

出國報告（出國類別：開會）

參加美國電機電子工程師學會年會

服務機關：台灣電力公司系統規劃處

姓名職稱：陳佳慶 電機工程師

派赴國家：美國

出國期間：108.08.02~108.08.11

報告日期：108.10.01

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

頁數 23 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/2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

陳佳慶/台灣電力公司/系統規劃處/電機工程師/2366-6908

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：108 年 08 月 02 日～108 年 08 月 11 日 出國地區：美國

報告日期：108 年 10 月 01 日

分類號/目

關鍵詞：電力與能源技術委員會(PES)、再生能源(Renewable Energy)、現代化電網(Modern Grid)、高占比 (High Penetration)、資訊實體整合電力系統(Cyber-Physical Power System)

內容摘要：(二百至三百字)

2019 年電機電子工程師學會電力與能源技術委員會(IEEE PES)於美國喬治亞州亞特蘭大所舉辦，年會主題為「見招拆招」(「Expect Uncertainty, Prepare to Adapt」)，期望本次會議能夠提供一個平台，為當今電力產業所面臨變革，如：大量再生能源併網、極端氣候變遷、資通系統安全及智慧電網等議題，提供創新之系統調度、風險控管、規劃方式、負載管理等見解。

本次會議除深入探討原本電力產業持續關注的電力系統相關議題，亦開啟許多前瞻且新穎的討論，如儲能系統、智慧電網、大數據分析、人工智慧、機器學習法、實體網路整合電力系統等議題，期待藉由本次會議邀集世界各地菁英、專家及學者提出發想，讓與會與會成員共同討論，共同激盪出創新的解決方案。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

一、出國緣由與目的.....	1
二、出返國行程	2
三、2019 IEEE PES 年會摘要	3
(一)年會活動議程概況	3
(二)IEEE PES 成員會議(MEMBERS MEETING).....	5
(三)主管會議(SUPER SESSION)	6
(四)委員會議(COMMITTEE SESSION)	8
(五)技術類會議 (TECHNICAL PROGRAM).....	10
(六)講授課程及技術教學課程(PLAIN TALK、TUTORIALS).....	11
四、技術會議內容摘要.....	12
(一)再生能源.....	12
(二)高占比再生能源發電併網因應策略	13
(三)要求再生能源亦有升降載調整能力	16
(四)現代化電網.....	17
(五)智慧變流器	19
(六)電力系統通訊、資料運算技術與網路安全進展	20
五、心得與建議.....	22

一、出國緣由與目的

配合國家近年來所推動之太陽光電及離岸風力等大量再生能源發展政策，除持續強化再生能源大量併網後對系統之衝擊檢討外，開放再生能源轉供與直供、建構電力市場等議題為目前需著手進行研議之重要課題。另受限於外在環保議題及抗爭因素，使得電源開發及輸變電工程之興建造成極大阻力，迫使整體電網之規劃需引進新穎的技術及經驗。

電機電子工程師學會電力與能源技術委員會(IEEE Power & Energy Society, PES)所舉辦之國際性年度會議，集結全世界電力領域的業界專家及學者，透過參加本次年會與世界各國電力菁英相互交流，可瞭解最近一年所發表關於電力系統規劃、運轉等經驗成果，並從中學習相關電網新技術、新設備及電能轉供與直供等經驗，對公司未來進行系統規劃有相當之助益。

參加電機電子工程師學會年會，可汲取國際最新電機電子資訊與理論技術，期間亦可與國外各專家學者交流系統規劃理念，吸收國外之經驗與技術，俾回國後有效應用於未來整體系統規劃。

二、出返國行程

◆ 108/8/2 台北 Taipei → 芝加哥 Chicago

→ 107/8/3 亞特蘭大 Atlanta

◆ 108/8/4 ~ 108/8/8 參加美國電機電子工程師學會年會

◆ 107/8/9 亞特蘭大 Atlanta → 芝加哥 Chicago

→ 107/8/11 台北 Taipei

三、2019 IEEE PES 年會摘要

(一)年會活動議程概況

本年度 2019 電機電子工程師學會電力與能源技術委員會年會 (IEEE PES General Meeting) 於 8 月 4 日至 8 月 8 日，共 5 天於美國喬治亞州的亞特蘭大舉辦，大會活動地點主要在亞特蘭大希爾頓飯店舉行 (Hilton Atlanta)。本次由喬治亞電力公司 (Georgia Power) 協辦，規劃如技術參觀行程，喬治亞電力公司擁有的電力供應來源主要為火力發電、核能發電及水力發電，唯一大型生質能之電廠已於 2015 年結束營運。

