智慧電網，美國與歐盟都已發布了智慧電網整合上的互通能力(System Interoperability)初步標準。本公司目前也已設置「智慧型電網專案小組」，規劃分成短、中、長程三階段，並以電網安全與可靠、能源效率、用戶服務品質、分散型電源整合等 4 個目標領域來進行推動，同時以通訊協定整合、知識管理分享平台兩項做為支援。2010 年 1 月美國國家科技標準學會 (NIST) 發布了第一版互通能力標準的架構與方針 (NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0)，雖然國內電業開放程度、單一電價影響 AMI 在用戶端需求管理與需量反應成效、甚至於國情，都與美國情況大不相同，惟制定智慧電網建設的互通能力標準的重要性、概念架構與要求要項等內涵，仍值得國內參考學習。

四、近來美國跨州電力躉售市場成長的同時，一些不屬於發電或配電公司的獨立公司提出了「商業輸電計畫」(Merchant Transmission Projects) — 一種將公用事業設施商業化的非傳統輸電系統擴充方式，相較於傳統輸電系統擴充方式將成本直接計入電力公司的費率，「商業輸電計畫」增加了電力市場的競爭，美國聯邦能源管制委員會 (FERC) 為了確保相關費率、服務項目與條件是否正確合理與有無不當歧視，要求商業輸電所有者承擔計畫的全部市場風

險，公開計畫施工前後的剩餘或增加可利用容量，公開計價表，包括成立網站接受消費者及潛在消費者對費率、服務項目與條件是否正確合理與不當歧視有疑慮時之投訴，促使市場透明。目前 FERC 對商業輸電的基本管制政策如下：

- 促進市場的競爭。
- 防止市場勢力（壟斷傾向）的濫用。
- 保護消費者免於被挾持。
- 防止交叉補貼。
- 劃分風險。

五、從 PJM、Hydro-Quebec、BCTC、EriGrid 開發與運用線上動態安全評估工具（on-line DSA）的目的與經驗告訴我們，在如何即時掌握系統暫態穩定度、電壓穩定度、關鍵界面的電力傳輸極限以及建構智慧電網增加系統再生能源不穩定電源佔比的需求下，利用 on-line DSA 來提供系統調度人員關鍵性資訊，確保系統安全可靠，已是許多電業關注的一項可行方法。本公司在七輸計畫中編列了新調度中心計畫，配合建構的全新能源管理系統（EMS）亦宜兼顧其整合外部獨立應用程式的能力，俾將來進一步開發本公司專屬的 on-line DSA，若能運用 on-line DSA 來擴大系統運轉安全極限及增加電網傳輸容量，則在節省輸變電計畫投資又能確保

系統安全上（或如現況之系統擴充、改善投資計畫執行困難），也許有所助益。

六、本公司目前在電力系統規劃與未來發展上採取了一些創新或突破性的作法，例如規劃使用大容量導體輸電、多相復閉技術、靜態(同步)無效電力補償設備、特殊保護設備等，長遠目標著眼於建構智慧電網，智慧電網的理念已成為全球面對未來挑戰的共同選擇，國際間甚至於視為國家戰略議題，本公司也配合政府政策積極推動中，其兼容並蓄自動化及資訊化的特性，具備自我監視、診斷及修復等功能。相對的，在電力系統的模擬分析上，將面臨高速即時性的龐大數值分析性能要求，本公司可考慮與類似 BSI 在理論研究與程式開發上都有出色能力的研究團隊建立合作。

七、IEEE PES 2010 年會討論議題如智慧電網、風電場整合技術、線上動態安全評估、分散能源整合技術與標準等都為電力公司關注之焦點，除了匯集各委員會專家的主管會議及專業訓練課程，與會發表的論文逾 1,000 篇。本屆年會主題：*Power Systems Engineering in Challenging Times*，就是透過年會平台為電力產業目前新的重大議題或面臨的一些難題，提出新的視野、創新概念與答案，今年來自全球各地與會人員破紀錄達到 2,350 餘人，為一頗受重視的國際性會議，值得本公司多派人員參與學習。

貳、出國緣由

一、本屆美國電力與能源協會(IEEE PES)主辦之 IEEE PES 2010 年會主題為 *Power Systems Engineering in Challenging Times*，除了各領域的傑出論文發表，還有智慧電網、再生能源風力發電、電力品質、線上動態安全評估等熱門專題講座。值此台電電力系擴充困難，工程延宕，運轉上仍存在瓶頸，尤其衝擊尖峰時刻之供電安全，希望能借此行參加年會機會，獲取新知識，瞭解目前電力系統發展的趨勢，並蒐集相關新技術、新設備的運用經驗，俾在電網瓶頸改善方案研擬或未來系統長遠發展規劃上可茲借鏡。

二、近年來輸變電計畫執行困難，除了應變計畫或交替方案之檢討頻繁，本公司在電力系統規劃與未來發展上也採取了一些創新或突破性的作法，例如規劃使用大容量導體輸電、多相復閉技術、靜態(同步)無效電力補償設備、特殊保護設備等，長遠目標著眼於建構智慧電網，唯囿於計算內容龐大與時效要求，亟需要數值模擬分析的利器，美國康乃爾大學江教授所領導的研究團隊，在電力系統分析的理論研究與程式開發上都有極出色的成果，甚至獲得東京電力公司的青睞與合作。希望能借此行短期課程進一步了解其智慧型電力潮流分析、最佳化求解等系列整合處理程式在智慧電網規劃發展上的運用成效，作為本處提昇電力系統分析規劃作業的參考。

參、出國行程

99年7月19日自台北啟程，7/20到達康乃爾大學進行短期研討，7/24轉往明尼亞波利參加為期5天的IEEE PES 2010年會，7/30離開明尼亞波利經舊金山返回台北。出國行程及工作內容如表1。

表1：出國行程表

項次	起迄日	前往機構	機構所在 國家城市	詳細工作內容
1	99.07.19 ↓ 99.07.20			往程： 台北～紐約～伊薩卡
2	99.07.20 ↓ 99.07.23	康乃爾大學 (Cornell Univ.)	美國	電力系統分析研討課程
3	99.07.24			往程： 伊薩卡～明尼亞波利
4	99.07.25 ↓ 99.07.29	IEEE PES 2010年會	美國	參加美國電力與能源協會主辦之IEEE PES 2010年會
5	99.07.30 ↓ 99.08.01			返程： 明尼亞波利～舊金山～台北

肆、參加美國電機電子工程師學會年會

一、美國電機電子工程師學會 PES 年會紀要

美國電機電子工程師學會 PES 2010 年會(IEEE PES General Meeting 2010) 於 7 月 25 日至 7 月 29 日共 5 天於明尼蘇達，明尼亞波利市舉行，詳細年會活動議程如表 2。本屆年會主題：*Power Systems Engineering in Challenging Times*，就是透過年會平台為電力產業目前新的重大議題或面臨的一些難題，提出新的視野、創新概念、解答與交流，除了各領域的傑出論文發表，還有智慧電網、再生能源風力發電、電力品質、線上動態安全評估等熱門專題講座，與會發表的論文逾 1,000 篇，來自全球各地與會人員破紀錄達到 2,350 餘人，為一頗受重視的國際性會議。會員大會由 PES 總經理 Alan Rotz 主持，除了介紹 PES Division VII 的 4 位 2011 年董事候選人，並邀請 Ken Rose、Jerry Jackson、Steve Caldwell 及 Giuliano Monizza 等 4 位知名人士，在中會就能源政策與相關基礎建設專題演講。

首先 Ken Rose 以 *The Big Picture View from the Dismal Science* 為主題，回顧電力供需的特性及賴以產生電力的資源如何短缺，包括環境的限制，將改變電力供應工業運作的思維；接著 Jerry Jackson 以 *What Economics Really Tell Us about our Energy Future*

為主題，檢視了經濟復甦對未來石油、天然氣及電的價格代表意義和資源短缺、科技發展及碳稅等議題如何衝擊我們熟悉的能源供需模型等問題；第三位演講人 Steve Caldwell 以 *Electricity Demand in a Low-Carbon Energy Future* 為主題，聚焦在當前趨勢的訊息論述也許將顯著影響未來電力需求，包括電力管制的重整、新的效率標準及在對教育用戶用電上一些新增與創新的方法和衝擊；最後來自 T&D Europe 的 Giuliano Monizza 以 *Enabling the Future Sustainable Energy System* 為主題為大會作個總結。（會場情形如圖 1）



