

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：曾智泓 電機工程師

派赴國家：美國

出國期間：107.08.04~107.08.11

報告日期：107.10.2

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 27 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

曾智泓/台灣電力公司/系統規劃處/電機工程師/2366-7742

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：107年8月4日~107年8月11日 出國地區：美國

報告日期：107年10月2日

分類號/目

關鍵詞：電力與能源技術委員會(PES)、分散式能源(Distributed Energy)、再生能源(Renewable Energy)、負載整合商(Load Aggregator)、資訊實體整合系統(Cyber-Physical System)

內容摘要：(二百至三百字)

今年電機電子工程師學會電力與能源技術委員會(IEEE PES)所舉辦之年會主題為「再創電網新思維」(「Re-imagining the electric Grid」)，期望本次會議能夠提供一個平台，為當今電力產業所面臨的一些引人關注且重要的問題，提供創新見解、創新思維及得到答案。

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，如大數據分析、交互式能源、隨機系統、智慧城市、

負載整合商、能源網際網路、資訊實體整合系統、高效能運算、人工智慧和深度學習應用等，期待藉由本次會議邀集世界各地菁英、專家及學者，為這些具特別意義的議題，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>)

報告內容

一、出國緣由與目的.....	1
二、出返國行程	2
三、參加 2018 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
四、技術會議內容摘要.....	12
1.電力系統規劃、調度與穩定度	12
2.電力市場與經濟議題	14
3.分散式能源和再生能源對策	16
4.智慧電網、微電網和儲能系統	19
5.輸電、配電、儀器設備和量測	20
6.電力系統通訊、網路安全與資料運算技術	21
7.大數據分析和資訊實體整合系統(CYBER-PHYSICAL SYSTEMS).....	23
8.其他技術主題	25
五、心得與建議	27

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 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

- 107/8/4 台北 Taipei → 舊金山 San Francisco → 107/8/4
波特蘭 Portland
- 107/8/5 ~ 107/8/9 參加美國電機電子工程師學會年會
- 107/8/10 波特蘭 Portland → 舊金山 San Francisco →
107/8/11 台北 Taipei

三、參加 2018 IEEE PES 年會摘要

(一)年會活動議程概況

本年度 2018 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 9 日，共 5 天於美國俄勒岡州的波特蘭舉辦，活動地點主要在俄勒岡州會展中心舉行(Oregon Convention Center)。本次年會主題為「再創電網新思維」(Re-Imaging the Electric Grid)，期望能提供一個平台為當今電力產業所面臨引人關注且重要的問題，提供創新見解與答案。

年會內容主要包括七大部分：

- ◆ PES 成員會議(PES Members Meeting)
- ◆ 委員會議(Committee Meetings)
- ◆ 技術類會議及其他技術活動(Technical Sessions and Other Technical Events)
- ◆ 學生壁報論文競賽(Student Poster Contest)
- ◆ 學生專案(Student Program)
- ◆ 同伴行程活動(Companion Activities)
- ◆ 技術教學課程(Technical Tutorials)

會議活動議程如表 3.1。

PES 年會為方便與會的成員能夠瞭解大會情況，會將最新的會議程序公佈在註冊登記和資訊櫃檯旁的佈告板上，並透過行動 APP 程式發送通知，讓使用行動裝置的會員能即時掌握更新。