年會主題為「見招拆招」(Expect Uncertainty, Prepare to Adapt)，期望讓全世界電力產業相關領域專業人員、學者在這平台透過議題發想、討論交流獲取新知及解決方案，解決當今電力產業所面臨引人關注且重要的問題。本次年會議程內容多樣且豐富，一般與會成員皆參加技術類會議為主，會議主題可分為下列四大類：

- ◆ PES 成員及與會成員會議 (PES Members Meeting, Plenary Session)
- ◆ 教學課程 (Tutorials、Plain Talk)
- ◆ 委員會會議 (Committee Meetings)

◆ 技術類會議與其他技術交流(Technical Sessions and Other Technical Events)

(二)IEEE PES 成員會議(Members Meeting)及與會成員會議(Plenary Session)

本次成員會議由 PES 主席 Saifur Rahman 主持，介紹 PES 的未來願景及過去幾年的進展，及引出本次大會主題所代表的意義；另邀請 PES 重要主管及競選 IEEE PES Secretary and Treasurer 的候選人進行對 PES 的願景談話，並安排於年會的歡迎接待會中，提供與候選人面對面接觸認識的機會。

年度會議主題將針對能源基礎設施正在經歷轉型變革過程，能源來源發生變化，技術發展迅速，帶來了一定程度的不確定性。隨著這個變化，需要定義，了解和減輕新的風險。

(三)主管會議(Super Session)

本次 PES 年會的主管會議，透過綜合型會議演講方式，從各種不同角度切入與探討，來自數個 PES 技術委員會的專家們針對領域內特別感興趣的主題進行討論。

會議主要針對電力網最近之變化提出以下兩項主題進行簡報，「新思維」(Regulatory Update)、「可靠、彈性及永續的電網」(Managing Today' s Grid for Reliability, Resiliency and Sustainability)等議題進行討論：

◆ 最新新聞專業觀點

◆ 新思維

- 新挑戰。
- 高占比再生能源及分散式電源併網。
- 導入新科技及新技術。
- 先進的軟體工具與分析軟體進展 (Advanced Distribution Management System, Distributed Energy Resource Management System, Microgrid Control, State Estimation)。
- 風險與成本之評估
- 新時代來臨，電網管理之挑戰與機會

- 下一個世代的電力設備

◆ 可靠、彈性及永續的電網

- 介紹安全的電網與可靠性
- 北美電網的可靠性及彈性
- 減輕自然災害傷害的國際最佳做法
- 災害過後之復原
- 我們從過去的經歷中學到了什麼
- 高占比再生能源電網的運轉方式
- 永續電網的成功因素

(四) 委員會會議(Committee Session)

在本年度的會議舉行期間，主要有 13 個重要的委員會會議 (Committee Session) 召開，由該領域之專家發起相關議題進行討論，其中內含涉及成面較廣之委員會還細分若干子委員會 (Subcommittee Session)，與會成員分別針對各項提出主題進行意見交換與討論，委員會會議皆安排在年會期間的每天上午舉行。

- 行政委員會(Administrative Committees)
- 電力系統分析委員會 (Analytic Methods for Power Systems)
- 電機機械設備委員會(Electric Machinery)
- 能源開發與發電委員會(Energy Development and Power Generation)
- 電網與新興技術協調委員會(Grid & Emerging Technologies Coordinating)
- 電力與能源教育委員會(Power & Energy Education)
- 電力系統動態分析委員會 (Power System Dynamic Performance)
- 電力系統儀表與量測委員會 (Power System Instrumentation and Measurements)

- 電力系統運轉、規劃與經濟調度委員會(Power System Operation, Planning & Economics)
- 智慧建築、負載和用戶系統委員會(Smart Buildings, Loads & Customer Systems)
- 變電所委員會(Substations)
- 輸電及配電委員會(Transmission and Distribution)
- 風能與太陽能發電協調委員會(Wind and Solar Power Coordinating)

(五)技術類會議 (Technical Program)

2019 PES 年會舉行期間從 8 月 4 日(星期日)至 8 月 8 日(星期四)共 5 天，技術類會議為本次會議的重頭戲，安排從星期一開始至星期三這 3 天內同步多場次的密集舉行，為整個年會期間主要技術交流方式，與會者可以自行參加較有興趣的議題，認識相關行業專家，了解其他國家遭遇類似問題之解決方式。

以探討最新的設備技術、分析方式與電腦技術應用進行專案小組會議 (Panel Sessions)，藉由主講者提出議題之見解，引起與會之產業界、官方及學界廣泛討論，激盪心得獲得最新產業發展方向及最新技術知識。