表 2：美國電機電子工程師學會 PES 2010 年會活動議程

Day	Time	Event/Sessions
7/25 Sun.	All Day	Registration/Information/Paper Market
.	AM & PM	Committee Meetings
.	.	Plain Talk Courses (co-located event, separate registration required)
.	.	Tutorial*
.	PM	Companion Tour
.	.	New Attendees Orientation (2 sessions – 3:00 and 4:00 PM)
.	Evening	Welcome Reception at Nicollet Island Pavilion (6:00-10:00PM)
7/26 Mon.	All Day	Registration/Information/Paper Market
.	AM	Attendee and Presenter Breakfasts; Companion Breakfast
.	.	PES Members Meeting (8:00-9:00AM)
.	.	Plenary Session (9:00-11:00AM)
.	.	Technical Tours*; Companion Tours*
.	.	Committee Meetings (starting at 11:00AM)
.	PM	Committee Meetings; Tutorials*, Technical Sessions (starting at 1:00PM)
.	.	Technical Tours*; Companion Tours and Lounge Program*
.	Evening	Poster Session, Student Poster Contest, Fellows Reception, Candidates Meet-and-Greet (co-located) (5:00-7:00PM)
.	All Day	Plain Talk Course (co-located event, separate registration required)
.	.	Tutorial*
.	AM	Attendee and Presenter Breakfasts; Companion Breakfast
.	.	Committee Meetings, Technical Sessions
.	.	Technical Tours*; Companion Tours and Lounge Program *
.	PM	Committee Meetings, Technical Sessions
.	.	Technical Tour*; Companion Tour and Lounge

		Program *
.	Evening	Awards Dinner and Ceremony (7:00-9:30PM)
7/27 Tues.	All Day	Registration/Information/Paper Market
.	All Day	Plain Talk Course (co-located event, separate registration required)
.	.	Tutorial*
.	AM	Attendee and Presenter Breakfasts; Companion Breakfast
.	.	Committee Meetings, Technical Sessions
.	.	Technical Tours*; Companion Tours and Lounge Program *
.	PM	Committee Meetings, Technical Sessions
.	.	Technical Tour*; Companion Tour and Lounge Program *
.	Evening	Awards Dinner and Ceremony (7:00-9:30PM)
7/28 Weds.	All Day	Registration/Information//Paper Market
.	All Day	Plain Talk Course (co-located event, separate registration required)
.	.	Tutorial*
.	AM	Attendee and Presenter Breakfasts; Companion Breakfast
.	.	Committee Meetings, Technical Sessions
.	.	Technical Tour*; Companion Tour and Lounge Program *
.	12-3:00PM	Student/Industry/Faculty Luncheon and Job Fair*
.	PM	Committee Meetings, Technical Sessions
.	.	Technical Tour*; Companion Tour*
.	Evening	WIE-PES Networking Reception (5:00-7:00 PM)
.	.	GOLD Reception and Seminar (5:00-7:00 PM)
.	.	Mississippi Riverboat Cruise and Casino Night* (6:00-10:00PM)
7/29 Thurs.	AM	Registration/Information//Paper Market
.	All Day	Plain Talk Course (co-located event, separate registration required)
.	.	Tutorial*
.	AM	Attendee and Presenter Breakfasts; Companion

		Breakfast
.	.	Committee Meetings, Technical Sessions
.	.	Companion Lounge Program*
.	PM	Committee Meetings, Technical Sessions
7/30 Fri.	All Day	Committee Meeting

此行除出席會員大會外主要為在技術議程中選擇有關議題參加，主要的技術議程概分為主管會議(Super Sessions)、論文發表會(Paper Sessions)、訓練課程(Tutorials)、海報競賽(Poster Sessions)。其中主管會議(Super Sessions)係由 PES 各委員會主管級或資深專家進行專題發表，本次主管會議(Super Sessions)共有 7 大主題（詳如表 3），論文發表會(Paper Sessions，大會提供所有論文的電子檔)則由各領域學者專家主持大會接受之論文發表與討論、訓練課程(Tutorials)共有 9 大單元（詳如表 4），需另行登記付費參加，完成訓練者可獲得 PDHs（Professional Development Hours）時數或換算成 CEUs（Contnuing Education Units）點數（10PDHs=1.0CEUs），海報競賽(Poster Sessions)則提供在學會員發表研究成果並進行競賽評比。另外大會也安排需另行登記付費的參觀行程。由於 5 天近 150 場的議程分別在明尼亞波利市會議中心約 30 個會議室中各自進行，故只擇要的對電力系統相關又有興趣的熱門或重要議題如 Smart Grid、Merchant Transmission、non-Traditional Transmission、on-line DSA 等參與學習。

表 3 主管會議(Super Sessions)主題

Super sessions	Smart Grid Technology Integration
	Integration of Plug-in Hybrid and Electric Vehicles: International Experience
	Power System Analytics that Empower the Smart Grid
	Deploying Intelligence to the Smart Grid
	Optimal Methods for DG Integration
	Flexible Distribution Network Planning to Accommodate DG Integrations
	T&D Impacts form High Penetration of PV Solar

表 4 訓練課程(Tutorials)單元

Tutorial #1	Wind Plant Collector System Design
Tutorial #2	Voltage Sourced Converters
Tutorial #3	Smart Distribution Systems
Tutorial #4	Transient Analysis of Power Systems : Solution Techniques, Tools, and Applications
Tutorial #5	Synchronized Phasor Measurements : Fundamentals and Applications
Tutorial #6	Power Quality-From Lightning to Harmonics : Problems and Solutions
Tutorial #7	Breaker Failure
Tutorial #8	Smart Grid 101 : The Basics of Smart Grid
Tutorial #9	Smart Grid Cybersecurity : Protecting the Smart Grid

二、參加議程內容重點摘要

(一)智慧電網技術整合

智慧電網的理念成為全球面對未來挑戰的共同選擇，其

特徵從技術觀點可作如下描述：

- 自癒：具備自我監視、診斷及修復等功能。
- 互動：充分揭露能源消費資訊，兼具教導用戶節約用電及提高用電效率。
- 安全：從規劃設計至施工營運全程考量安全性。
- 高品質：適應高科技自動化生產資料中心用電。
- 潔淨化即插即用：適應各式智慧用電設備及提高再生能源佔比。
- 可市場化交易：支援全國或地區性的電力交易。
- 優化資產管理：降低成本提高營運效率。

智慧電網將革新我們的能源使用方式，創造 21 世紀的能源經濟，從社經觀點其效能可綜述如下：

- 提高再生能源佔比，使人類使用能源潔淨化。
- 電動車輛的智慧型充電，促進電動車輛的普及。
- 消費者可聰明的用電，管控電費帳單。
- 高效率電網調度減少線損，提高電網營運效率。
- 減少配電停電時間，避免社會成本。
- 改善電力系統供電可靠度與安全性，提高生活品質。
- 節能減碳，改善地球暖化，促進人類生活環境的永續發

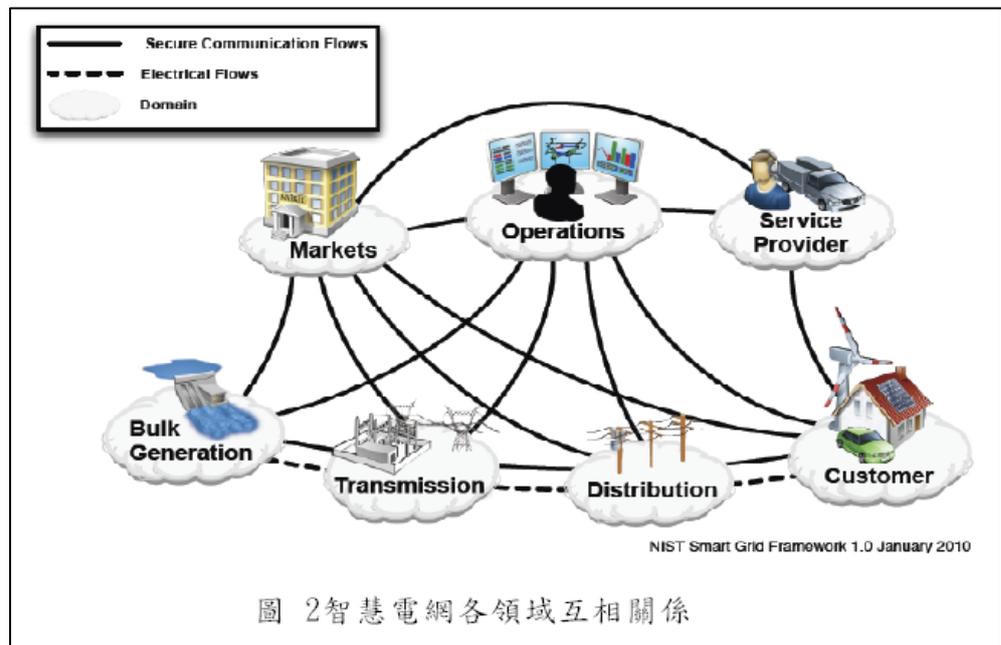
展。

智慧電網就是整合了電力與資訊兩大基礎設施來建構上述的技術特性與經濟環保效能。而制定兩大基礎設施間互通能力（Interoperability）與資安（Cyber Security）標準，乃整合上的關鍵工作，而且對各類智慧電網元件的設置佈署，包括智慧感應器、智慧電錶、自動化饋線以及分散的再生能源都已經上路的情形下，相關的協定與標準之制定乃有其急迫性。美國電力與電子工程師協會（IEEE）對互通能力（可互操作性）的定義為「兩個或多個系統或組成部分之間可交換訊息以及對所有已經交換的訊息加以使用的能力」，自歐巴馬總統 2009 年 1 月發布振興經濟方案，聲稱將大力支持建立智慧電網來適應未來地球環境與新能源發展的局面起，當年 5 月美國能源部長朱隸文與商務部長駱家輝聯合召開了智慧電網互通能力的第一場諮詢會議，廣納建立智慧電網互通能力標準的各方意見，2010 年 1 月美國國家科技標準學會（NIST）就發布了第一版智慧電網互通能力標準的架構與方針（NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0）。雖然國內電業開放程度、單一電價影響 AMI 在用戶端需求管理與需量反應成效、甚至於國情，均