表 3.1 2018 IEEE PES GM 活動議程

Day	Time	Event / Sessions	
Sunday	All Day	Registration/Information Committee Meetings, Tutorials*	
	PM	Companion Tour* - Portland Sightseeing City Tour (12:45-4:30 PM)	
	PM	New Attendees Orientation (4:00 PM)	
	3:00 PM	Scholarship Plus, Smart Village Recognition Reception	
	Evening	Welcome Reception	
Monday	All Day	Registration/Information Companion Lounge for registered companions and registered children Companion Tour* - Willamette Valley Wine Tasting Tour (9:45 AM-3:00 PM)	
	AM	Attendee and Presenter Breakfasts; Companion Breakfast PES Members Meeting (8:00-9:00AM) Plenary Session (9:00-11:00AM)	
	11:00 AM	Committee Meetings start	
	PM	Committee Meetings, Technical Sessions, Tutorials* Technical Tour* - Salem Smart Power Center (12:30-4:00 pm)	
	Evening	Committee Poster Sessions, Fellows/Awards Reception, Candidates Meet-and-Greet (all co-located) (5:00-8:00 PM)	
	Tuesday	All Day	Registration/Information Super Sessions, Committee Meetings, Technical Sessions Plain Talk Course (co-located event, separate registration required) Companion Lounge Program for registered companions and registered children Companion Tour* - Eastside Neighborhoods, Gardens & Food Carts (9:45 am-3:00 pm)
AM		Student Poster Contest and Attendee Breakfast (co-located with the Student Poster Contest); Presenter Breakfast, Companion Breakfast, Technical Tour* - Portland Down Town NetWork System (8:00-11:30 AM)	
PM		Technical Tour* - Solar World I (1:00-4:00 PM)	
Evening		Awards Dinner and Ceremony – Ticket Required (7:00-9:30 PM)	
Wednesday		All Day	Registration/Information Committee Meetings, Tutorials*, Technical Sessions Plain Talk Course (co-located event, separate registration required) Companion Lounge Program for registered companions and registered children Companion Tour* - Oregon Coastal Tour & Cannon Beach (8:45 AM-4:30 PM)
	AM	Attendee and Presenter Breakfasts; Companion Breakfast Technical Tour* - Pacific Air Switch Corporation (9:00 AM-12:00 PM)	
	Noon	Student / Industry / Faculty Luncheon – Ticket required	
	1:30 PM	Student / Industry / Faculty Job Fair	
	PM	Technical Tour* - Solar World II (1:00-4:00 PM)	
	Evening	IEEE PES Women in Power Networking Reception; Young Professionals Seminar and Networking Reception	
	Thursday	All Day	Registration/Information (until 12:00 PM) Committee Meetings, Technical Sessions, Tutorials* Plain Talk Course (co-located event, separate registration required)
		AM	Attendee and Presenter Breakfasts; Companion Breakfast Companion Lounge Program for registered companions and registered children (until 12:00 PM) Companion Tour* - Multnomah Falls and Gorge Waterfalls Tour (8:45 AM-1:00 PM) Technical Tour* - Salem Smart Power Center (8:30 AM-12:00 PM)
Friday		All Day	Committee Meeting

*Indicates an additional registration fee is required for this event / session.

本次 2018 年 IEEE PES 年會是由公用事業公司「波特蘭通用電力 Portland General Electric」所主辦。

(二) IEEE PES 成員會議(Members Meeting)

本次成員會議由 PES 主席 Saifur Rahman 主持，介紹本次大會主題，同時更新各種 PES 活動的成員資格，另邀請 PES 重要主管及競選 IEEE Division VII Delegate/Director 的候選人發言，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。



圖片來源：IEEE PES GM 2018

(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「朝向較低慣量的電力系統邁進」、「電力產業技術的新應用」、「應用於電力系統緊急應變的資料科學和數據品質」等議題進行討論：

- 較低的慣量和虛弱的電網
 - 管理電網可靠度。
 - 電網頻率的管理以及來自具有變頻模組之發電設備的頻率響應指令訊號。
 - 慣量的新來源。
 - 控制策略的穩定性以及低故障電流保護機制的有效性。
 - 輸電及配電網路的動態控制。

- 電力產業技術的新應用
 - 擴增實境 AR 應用在電力產業。
 - 在電力產業中使用無人駕駛飛行器 (UAV)。
 - 利用智慧型機器人進行資產的監控、電網服務與維護。
 - 在終端設備中使用智慧控制與感測器。
 - 先進的軟體工具與平台。
 - 下一個世代的電力設備。