或以期刊論文會議 (Transactions Paper Sessions) 報告當年度最新納入期刊供全體電力界流傳、參考引用重要研究論文；並另外以論文討論會(Paper Forums)、壁報論文會議(Poster Session)、學生壁報論文競賽(Student Poster Contest)等不同進行方式，發表最新研究發現或技術論文，且這類進行方式可提供與會者能夠直接與論文作者相互學習和進行討論交換心得。

(六) 講授課程及技術教學課程(Plain Talk、Tutorials)

會議期間亦針對非電力背景之與會成員，設計 3 類講授課程 (Plain Talk)，分別介紹電力系統基本、配電及輸電系統，讓專業人士以簡單清楚的方式帶領門外漢 入門。

另針對電力專業背景與會成員，可快速獲取業界/學界所提出解決方案之需求，提供 11 個技術教學課程(Tutorials)。課程由各領域頂尖專業人士、教授等主講。內容包括：

- 輸電、配電及通訊系統之整合建模與模擬分析
- 智慧變流器於分散式電源應用
- 輸電系統規劃
- 電力系統動態模式監視，保護與控制之工具及經驗
- 輸配電網之網路安全性
- 21 世紀配電系統管理及調度
- 儲能系統應用及建議規範
- 再生能源及潔淨能源之機電設計
- 考慮 IEEE 1547-2018 下配電網互連研究
- 管理未來不確定性的電網
- 高壓直流 (HVDC) 應用於離岸風力發電之併網

四、技術會議內容摘要

本次 2019 IEEE Power & Energy Society 年會在為期 5 天的會期中，針對技術方面的議題同步舉辦了百餘場專案小組會議，依不同主題安排由產業專家或論文作者簡報，透過面對面溝通討論，交換彼此心得與經驗。本技術會議多參加「再生能源併網」相關議題，綜合介紹及摘述如下：

(一)再生能源

再生能源係指取用轉換自然界循環過程中一部分能量作為發電來源的天然能源，除過往技術水準已相當純熟的水力能外，近年來因電力設備技術成本，逐漸發展出多樣化之不同再生能源發電方式，如風力發電、太陽能發電、地熱發電、生質能發電及潮汐能等皆為較為廣為知曉，尚有許多實驗性質小型研究案場仍持續開發中，都是利用自然能量轉成電能。其中台灣除過往的水力發電之外，目前新型態再生能源的發展主要以風力發電（陸域及離岸）、太陽能發電及地熱發電為最主要方向，又以風力發電與太陽能發電已有電廠加入系統實際運轉中。

(二)高占比再生能源發電併網因應策略

有別過往台灣以燃煤、燃氣及核能發電為主的發電方式，近年政府推動能源轉型策略，預計於 2025 年達成裝置風力發電 6.5GW、太陽能發電 20GW 目標，其他再生能源如地熱發電。減低排碳機組發電佔比，提高零排碳機組發電比例，達到再生能源發電佔比為 20%之任務。

台灣因地緣因素為獨立電網，無與其他國家電網互聯，電力可替代性低，故於提高再生能源發電量的同時，系統面需一併評估是否容忍風能及太陽能發電這類間歇性能源所造成電源之變化，如太陽能發電僅限日間，陸域風力主要發電時間為夜間；又易受設置地點及天候狀況影響發電量，因此多數國家提出以大數據分析進行再生能源發電預估及進行電網調度。倘再生能源設備大量併網，對獨立系統造成的衝擊將比互聯電網大許多，應先行研究探討未來可能遭遇問題，國際間針對該項議題主要研究為造成電壓及頻率變動之衝擊等議題進行深入探討。

大量分散式再生能源併網之對電力系統影響尚未能明確分析得到結果，而再生能源併網量（在台灣主要為風力及太陽光電）仍持續成長中，其發電量不穩定將造成傳統機組升降載需求增加，故台電系統除既有機組因應目前併網量外，未來新建火力機組的升/降載

率提高及要求具備更低熱機備轉能力，使發電系統有較佳能力追隨負載需求起伏接受調度之能力，調節全系統供需平衡。

大型以變流器為基底的發電設備，如風力發電、太陽能發電設備，可藉由變流器之控制提供虛擬慣量，故未來訂定再生能源發電系統可提供「虛擬慣量」將是一大熱門議題，本公司再生能源發電系統併聯技術要點應適時將其納入電網規範，維持系統運轉安全。