與美國情況大不相同，惟制定智慧電網建設的互通能力標準的重要性、概念架構與要求要項等內涵，仍值得國內參考學習，茲概述如下：

1. 智慧電網概念的結構性參考模型

NIST 發展一概念的結構性參考模型以利呈現智慧電網各領域互相間複雜的關係（如圖 2），利用此模型提出方法分析使用案例，辨識需要互通能力標準的界面以及促進資安策略的研發，NIST 確認了模型的七大領域分別為消費者、電力市場、調度中心及服務、發、輸、配電業者。也利用此模型釐清了其中參與者（Actors）與各領域（Domains）



間的界面關係（如表 5），包括需要互通能力標準時的資訊交換要求上的運用。模型未來將由 SGIP（Smart Grid

Interoperability Panel) 所屬的 SGAC (Smart Grid Architecture Committee) 進一步主導發展，SGIP 則是 2009 年 11 月成立，為利益關係者提供公開程序參與標準制定的諮詢委員會。

表 5 參與者 (Actors) 與各領域 (Domains) 間的界面關係

Domain	Actors in the Domain
Customers	The end users of electricity. May also generate, store, and manage the use of energy. Traditionally, three customer types are discussed, each with its own domain: residential, commercial, and industrial.
Markets	The operators and participants in electricity markets.
Service Providers	The organizations providing services to electrical customers and utilities.
Operations	The managers of the movement of electricity.
Bulk Generation	The generators of electricity in bulk quantities. May also store energy for later distribution.
Transmission	The carriers of bulk electricity over long distances. May also store and generate electricity.
Distribution	The distributors of electricity to and from customers. May also store and generate electricity.

2. 智慧電網標準制定的優先順序。

智慧電網最終將規定數以百計的標準、規範及必要條件，有些標準被急切的需要更甚於其他，因此為了在制定工作上劃分化優先順序，NIST 根據 FERC 的智慧電網政策聲明內涵，訂定 8 個優先作業區域如下：

- 需量反應與用戶能源使用效率 (Demand Response and Consumer Energy Efficiency)。
- 廣域的情境察覺 (Wide-Area Situational Awareness)。

- 能源儲存 (Energy Storage)。
- 電動交通運輸 (Electric Transportation)。
- 先進讀表系統 (Advanced Metering Infrastructure)。
- 配電網路管理 (Distribution Grid Management)。
- 資通安全 (Cyber Security)。
- 網路通訊 (Network Communications)。

3. 智慧電網互通能力標準確認的執行情形。

基於利益關係者的提供與 NIST 的專業判斷，初版智慧電網互通能力標準的架構與方針確認了 75 筆立即可運用並持續轉換到智慧電網的標準、規範及準則，其中第一組 25 筆是經過三輪審查與評論的產物，另第二組 50 筆則是在第二、三輪審查與評論時利益關係者的提供為基礎所建立的。在這二組標準中有些是成熟的，有些則需要修訂以適應在智慧電網上的運用與要求，有些則僅止於草擬階段，尚不適於公開。同時，對最終要求能建立可互通的（可互相操作的）智慧電網的標準總數來說，75 筆標準只代表其中的一小筆。

NIST 發展了一些準則來指導智慧電網互通能力標準的評估。然而，NIST 認為智慧電網互通能力標準是公開的，也

就是說這些標準的發展與維持是一個公開相關團體參與、共同合作與凝聚共識的程序，而非由單一組織或集團主導或掌控。

4. 優先行動方案。

透過研討會，NIST 決定許多潛在有用的標準能被用來滿足智慧電網必要條件之前，必須予以修訂或強化。另外，由利益關係者認定的一些缺口也需發展一些全新的標準，總數約 70 個的缺口或相關的問題被確認。於此，NIST 選定了 15 個支援一個或更多的智慧電網優先區域最急切需要處理的優先行動方案（Priority Action Plans，PAPs），15 個優先行動方案與完成目標如表 6。

表 6 15個優先行動方案與完成目標

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Smart meter upgradeability standard (completed)• Common specification for price and product definition (early 2010)• Common scheduling mechanism for energy transactions (early 2010)• Common information model for distribution grid management (year-end 2010)• Standard demand response signals (early 2010)• Standards for energy use information (mid 2010)• DNP3 Mapping to IEC 61850 Objects (2010)³• Harmonization of IEEE C37.118 with IEC 61850 and precision time synchronization (mid 2010)• Transmission and distribution power systems models mapping (year-end 2010)• Guidelines for use of IP protocol suite in the Smart Grid (mid 2010)• Guidelines for use of wireless communications in the Smart Grid (mid 2010)• Energy storage interconnection guidelines (mid 2010)• Interoperability standards to support plug-in electric vehicles (year-end 2010)• Standard meter data profiles (year-end 2010) |
|--|

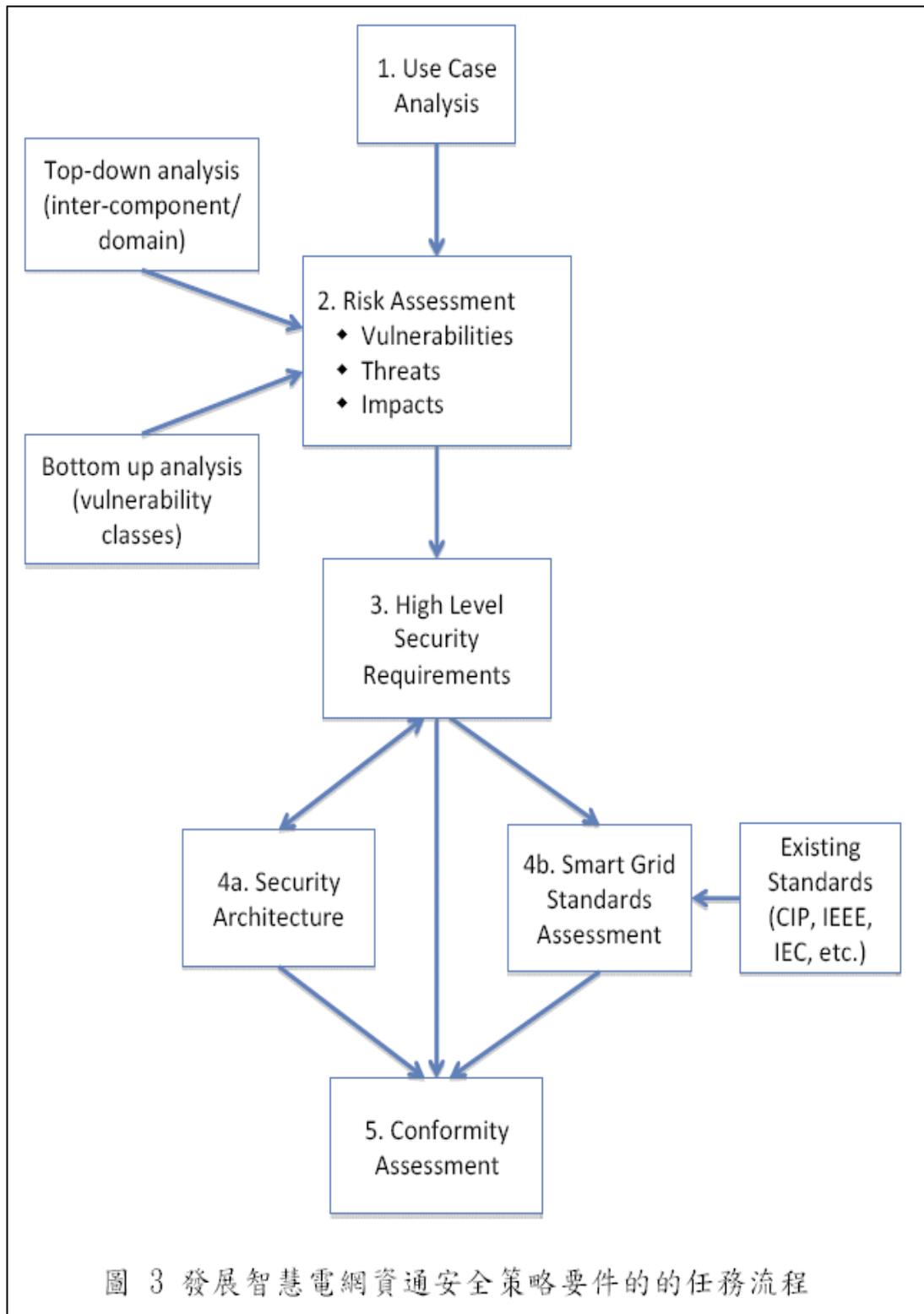
註：DNP3—the Distributed Network Protocol 3