- 應用於電力系統的資料科學與數據品質

- 開發用的模型、演算法與分析工具。
- 大數據分析實作於電力系統。
- 電力公用事業的智慧化與實際應用中所使用的資料。
- 感測器數據的品質、準確度、篩選能力、溝通能力與資料儲存的挑戰。
- 感測器數據品質對於實用性的影響。

■ 緊急應變

- 緊急應變是當今電力產業對電網恢復能力調查的重點。
- 自然災害緩解、通訊網路與物理實體的安全以及強化基礎設施，是確保運轉可靠的主要策略。
- 具有變頻模組之發電設備的高滲透率不僅為完全識別運轉風險帶來新的挑戰，而且還帶來了為災害緩解和恢復提供調節控制的機會。
- 我們從過去的經歷中學到了什麼？
- 我們怎樣才能變得更有回復力、做好準備、承受和應變這類事件？
- 有哪些先進技術可以幫助我們主動有效地面對並減輕這些衝擊？
- 如何將先進的級聯分析方法和機率規劃技術應用於減輕自然災害的傷害？
- 來自業界和學術界的傑出專家小組成員，提供了針對可靠度、回復力和緊急應變在管制面和產業趨勢的整體觀

點，討論目前產業所面臨的挑戰，並為未來繪製新的解決方案，例如決策框架和回復力復原的新演算法。

- 報告有關於減輕自然災害傷害的國際最佳做法，以及利用具有變頻模組之發電設備針對再生能源高占比的電網，進行頻率調節和電壓控制的現場經驗。

(四)委員會議(Committee Session)

在本年度的會議舉行期間，主要有 13 個重要的委員會議，分別針對各項主題進行委員的意見交換與討論，委員會議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)
其中還有六個子委員會，
 - 電腦輔助分析方法(AMPS: Computer Analytical Methods)
 - 配電系統分析(AMPS: Distribution System Analysis)
 - 智慧型系統(AMPS: Intelligent Systems)
 - 大數據分析(AMPS: Big Data Analytics)
 - 暫態分析模擬(AMPS: Transient Analysis and Simulation)
 - 可靠度與風險分析(AMPS: Reliability and Risk Analysis)
- 電機機械委員會(Electric Machinery)
- 電源發展與發電委員會(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)
- 電力系統動態效能委員會(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、規劃與經濟委員會(Power System Operation, Planning & Economics)
其中還有四個子委員會，
 - 大型電力系統運轉(PSOPE: Bulk Power System Operations)
 - 大型電力系統規劃(PSOPE: Bulk Power System Planning)
 - 配電系統運轉與規劃(PSOPE: Distribution System Operation and Planning)
 - 技術與創新(PSOPE: Technologies and Innovation)
- 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)

2018 PES 年會舉行期間從 8 月 5 日(星期日)至 8 月 9 日(星期四)共五天，技術類會議安排在星期一下午和傍晚以及星期二、星期三和星期四全天舉行，以技術和學術性論文發表的形式報告產業與學術界的最新發展以及相關最新技術，以供與會者能夠相互學習和進行討論。

技術類會議是以專案小組會議(Panel Sessions)、期刊論文會議(Transactions Paper Sessions)、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)等方式進行。

- 專案小組會議：邀集電力產業及學術界所關注的各種項目與論文，以同步進行方式舉辦百餘場次的專案小組會議，可算是本次年會的重點。



- 期刊論文會議：介紹高水準且具品質的 IEEE PES 期刊論文，涵括許多對能源及電力專業人士具有重要意義的問題。
- 論文討論會：多位作者簡要地介紹他們的專業論文，然後可選擇與個別作者進行討論。

- 壁報論文會議：在星期一晚上舉行的壁報論文會議，是 PES 年會的特色活動，由數百名作者共同描繪出電力產業的各個面向，每個作者以壁報展示的方式呈現論文。
- 學生壁報論文競賽：學生壁報論文競賽同時和星期二早上的與會者早餐(8月7日)在俄勒岡會議中心舉行，藉此機會了解這個領域中數百名優秀學生所做的努力。