一般系統需準備備轉機組係以淨負載觀念來檢討，由於再生能源之不確定性，不視為穩定的基載電源之存在，故考量淨負載時需將全系統負載量與再生能源發電量互相抵消而得；於大量太陽光電併網之區域，因太陽光電發電呈現單峰曲線至中午附近達最大發電量，隨後下降至夜間消失；於發電/負載抵扣後，系統所呈現淨負載量為雙峰曲線，於上午 10 點及下午 3 點附近為系統最大負載，該曲線稱為鴨子曲線，系統最大淨負載量將下降，惟出現時間點將有別過往，而系統第二尖峰將出現於入夜前，太陽光電發電接近零，而負載需求尚未下降前。

精確預估太陽光電上升及下降速度才可正確評估所需備轉容量與調整發電機組發電之排程，又台灣再生能源發展呈現集中化趨勢，如離岸風電於彰化縣規劃高達 6.5GW、又太陽光電 20GW 多數分布於彰化縣及以南縣市，系統上再生能源所引起之發電量變化將相

當大。需依當地氣象模型及收集數據分析，精確預測發電模式及發電量，將可適當準備系統備轉機組，降低電力來源轉換時的緊迫壓力及不確定性。

(三)要求再生能源亦有升降載調整能力

由於大量分散之再生能源併網，系統上許多傳統機組接受指令調度於熱機備轉模式或甚至停機離線，因應再生能源發電量迅速變化，多以如氣渦輪組及水力機組等升降載速度較快之機組作為備轉容量的優先考量，對迅速穩定頻率較有貢獻。另以再生能源替代傳統火力發電機組之將有全系統慣量降低的影響，造成系統穩定性較差之結果；又因再生能源發電之不確定性，系統必然發生電源瞬間變化，對於系統頻率及電壓將造成影響，較大之案場變化甚至將引發系統低頻電驛動作跳脫負載，故有越來越多國家將再生能源電廠之發電出力調整能力納入規範，如從原本調度之半載發電迅速提升至滿載，或因系統需求將其發電量迅速降低。

(四)現代化電網

隨著發展分散式電源及科技技術發展之創新，現代化電網正在熱烈地發展，會議由各種角度切入，從智慧電網及微電網等新型態電網結構被提出討論，搭配分散式再生能源、儲能系統之應用，自成一可獨立運轉電網。智慧電網為實現現代化電網之最佳代表概念，這個概念不僅原有電力基礎設施硬體，加入創新之監控通訊網路環境及搭配再生能源及儲能系統。實現智慧電網的工作包括使用(1)電力資訊監測、收集與分析。(2)負載預測、需量反應管理。(3)能源分配。(4)智慧具有回復力的電網。

現代化電網推出新的電力產品、新的服務方式及新的市場機制，可促進各項交易之蓬勃發展。具備可靠性、可復原性、自癒性、有效性及接受度高，經由完整且健全智慧電網系統，即時掌握系統運轉狀態，並於事故徵狀出現時提早啟動因應策略，並於事故發生中，依原先預擬之方案進行緊急處理程序。

微型電網亦為現代化電網的一種概念實現，以分散式電源為主的電網架構，搭配先進控制通訊技術及儲能設備，將電網系統之發電、用電及儲存各項工作以最佳化運用，可獨立運轉或併入大型電網運轉，亦即在大型電網斷電瞬間，可無間斷地將重要負載轉由微型電網供應電力。尤其台灣偏遠山區更需建置微型電網，當天然災

害造成輸變電設備損毀時，微型電網可孤島運轉，減少民眾停電所造成不便。

(五)智慧變流器

台灣目前處於大量推廣再生能源發展階段，雖智慧變流器可作為電網改善的重要設備，但因智慧變流器併網規範，如實功調控、虛率調控、發電升降載調整率、電壓調整率及事故穿越能力等，將對發電業者之成本有所增加，現階段系統尚可因應下難以大量要求，未來如何於適當時機啟動訂定系統需求之規範則因地、因時進行為宜。

過去配電系統以調整配電變壓器的分接頭或裝設補償電容器來調整匯流排或饋線電壓，當配電系統太陽光電占比大量增加時，部分較長距離配電饋線開始因傳輸壓降造成電壓變動率過高而產生瓶頸，引入智慧型變流器的功能可自動光電案場調節功率因數調整及出力控制等功能，對改善電力品質、電壓變動率及提升可併網容量將非常有幫助。

(六)電力系統通訊、資料運算技術與網路安全進展

大數據、人工智慧和雲端存取是近年來的流行語，但是技術的創新卻對解決實際電力產業的問題進展仍然非常緩慢，主要原因是可靠度及可接受度尚待解決。資訊專家(學者、設備供應商和公用事業)在會議中討論電力產業的需求，分享他們所創新提出的試驗及提出解決方案的經驗。