5. 資通安全策略與要件。

在完成智慧電網建構上，資訊科技（IT）與無線通訊基礎建設對確保供電行業的可靠與安全已經變得很重要，因此，IT 的資料與系統的安全必須由益加多樣化的供電行業來處理，資通安全不僅僅要處理來自不滿員工、工業間諜或恐怖份子的蓄意攻擊，還包括使用者失誤、設備當機及天然災難等對資訊基礎設施的意外損害。NIST 領導由來自公私部門近 300 人組成的資安協調任務小組 CSCTG (Cyber Security Coordination Task Group) 負責智慧電網資通安全策略與資安要件的發展。所利用在發展智慧電網風險評估上的相關文件如表 7，發展智慧電網資通安全策略要件的任務流程如圖 3，各階段任務的定義概述如下：

表 7 利用在發展智慧電網風險評估上的相關文件

- National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Publication (SP), 800-39, *DRAFT Managing Risk from Information Systems: An Organizational Perspective*, April 2008;
- Federal Information Processing Standard (FIPS) 200, *Minimum Security Requirements for Federal Information and Information Systems*, March 2006;
- FIPS 199, *Standards for Security Categorization of Federal Information and Information Systems*, February 2004;
- North American Electric Reliability Corporation (NERC), *Security Guidelines for the Electricity Sector: Vulnerability and Risk Assessment*, 2002;
- *The National Infrastructure Protection Plan*, 2009;
- The IT, telecommunications, and energy sectors sector-specific plans (SSPs), initially published in 2007 and updated annually; and
- ANSI/ISA-99, *Manufacturing and Control Systems Security, Part 1: Concepts, Models and Terminology*, 2007 and *Part 2: Establishing a Manufacturing and Control Systems Security Program*, 2009.



● Task1 選定考量資通安全的利用案件

從一些現存的原始資料中如 Intelligrid、EPRI 或 SCE 公

司選取利用案例，這一組利用案例提供共同的架構來執行風險評估、發展資安架構及選訂資安要件。

● Task2 執行風險評估

風險評估包括辨認弱點 (Vulnerabilities)、衝擊 (Impacts) 與威脅 (Threats)，評估結果將形成資安要件選擇與要件間缺口辨識的基礎。

● Task3 高階安全要件的規範

許多現存文件也許可運用在智慧電網，但目前只有北美電力可靠度公司 (North American Electric Reliability Corporation, NERC) 對輸電幹線系統的關鍵基礎設施保護標準 (Critical Infrastructure Protection standards, CIP) 有強制力，CSCTG 的成員另外確認了在其他文件 (表 8) 中的安全要件與智慧電網有單一或多個層面的關聯。

表 8 確認安全要件的其他文件

- NERC CIP 002, 003-009
- IEEE 1686-2007, *IEEE Standard for Substation Intelligent Electronic Devices (IEDs) Security Capabilities*
- *Security Profile for Advanced Metering Infrastructure*, v 1.0, Advanced Security Acceleration Project – Smart Grid, December 10, 2009
- *Utility AMI Home Area Network System Requirements Specification*, 2008
- IEC 62351 1-8, Power System Control and Associated Communications - Data and Communication Security

- Task4a 安全架構的發展

工作第一步就是評估並修訂功能性優先區域圖表，CSCTG 進一步利用智慧電網概念模型、優先區域利用案例圖表以及 AMI 和配電網路管理的外加區域發展出更細緻的智慧電網功能性架構 (functional architecture for Smart Grid)。第二步工作即運用概念參考模型與功能性架構發展出智慧電網資通安全的架構。這智慧電網資通安全架構將覆蓋在這架構的安全要件上，其目的在確保資通安全如同智慧電網安全要件被審慎剖析般處理。

- Task4b 智慧電網標準的評估

本階段將完成資安要件間缺口的辨識以及作成處理缺口的建議。有衝突的標準和標準與資安要件不一致部分也依建議來確認。

- Task5 一致性評估

最後階段任務是發展資安要件一致性評估的程序，評估程序將配合 SGIP 測試與認證委員會定義的一些動作。

(二)非傳統輸電系統擴充方式

有別於 90 年代以前傳統由電力公司集中式規劃、投資開發及運轉調度的擴充方式，來自 FERC (Federal Energy Regulatory Commission) 的經濟顧問 O'Neill 主任發表了「商業輸電」(Merchant Transmission) — 一種將公用事業設施商業化的新輸電系統擴充方式，相較於傳統輸電系統擴充成本直接計入電力公司的費率，新的輸電系統擴充方式「商業輸電」增加了電力市場的競爭，同時探討了對這種新方式管制的基本原理以及為何導致更有效率的市場。

近來美國跨州電力躉售市場成長的同時，一些不屬於發電或配電公司的獨立公司提出了「商業輸電計畫」(Merchant Transmission Projects)，FERC 的責任在確保費率、服務項目與條件是否正確合理與有無不當歧視，因此要求商業輸電所有者承擔計畫的全部市場風險，公開計畫施工前後的剩餘或增加可利用容量，公開計價表，包括成立網站接受消費者及潛在消費者對費率、服務項目與條件是否正確合理與不當歧視有疑慮時之投訴，促使市場透明。FERC 對商業輸電 (Merchant Transmission) 的現存基本管制政策如下：

- 促進市場的競爭。

- 防止市場勢力（壟斷傾向）的濫用。
- 保護消費者免被挾持。
- 防止交叉補貼。
- 劃分風險。

在美國有關非傳統輸電（non-Traditional Transmission）的線路擴充方式，會中發表了相關研討與計畫發展成果：

1. 在美國東北地區包括各獨立電網（ISO/RTOs）的互連，非傳統輸電的線路擴充方式已有規劃實施的實例，基本上商業輸電計畫（Merchant Transmission Projects）從規劃、執行到運轉均依循 FERC、ISO/RTOs、OATT（Open Access Transmission Tariff）、TCCs（Transmission Congestion Contracts in NY ISO）、FTRs（Financial Transmission Rights in ISO New England）的管制或規範，用在攸關商業輸電業者收益的電力潮流控制技術包括高壓直流輸電（HVDC）、變頻變壓器（VFT, Variable Frequency Transformers）、相位調整器（PARs, Phase Angle Regulators）等。

目前在紐約州與鄰近各州之間運轉中的商業輸電計畫有 3 個商轉案例：

- Cross Sound Cable

橫跨康乃狄克州 New Haven 與紐約州 Brookhaven 間 24 英哩的海底電纜，雙向可輸送康乃狄克與長島（Long Island）之間電力 300MW，在 2003 年美東大停電之後開始商轉。

- Neptune

從紐約州 Long Island 到紐澤西州 Sayreville 全長 65 英哩的 HVDC 海陸電纜連絡線，在 NY ISO 與 PJM 電力市場間可輸送電力 660MW，在 2007 年 7 月開始商轉。

- Linden VFT

從紐約市 Staen Island 的 345Kv Goethals 變電所到 PJM 的 230Kv Linden Cogen 變電所非同步連絡線，在 NY ISO 與 PJM 電力市場間可輸送電力 300 MW，在 2009 年 11 月開始商轉。

在終止並自 NY ISO 發展中商業輸電計畫連絡線候選案件中撤銷 17 件之後，目前仍有 6 件積極發展中，其名稱、額定容量、電壓別及商轉日期如表 9。至於 ISO New England，在 24 件計畫自其連絡線候選行列中撤銷之後，也仍有 6 件商業輸電計畫積極發展中，其名稱、額定容量、

電壓別及商轉日期詳如表 10。

表 9 NY ISO發展中商業輸電計畫表

Project Name	Rating (MW)	Type	Interconnection Point	In-Service Date
CityGreen	1100	DC	Millwood - Farragut/Rainey 345kV	2012/Q3
New York Wire-Phase 1	550	DC	JCP&L's 230kV Larrabee Sub - Gowanus 345kV	2013/12
Champlain Wind Link I	600	AC	Plattsburgh - New Haven, VT 230kV	2014/06
Champlain Wind Link II	600	AC	Plattsburgh - New Haven, VT 345kV (Alt. to #343)	2014/06
Transmission Developers NYC	1000	DC	Hertel(HQ) - Gowanus 345kV	2014/Q1
Clay HVDC	2000	DC	1st 1000MW: Clay 345kV - Sherman Creek 138 kV 2nd 1000MW: to Singer in N England (Conn).	2014/Q1