四、技術會議內容摘要

本次 2018 IEEE PES 年會在為期五天的會期中，針對技術方面的議題同步舉辦了百餘場專案小組會議，大致可分為以下幾類技術議題，內容綜合介紹與摘要如下：

1. 電力系統規劃、調度與穩定度

在全球低碳政策積極推動下，分散式能源興起以及再生能源大量併網的轉變，使永續運轉電力系統的調度計劃，面臨著變動再生能源大規模整合和高度互動能源市場與多種能源領域耦合的靈活性。能源多樣性帶來更高的隨機性，而調度計畫的排程問題將必須考慮非線性模型、隨機模型和大量的決策變數。

在電力系統中整合了大量再生資源，是許多國家所面臨的相同挑戰，但解決方案並不相同，一些國家使用區域整合的方法，這需要強大且智慧的配電系統，而一些應用了大量集中式整合的方法，因此使用了不同的規劃過程、方法和技術。專案小組會議邀請世界各地的專家和業者在這個重要領域內分享和交流實務經驗與技術，以電力系統規劃的國際實例，促進系統規劃時的最佳解決方案，並討論在面對分散式電源高度滲透時，電網調度與規劃的先進方法，探討在大型電力系統中，分散式電源高占比時，電網和電力市場的可靠度和經濟效益。

新的顛覆性技術、極端氣候變化、自然災害、新的經濟政策、監管機制改變以及隨時間變化的短期再生能源，在如此深度的不確定性下進行規劃需要新的工具和器具，專案小組邀請專家展示數學

模型化的最新進展，為新的規劃工具鋪路，以解決深度且多規模的不確定性。

電力系統因應變動式再生能源增加的氣象考量，由於天氣驅動的再生能源增加，以及對極端氣候事件回復能力的日益重視，專案小組會議討論電力系統調度與規劃過程中如何使用氣象資訊。

電力系統的回復力對於抵禦自然災害至關重要。在現代電力系統中，可透過許多方式來提供靈活性，例如能量儲存、各種備轉和可控制的負載需求，天然氣和電力系統的整合運轉也提供了新的靈活性和回復潛力。利用新的模型化工具、集中式和去中心化/分散式演算法，將可提高大型輸配電系統以及微電網的靈活性和回復力。

在應對自然災害時，電力公司製定詳盡的計畫。智慧電網和資產管理方面的新技術，在減緩自然災害方面顯示出巨大優勢。通訊在整個減緩的努力中亦發揮著關鍵作用，從災害評估、資產分配和決策制定的內部資訊流到大眾的意識宣導。專案小組討論世界各地減輕自然災害的最佳做法，重點放在運轉技術、資料和通訊的發展以及這個主題的新技術。

隨著越來越多間歇性再生能源送入輸電網路，例如大型風力發電廠等級的大規模發電或中壓層級(MV 1kV~100kV)網路中的分散式電源，需要相量量測裝置 PMU 提高系統的觀測性、快速動作的廣域保護機制和資料串流型式的系統控制方法等電力系統運轉的新策略，以便更智慧地提高輸電系統的靈活性和利用率，以及增加系統安全性。

分散式電源在輸配電協調中所扮演的角色，因分散式電源具有靈活調度的彈性，輸配電系統該如何利用此靈活彈性來整合及調度

分散式電源。分散式電源的適當配置和調度，可增加系統效率和靈活彈性。

儲能系統和變動式電源的新整合技術，由於系統風險概況的後續變化，有必要重新審視用於評估系統可靠度的指標、高度變動式電源系統中能源短缺可能產生更嚴重的結果、經濟指標以及能源短缺事件的更詳細評估、系統運轉方面的可靠度、能源有限資源的後果以及公用事業觀點。

專案小組討論世界各地正在開發永續運轉的能源系統，再生能源的整合、提高能源效率以及永續運轉的節能社會的示範框架，包括全球能源網路、智慧城市。探討基於環境政策演變、能源市場和先進電力技術的永續能源系統發展的挑戰。