由於感測器、分散運算和通信網路方面的技術進展及成本下降，且量測的解析度、可利用率也在不斷提升，現代化電網中已廣設相量測量單元(PMU)及先進計量基礎設施(AMI)，大量電網運轉即時狀態、天氣資訊、社會環境等資料收集，再透過大數據工具的分析應用，正在大大的改變電力運轉、維護面。例如透過大數據分析，可評估設備是否該提早或延後進行點檢汰換工作；用以評估特定條件下的系統調度方案等。目前本公司輸電系統規劃準則未有納入「可承擔風險」概念，多以絕對之風險訂定，如事故 N-1、事故 N-2 等，為較保守的電網成長規劃方案，所以較難應用大數據分析之結果直接套入系統規劃層面使用。

現今電網的運轉相當依賴於網路技術，資訊實體整合電力系統(Cyber-Physical Power Systems)依賴網路系統進行監視、控制和運算。系統中保護設備、即時調度資訊皆透過網路設備進行資訊交

換及控制。因此，電力系統的風險分析、可靠度評估和穩定度控制，應該包含網路系統的影響。整合的資訊實體整合電力系統非常複雜，達成資訊網路系統和物理實體電力系統之間更緊密的整合與協調，是智慧電網成功的關鍵。

微型電網的概念將成為資訊實體整合電力系統的最佳實現，透過電源、負載、儲能、調度方式的即時最佳化運算，是一種空間與時間多維異構的系統，系統中的離散事件和隨機特性需透過電腦系統即時運算，透過實體電力系統網路的連結執行運算結果，使得系統整合工作更加複雜。現代電網已進展到為一複雜的通訊網路和實體整合結果，其可靠度不僅需考慮物理方面損壞，亦需評估通訊網路安全性，近年來電力網路攻擊事件的增加，攻擊複雜程度的提升皆對國家安全有所影響，需全面性瞭解網路威脅、攻擊與後果，發展電網風險評估工具及系統評估異常檢測法，預防網路攻擊造成系統面議題。

五、心得與建議

電機電子工程師協會 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 簡稱為 IEEE) 是一個國際性的科學和教育組織，涵括電力、電機、電子、通訊、計算機工程、計算機科學等領域。其中的 PES 技術委員會 (Power & Energy Society) 每年約在 7 月至 8 月期間固定舉辦年會。遍及全球的會員、學術界、各國電力公司、電力領域研究單位、產業界專家甚至是設備廠商，都會出席這場盛會。透過出國研習中可獲得許多新技術應用於規劃工作思維，對系統規劃頗有助益，值得持續派員參加學習。

2019 年年會於喬治亞州之亞特蘭大希爾頓飯店舉辦，本次主題為「見招拆招」(Expect Uncertainty, Prepare to Adapt)，顯示現今電網發展已不同於過往可預測性。過往集中式電源搭配強大電網幹線網路架構，轉為分散式電源搭配微電網架構；大量再生能源併網、極端氣候變遷、儲能系統及彈性交流輸電系統等新型態電力電子設備技術加入，再加上通訊網路極度易於存取。電網可能遭問題難以預料掌握，需先行研究多套劇本，見招拆招度過事故發生當下，才有更安全、彈性與自癒電網。

會議中跟隨著專家學者們探討當再生能源高占比情況下，對電網可靠度之影響，又遭遇極端氣候災害影響，在規畫面如何建立分

析模型事前避免及調度面如何最經濟運轉因應。並有資訊系統領域專家學者跨足電力系統，透過最流行的大數據分析、人工智慧、機器學習和物聯網技術，結合電力系統實體網路，定義現代化電網之應具備功能。並隨著科技的進步，大量的電力系統分析運算可發展出分散式運算的特性，讓需量反應分析、電力系統保護裝置及自由化市場中電價資訊等皆可即時取得演算結果，提升系統可靠度、建構智慧城市和評估與維持資訊實體整合系統的安全。

本次代表系統規劃處參加電力領域的國際會議，雖無特別參加技術教學課程 (Tutorials)，不過大會所安排滿檔的技術性會議行程已無瑕全面兼顧，會議進行方式為多地、多主題同步進行，無法各項主題皆參與，多參加再生能源併網、儲能系統及輸電系統分析有相關的技術專案小組。藉由實際參與國際會議，能夠更瞭解整個電力系統的發展以及規劃運轉的重點，透過接觸最新的技術可以瞭解產業未來的發展與趨勢，對日後工作不論在技術層面或是領域視野上都有很大的提升。

本公司近年已著手建置大量智慧電錶及收集併網之再生能源發電資訊，建議未來待資料量足以進行大數據分析時，利用來評估最適合台電系統之系統規劃方式，亦可用於調度運轉模式排程。