表 10 ISO New England發展中商業輸電計畫表

Project Name/Alternative	Interconnection Point	In-Service Date
Two terminal, 1000 MW, 500 kV, dc line	Hertel S/S in Quebec or Clay S/S in NY and Singer S/S in CT	3/31/2014
Two terminal, 1000 MW, 500 kV, dc line	Maine Yankee Substation, South Boston Substation	3/31/2014
HVDC Line	Orrington ME and Boston, MA	3/31/2014
345/230 kV DC Line	Plattsburg, NY to New Haven, VT	6/1/2014
345 kV Tie Line	Houlton to MEPCO Line	7/1/2012
345 kV Tie Line	Bridgewater, ME to MEPCO Line	12/1/2011

2. Rocky Mountain Power 的 Director Lorry Wilson 介紹了第一條商業輸電計畫跨越美加邊境的 Montana Alberta Tie

Line (MATL) 的規劃與發展情形。MATL 全長 345 公里連接南邊美國 Great Falls, Montana 的 240kV 電網到北邊加拿大, Alberta 的 230kV 電網，在 Lethbridge 設置一台 300MVA +/-70 度的調相變壓器，2005 年開始規劃，計畫資金預算 2 億美金，核准的傳輸契約容量 600MW，MATL 已將他的跨國境商業輸電計畫線路容量出售給計劃在美國 Montana 中北部開發風力發電的公司，選定商轉日期是 2011 年。MATL 跨國境線路圖如圖 4。



圖 4 MATL 跨國境線路圖

MATL 的電力潮流將由在 Lethbrige 的 300MVA +/-70 度調相變壓器控制，遙控端在 Great Fall, Montana，在 Marias, Montana 的中點站（midpoint station）可容許注入 600MW 的再生能源，電力潮流流向南北各半，串聯補償將裝設在 Marias 的南北匯流排，另外電壓也由裝設在 Marias 南北匯流排的併聯電容器補償，MATL 的運轉將配備單相跳脫和投入的方式，導線（Falcon 等級）的額定容量在炎熱無風的夏日為 600MW。

(三)on-line DSA 實務經驗

自電業解制民營化，電力場自由化之後，業者在競爭獲利的壓力下，對電力事業基礎建設的投資極盡壓縮，依賴電力市場交易融通的區域輸送電力大增，在陸續發生加州、北美、義大利、巴西等大停電之後，如何即時掌握系暫態穩定度問題、關鍵界面的電力傳輸極限以及目前建構智慧電網增加系統再生能源不穩定電源佔比的需求下，利用線上動態安全評估工具（on-line DSA）來提供系統調度人員關鍵性資訊，確保系統安全可靠與活絡電力市場競爭力，已是許多電業關注的一項可行方法。除了 PJM 與 BSI 合作在其大型電網系統成功的改善設計出暫態穩定度分析與控制系統（Transient

Stability Analysis & Control System, TSA&C) 在第五章另有詳述外，其他重要線上動態安全評估工具的發展情形簡述如下：

1. 魁北克水力線上安全評估的運用

魁北克水力 (Hydro-Quebec) 主要輸電幹線為 735KV 系統、20 組 SVC 補償設備以及±450KV 直流輸電線，電源大部分為水力發電在系統的北邊，主要負載中心則遠在 1000 公里外的南邊，尖峰負載約 38,000MW，其幹線系統如圖

5。

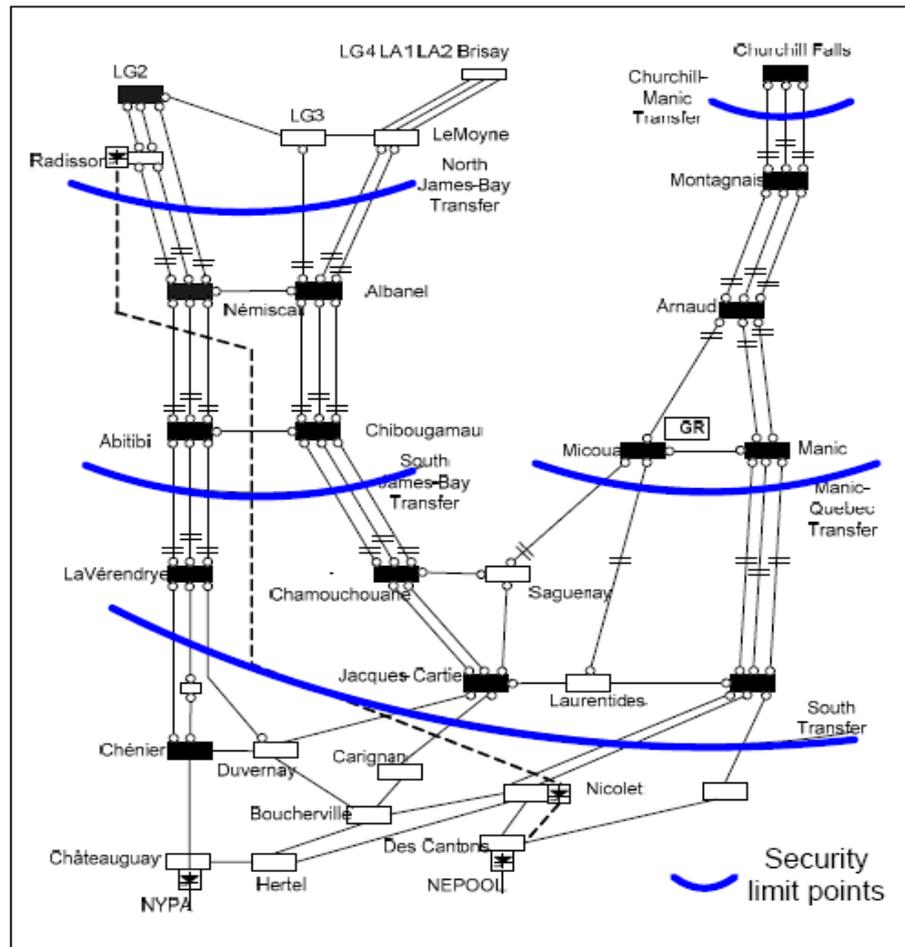


圖 5 魁北克水力幹線系統

魁北克水力的電力系統以 5 條直流連絡線與鄰近系統互聯，因未與鄰近系統同步，在慣性不如其他系統強壯的情形下，系統對頻率變化有高度敏感性。因此，動態電力傳輸極限與相關運轉策略的主要目標就是在頻率擺動限制與適度電壓控制下確保電網的安全運轉。由於事故的嚴重性直接關聯到電力傳輸，調度策略就以在圖 5 幹線系統的 5 個主要通道（main corridors）的一組電力融通容許極限為基礎。計算這些極限的程序以及用來判定特定網路結構的極限的資料庫工具—LIMSEL (LIMit SElection) 一直持續發展如何在確保安全下來最大化網路容量，LIMSEL 可執行多樣功能，其作為核心工具的使用包括即時調度、維護規劃及運轉排程等，詳如圖 6。

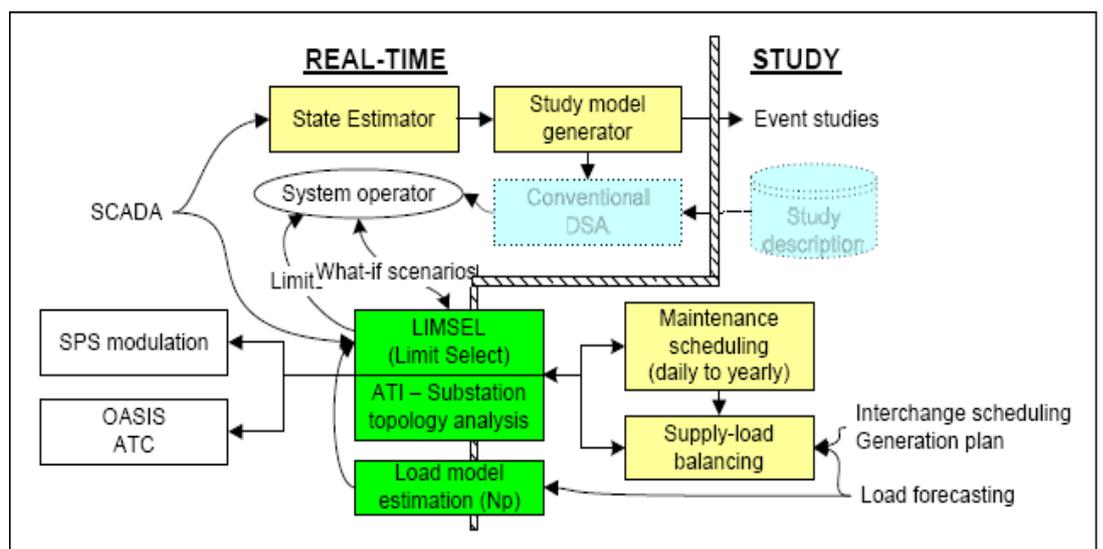


圖 6 魁北克水力 on-line DSA 結構圖

即時變電所網路結構分析軟體 ATI 每秒鐘執行一次評估變電所潛在事故的衝擊，LIMSEL 以此資訊決定在動態傳輸極限上的衝擊提供予調度人員。魁北克水力的即時負載模型則利用總體指數因數 NP 推導，此因數乃利用基載、電熱、照明和空調負載在總負載預測的佔比計算之 ($P = P_0 * (V/V_0)^{NP}$)，儲存在 LIMSEL 的動態傳輸極限反應這負載模型的影響。LIMSEL 使用的關鍵特性有極限的範疇、詳細極限描述、即時變電所網路結構分析、即時負載模型、高速計算極限以及線上修正特殊保護系統指令(on-line corrective SPS action) 等。