2. 電力市場與經濟議題

當今使用中的許多電力市場設計原則是在三十多年前所開發的，當時電力系統與現今和未來的系統有很大的不同。過去的系統通常依靠大型可調度的熱能發電機來滿足能源需求；目前的系統正經歷再生能源的日益普及，預計這種能源將持續到未來。此外，許多電力系統也正在經歷越來越多的終端客戶採用分散式再生能源，這增加了對於不確定性和可變動性的需求。專案小組重新審視電力市場設計的基本原則並探索新的市場設計，以適應依賴天氣的再生能源的獨特特徵以及需量的不確定性，這也將使調度與規劃及價格形成方式越來越複雜。

從電能批發層級已進行過根本性改革的電力產業，現在正面臨分散式電源和再生能源快速滲透的新革命。傳統的消費者正轉變為

生產者和儲存者，因此稱為「生產消費儲存者 Prosumage」。必須思考如何重新配置支援多方向流和點對點交易的配電系統，並製定新的可靠度標準，以便在配電系統層級和中央批發層級之間實現某種程度上的風險分擔。隨著屋頂型太陽能光電等分散式資源的激增，我們看到當公用事業依然需承擔供電可靠度及維護系統基礎設施義務時，需要新的商業形態和產品線定義，以支援重度依賴分散式電源和與生產消費儲存者交易的系統。

提供靈活性對於開啟電力市場中更高層次的再生能源發電是至關重要的。然而，提供這種靈活性需要新的技術、商業和監管框架，以允許調度中心和投資者在接觸到合適的價格訊號時，有效地使用靈活資產並配置適切的新技術投資組合。專家們分享他們對靈活性服務和所需市場安排的看法和想法，以促進短期和長期有效地提供靈活性。

再生能源占比增加以及消費者授權，正在為本地局部的電能市場鋪路。電能交易中涉及的小規模、多樣性和許多的新參與者，可能使數據交換顯著地增長。這些數據對所有的相關實體具有價值，從生產者、消費者和整合商到市場及系統調度中心。資料中心做為此類的中立資料存取點推動者，在這種情況下已經變得必不可少，以適應、解釋和管理所有相關數據，以便讓多方存取和分析它。這類數據分析使參與者能夠改進他們的決策過程，並獲得對市場環境波動的認識。

負載整合商(Load Aggregator)和配電市場，分散式電源配置增加以及將電能生產暨消費者納入電網的趨勢需要負載整合商的幫助。負載整合商管理其轄區內的所有資源，並代表分散式電源與輸

電系統調度中心進行交易。負載整合商與傳統的負載服務實體(LSE)不同。傳統負載服務實體的主要功能是從批發市場購買電力並為負載供電，而負載整合商可以遠遠超出此範疇，因為它同時管理無法控制及靈活的資源，同時擁有發電和負載資源。在內部運轉方面，負載整合商可以透過允許相互交易(能量交易)來調度和控制其轄區，負載整合商也可以透過向它們提供前期優惠來直接控制內部資源。就外部連接而言，負載整合商在大多數時間可被視為淨負載，但在需要時也可做為發電資產。負載整合商還可以利用其內部資源的靈活性，為大型電力系統提供輔助服務。負載整合商亦可以利用從終端用戶收集來的大數據提供客制化服務。

總之，負載整合商將使所有感興趣的各方受益，包括輸電系統調度中心、終端用戶和負載整合商本身。智慧建築、負載和客戶系統是負載整合商的關鍵推動因素。智慧建築和負載是可用來與負載整合商和其他分散式電源交易的寶貴資產。另一方面，負載整合商可以利用建築物和負載的智慧化為這些智慧型生產暨消費者帶來金錢收益，並提高整個系統的經濟性與可靠性。

3. 分散式能源和再生能源對策

分散式能源(分散式電源、儲能系統與變動式負載)的發展影響電力工程師在規劃與運轉電力系統各項基礎設施的方式。專案小組會議著眼於分散式能源高滲透率時的電力系統設計方案架構概念與模型，其中包括大型系統和配電系統的協調運轉，會議介紹了交互式能源(Transactive Energy)方案所支援的分散式和多代理技術，並以系統架構的觀點來呈現。