2. 愛爾蘭線上風力佔比安全評估工具 (on-line WSAT)

在引入愛爾蘭電力系統的風電總量日增的情形下，如何最大化風電佔比又能維持高水準的系統可靠度與安全性是運轉人員的一項挑戰。愛爾蘭電力系統是包含愛爾蘭共和國和北愛爾蘭兩大轄區的獨立系統，因此必需在沒有互連系統倚靠的情形下面對重大的風電佔比，2012 年商轉利用 VSC 技術與英國電網互聯的 500KV HVDC 寄望能改善 EirGrid 的獨立系統適應風電的能力。

愛爾蘭電力系統的風力佔比安全評估工具 (Wind

penetration Secure level Assessment Tool, WSAT) 目前由 EirGrid Plc 和 Powertech Labs Inc. 共同開發，將協助最大化風電的利用又能維持愛爾蘭電力系統安全運轉。此工具以風電與傳統發電間輸電的電壓和暫態穩定度分析為基礎，在 on-line WSAT 運用上，WSAT 從系統 SCADA/EMS 獲得即時電力潮流摘取檔，再就設定輸電量進行即時電壓和暫態穩定度評估，再配合準則決定相應的風電裕度。WSAT 的軟體結構以 Powertech 的 *DSATools* 和 *DSAManager* 為基礎，如圖 7。WSAT 從 SCADA/EMS 獲得系統即時電力潮流輸入資料，風力預測資料從 Corporate LAN 獲得。

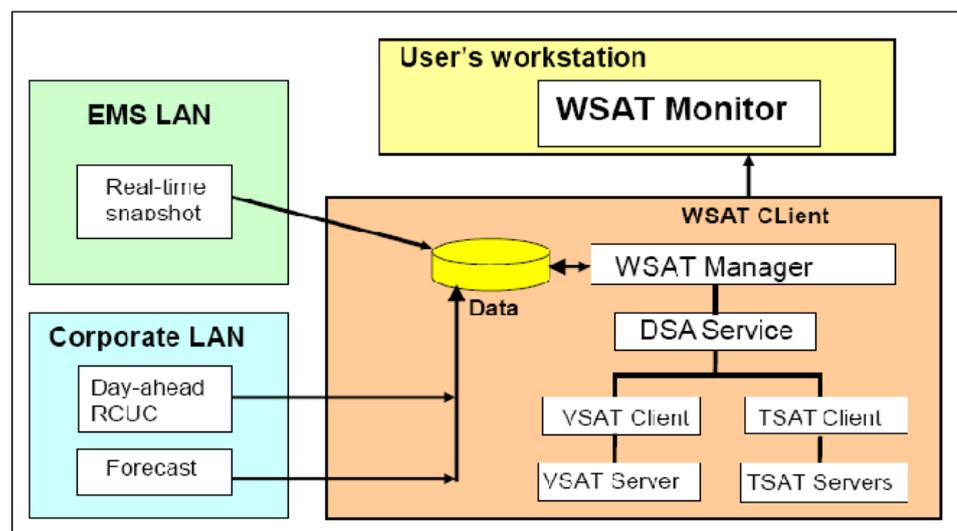


圖 7 EirGrid on-line WSAT結構圖

WSAT 在線上測試已超過半年，以尋找滿足選定安全準則的風電與傳統發電間的傳輸極限為基本觀念，一旦實行在

EirGrid 的 EMS，WSAT 將被用作風電在各種系統條件變化下可被接受最大安全量的評估工具。

3. 英屬哥倫比亞輸電公司線上安全評估的運用

英屬哥倫比亞輸電公司(British Columbia Transmission Corporation, BCTC)專責運轉加拿大英屬哥倫比亞省 18,000 回線公里輸電線（60KV~500KV）及 260 座變電所的電力網，該電網另與加拿大亞伯大省電網及美國玻尼維爾電力管理局（BPA）電網互聯，BCTC 500KV 幹線系統的結構如圖 8。

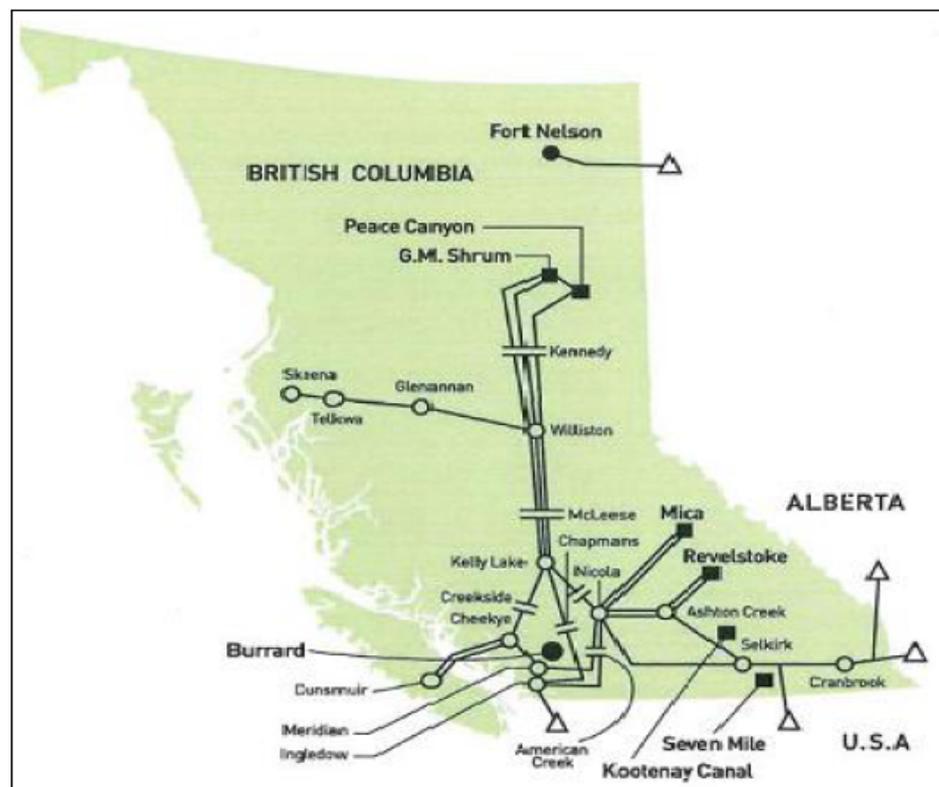


圖 8 BCTC 500KV 幹線系統結構圖

BCTC 系統尖載發電能力為 11,000MW 與其他互聯電網約有 2,200MW 的傳輸量。兩個主要的水力電源位於遙遠的北部及東部，長距輸電幹線採串聯電容器補償，負載中心位於西南方的大溫哥華地區和溫哥華島。因此在某些系統擾動和運轉條件下易於發生暫態和電壓穩定度問題，各類系統擾動也可能引起電網頻率不穩定、違反限定電壓及違反熱容量限制等其他形式的安全問題。

改善行動方案(Remedial Action Schemes, RAS)一直廣泛的被用在 BCTC 電網系統來舒解某些確信的事故對系統的衝擊，用在 BCTC 電網系統的 RAS 方案包括一般的跳機方案、卸載方案或跳機加卸載方案。RAS 方案用來化強 BCTC 電網及其他互聯電網的系統安全，也使 BCTC 電網調度能運轉在接近系統極限，因此，也顯著的增加輸出和輸入的電力容量。

BCTC 新近完成調度中心現代化計畫包括建構一套新能源管理系統 (EMS)，全新 EMS 對整合外部獨立的應用程式更有彈性，這項能力被用來整合 Powertech 最先進的 *DSATools*，為暫態穩定度極限、電壓和熱容量安全區間以及系統運轉條件提供線上動態安全評估 (on-line DSA)。

計算安全區間的精確性與一致性非常重要，因為它們影響主要的運轉決策，一旦處理不當可能對輸電系統的穩定度與安全性造成反面的衝擊。

如圖 8 顯示的，BCTC 電網由兩個位於北部及東部的主要水力電源（North Gen、Est Gen）及大溫哥華地區和溫哥華島的負載中心（BC Load）組成。電網另與亞伯大省電網及美國西部電網互聯。DSA 的應用在於提供電網三主要參數（North Gen、Est Gen、BC Load）各種條件組合下的電網系統二維安全區間。而作為主要目標在擴大系統安全區間及增加電網傳輸容量，RAS 系統在強化 BCTC 電網的系統安全性上扮演著關鍵性的角色。BCTC 系統調度部門利用自行開發的應用程式 TSAPM（Transient Stability Assessment by Pattern Matching）來決定在 RAS 即時的配備模式（arming pattern in real-time）。對於 EMS/ DSA 供應商來說，將 TSAPM、RAS 應用程式與評估系統極限的 on-line DSA 完全整合，則仍然是一種挑戰。

伍、電力系統分析短期課程

近年來輸變電計畫執行困難，除了應變計畫或交替方案之檢討頻繁，本公司在電力系統規劃與未來發展上也採取了一些創新或突破性的作法，例如規劃使用大容量導體輸電、多相復閉技術、靜態(同步)無效電力補償設備、特殊保護設備等，長遠目標著眼於建構智慧電網，未來在電力系統的模擬分析上，將面臨高速即時性的龐大數值分析性能要求，故藉此短期課程進一步了解其 BSI 電力系統事故分析整合程式在電力潮流分析、最佳化求解等系列整合處理程式在未來電網規劃發展上的運用成效，作為本公司提昇電力系統分析規劃作業的參考。

一、BSI 電力系統事故分析整合程式簡介

BSI (Bigwood System Inc.)的電力系統事故分析整合程式是系統規劃的有力工具，在北美先進公用事業田納西流域管理局(TVA)提出高可靠度的要求下，協助規劃工程師增進了工作效率。在一系列 N-1、N-2 事故條件下，利用統一格式輸入資料，可評估暫態穩定度、電壓穩定度、阻尼條件以及確認電壓與熱容量限制。其快速阻尼與電壓評估功能，在 TVA 輸電系統規劃上提供自動的協助節省了可觀的人力與在應付新標準影響輸電系統規劃上的時間。附加的效益包括：

- 提升可靠度。

- 節省投資費用。
- 提高既設設備利用率增加收益。
- 消除冗長與重複性流程減少工程計算負擔。
- 建構更安全輸電系統。

此整合工具可對一假設運轉條件就特定的網路架構驗證以下電網靜態極限問題：

- 違反限定電壓限制Voltage limit violations。
- 違反電壓掉落限制Voltage drop limit violations。
- 違反熱容量限制Thermal limit violations。

電網動態問題：

- 暫態穩定度Transient stability。
- 電壓穩定度Voltage stability。
- 小信號穩定度small signal stability problems。

此整合程式嵌入了 TEPCO-BCU 在動態可靠度評估時以一整合方法檢驗暫態穩定度與小信號穩定度的問題，TEPCO-BCU 對一給定之大量事故集合進行排序並快辨認定包含臨界事故的不安全事故，快速辨認與過濾能把大量事故集合縮小成需要小信號穩定度評估之更小故事集合，如此大大加速了研究流程。另外，此

工具導出非常有用的資訊超過一般傳統暫態分析工具的能力。整個軟體系統功能包含就電腦資源而言可高效率的產生 N-2 清單以及包括所有可信賴的 N-2 事故。此工具同時俱備如下能力：

- 在不同發電量與負載需求變化基本案下選定事故條件計算

P-V、Q-V 及 P-Q-V 曲線。

- 計算特定事故清單中準確的電壓安全負載裕度。

此整合程式目前最新版的套裝軟體，有能力處理超過 10 萬個匯流排的電力系統，對於 PTI (version 31 以上版本)、EPRI 及 IEEE 電力潮流資料檔均可讀取，可模擬並聯電容器、有載切換器、調相器、非線性負載、直流輸電線、FACTS 等設備及 Reactive power capability curve。

此整合程式支援各種事故形態及電力交易的分析，一個事故可以是單一或多個設備故障停用的組合，輸電線、變壓器、並聯電容器、並聯電抗器、負載、發電機等設備的停擺均考慮在事故裡面，一個事故可以容許多達 50 個元件的多重事故模擬。

在支援多重電力交易的分析方面，點對點(between bus and bus)、區域對區域(between area and area)、點對區域(between bus and area)、序列發電機的調動清單或其他混合模式的電力融通均可模擬。BSI 電力系統事故分析整合程式實用經驗：

- PJMRTO (PJM Regional Transmission Organizations)
- CAISO (California Independent System Operator)
- TVA (Tennessee Valley Authority)
- TEPCO (Tokyo Electric Power Company)

二、相關程式開發理論與實例評估

作為速度領先的篩選工具，BSI 的 TEPCO-BCU 被選用在改善 PJM 的 TSA 系統的性能，並成功的設計與實踐一個暫態穩定度分析與控制系統 (Transient Stability Analysis & Control System, TSA&C)，PJM 的 TSA 系統是第一個在大型電網調度中心執行的線上暫態穩定度分析工具。TEPCO-BCU 作為 PJM 的 14,000 個匯流排電網的暫態穩定度分析篩選工具的評估條件如下：

- 系統模型為詳細的穩定度時域分析模型，非簡化的穩定度模型。
- 所有造成不穩定與臨界事故均應捕獲。
- 所有穩定的事故均應盡其可能篩除。
- 在 3000 個事故中平均每個事故計算速度為 1 秒。
- 計算過程中不容許調整參數值。

線上暫態穩定度評估 (on-line Transient Stability Assessment, TSA) 工具被設計來提供系統調度人員(i)事故清單中可能引的暫態穩定度問題；(ii)受暫態穩定度限制的關鍵界面的電力傳輸極限等關鍵性資訊。線上暫態穩定度評估與控制的整合架構如圖 9。

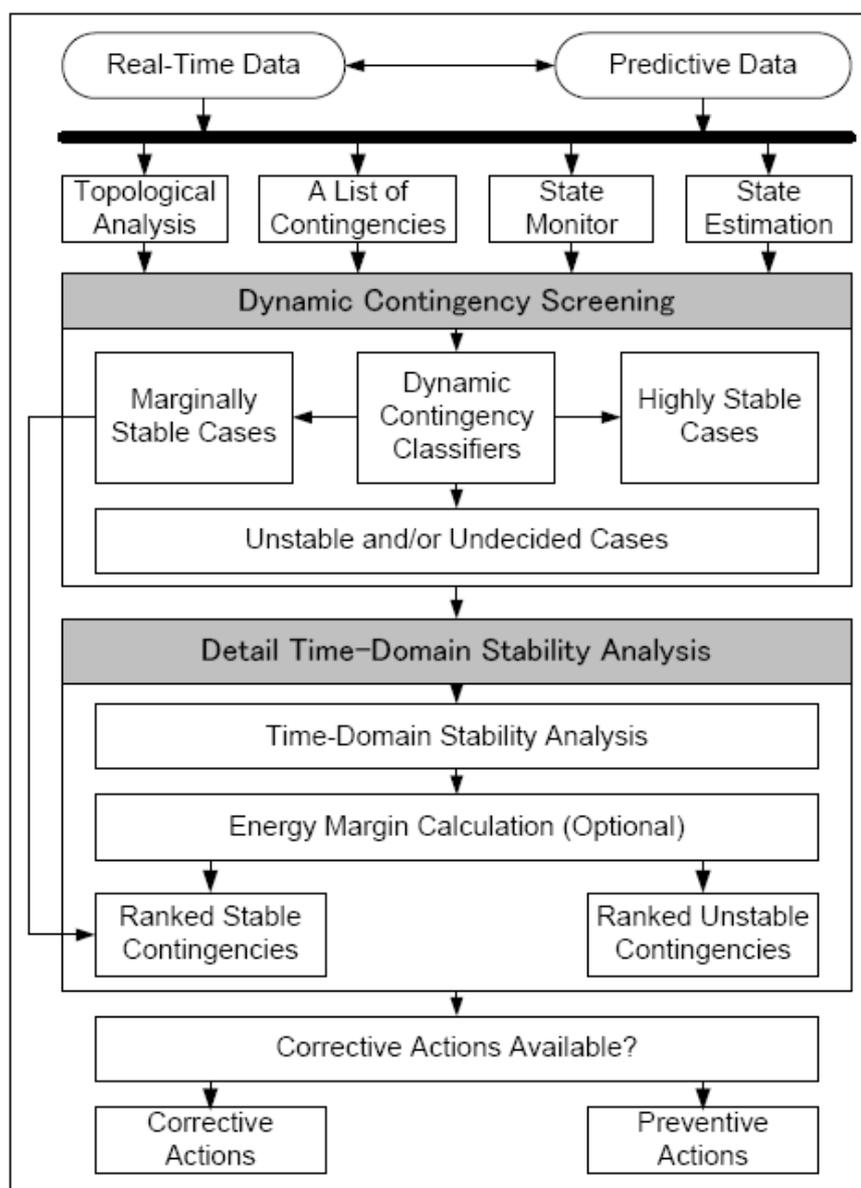


圖 9 線上暫態穩定度評估與控制的整合架構

架構中包括兩個主要模組，其一為動態事故篩選，其二為詳

細的穩定度分析的快速時域分析程式。

TEPCO-BCU 的發展植基於 BCU 法的理論基礎，BCU 法的理論簡言之，給定一電力系統穩定度模型，必存在一相應 BCU 法描述的系統模型，BCU 法並不直接計算原系統模型上的控制不穩定平衡點（controlling Ustable Equilibrium Point, controlling UEP），因為計算原系統模型上的逸出點是計算 controlling UEP 的關鍵步驟，通常它需要用到時域模擬的方法而且非常困難。BCU 法的概念簡述如圖 10。

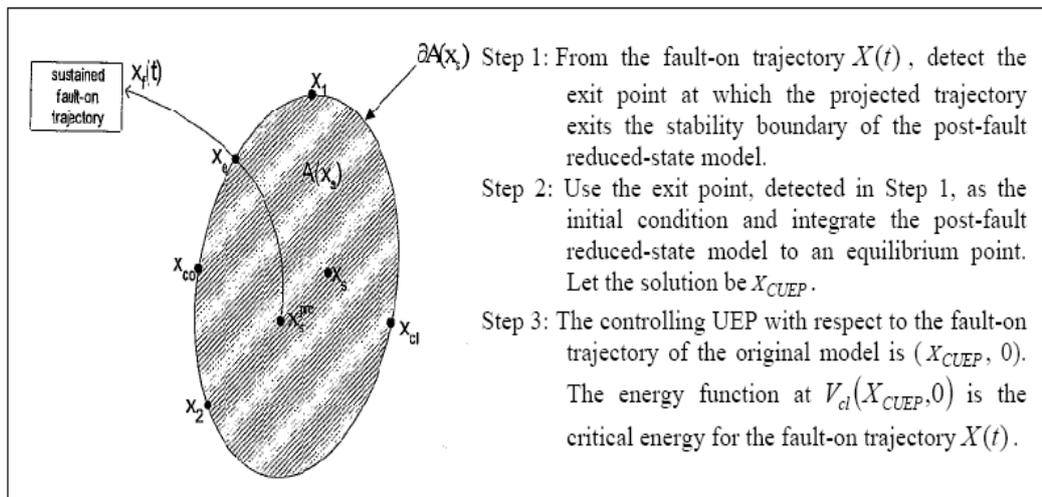


圖 10 BCU法的概念簡述

BCU 法多年來參酌各方意見與相關研究成果，改良成 BCU classifiers 和 BCU-guided time-domain method，兩者是乃成為組成 TEPCO-BCU 的關鍵元件。對於線上暫態穩定度評估，TEPCO-BCU 的架構包括 3 個主要元件，其一為一組動態事故篩選的 BCU classifiers，其二為快速可靠的時域分析暫態穩定度模擬程式以及

BCU-guided time-domain method。TEPCO-BCU 的架構圖如圖 11。

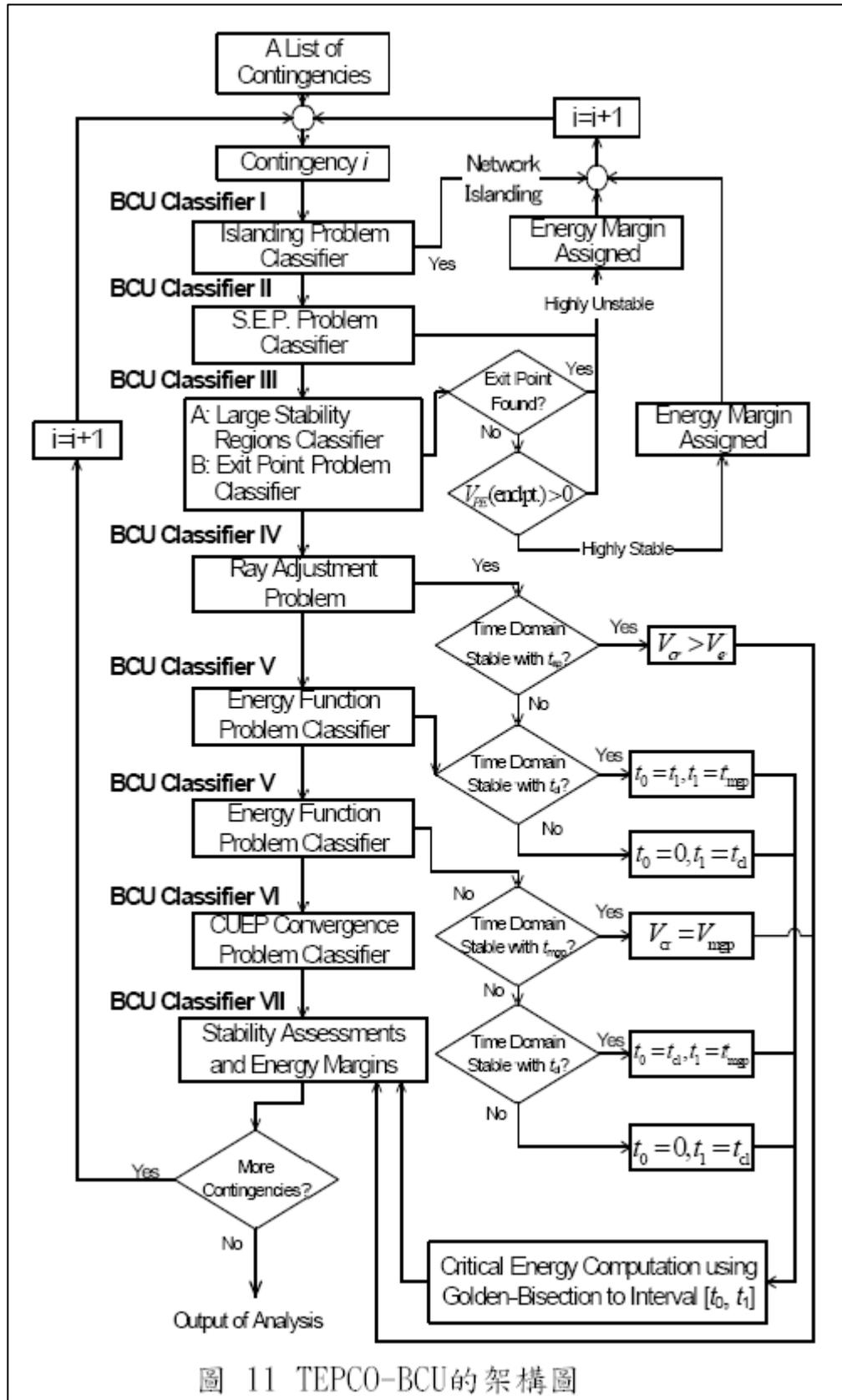


圖 11 TEPCO-BCU 的架構圖

在評估 TEPCO-BCU 作為 on-line TSA 動態事故篩選工具的性能上，評估結果聚焦在精確度、速度與篩選率三項衡量指標，其定義如下：

- 精確度：絕不容許發生將不穩定的故事歸類在穩定的部分，雖然有時候穩定的部分歸類在不穩定是被容許的。
- 速度：對 14,000 個匯流排的系統，每一故事的計算時間要求少於 1 秒鐘。
- 篩選率：在 3000 個事故中造成不穩定與臨界事故的捕獲率，平均每個評估週期 (assessment cycle) 要達到 15%。

在 PJM 的大型電網系統進行總數 5,273,691 個的事故分析中，精確度、速度與篩選率三項衡量指標的評估結果顯示，每一故事的平均計算時間要約 1.3556 秒，TEPCO-BCU 的篩選率範圍在 0.5%~8%之間，性能表現優於衡量指標 15%，在為期三個月的評估時間裡，沒有一件事務的穩定度被過度評估，TEPCO-BCU 的精確度在不穩定事故的捕獲率上是 100%。整個 TEPCO-BCU 在動態事故篩選的五項條件上的性能評估結果彙整如表 11。

就系統大小而言，本次評估代表了穩定度的區域理論 (stability regions)、直接法理論 (direct methods) 以及 BCU 法的理論基礎，

在線上環境上成功的運用在最大規模的實際系統，也使人確信以理論為基礎的方法是可以被導入實際與可靠的應用。

表 11 TEPCO-BCU性能評估彙整表

Requirements	Performance
Reliability measure	100% (capture all unstable contingencies)
Efficiency measure	92% - 99.5% (screening out stable contingencies)
On-line Computation	Yes (does not need to tune any parameters of the BCU classifiers)
Speed measure	1.3 second per contingency
Robustness measure	Yes, the performance of TEPCO-BCU is consistent over a range of operating conditions