變動式再生能源在全球各電力系統中迅速地增加，而再生能源的本質是基於電力電子的發電設備，隨著具有變頻模組的電源相繼取代傳統發電廠後，改變了整個電力系統的特性，增加電網壅塞、電壓穩定度和運轉可靠度等不同層面的挑戰，專案小組概述了在再生能源高占比電力系統內的電網規劃和調度時所採用的方法，並關注於靈活性的最佳應用、輸電系統調度中心和配電系統調度中心的合作運轉、跨能源系統的規劃和調度以及在不同系統層級之間的協同作用等問題。

在電力系統全黑停電後，輸電系統調度人員必須協調電力系統的恢復，由於系統中變動式再生能源(尤其是太陽光電和風力發電)的數量不斷增加，它們對於系統的恢復過程產生了重大影響。專案小組會議討論分散式電源整合如何影響輸電和配電層級的電壓調節，以及變頻器耦合分散式電源的新控制方法，可以改善電網恢復的穩定度和速度，其中包括電壓和頻率穩定度的電流控制，以及電網在形成模式中的電壓控制。

具有變頻模組的風力發電和太陽能發電，對全世界近期系統擾動的應變，包括意外和偶發的嚴重供電中斷，是將具有變頻模組的發電設備跳脫或瞬間中斷渡過(也稱作隔離)，來回應單一或多個事故，如此可提高系統的可靠度。

隨著分散式電源占比在配電系統中持續成長，將會對整體配電系統效能造成重大影響，需要透過分散式電源管理系統(DERMS)對分散式電源進行連續的監測和控制。專案小組會議提到要將配電系統整合進分散式電源管理系統是一項挑戰，因為目前業界對於分散式電源的監控是採用各自單獨的分散式電源管理系統來直接存取分散

式電源以做監測與控制，而不是透過配電電力監控系統(DSCADA)和配電管理系統(DMS)，若能達成分散式電源管理系統與配電管理系統的整合，將允許配電管理系統擁有所有連接上電網的分散式電源的完整視野。隨著更高層級的分散式電源配置進配電系統中，將更加強調利用分散式電源來精準地評估配電系統效能。

當變動式電源的產出在整體電力組合中占了相當大的一部分時，其不受控制的升降載條件、間歇性、慣性不足及整體的不確定性，迫使電網調度中心必須採取不同的對策以繼續在其存在下運轉，這些條件必須要求變動式電源以虛擬電廠的形式，提供更多對電网友善的運轉，包括電壓和頻率支撐以及合成慣量等。

增加變動式再生能源的滲透率，是用來實現高度去碳化電力系統的關鍵。在這種大規模、長期且投資密集型的電力系統轉型過程，低碳政策和環境法規在電力系統調度、規劃與電力市場中扮演著重要的角色。專案小組會議提出碳價格的不確定性是電力基礎設施投資的頭號風險，並著眼於環境法規和低碳政策如何影響不同國家的電力系統調度、規劃與其市場。

專案小組會議討論水力發電技術、海洋能源和海洋流體動能發電技術，其中海洋能源以幾種不同的形式存在，可透過波浪、離岸風力、海洋熱梯度、洋流及潮汐等方式獲得電能，需要以不同觀點來理解這些相關但不同的能量形式，並在會議中討論這些資源的潛力、部署方案與如何商業化以及業界與學術界的觀點。

4. 智慧電網、微電網和儲能系統

隨著分散式能源與通訊網路技術的不斷創新，智慧電網正在全球各地熱烈地發展，專案小組會議由各種角度切入智慧電網技術，從越來越多的再生能源透過輸配電網路傳送電能到用戶端電能消耗系統的整合等各方面的應用經驗，期望利用創新技術實現高效率、高電力品質、成本最小化、高度永續性及現有資源的最佳利用。

其中智慧城市概念是實現智慧電網相當好的解決方案，智慧城市在本質上是跨多維度和多領域的，這個概念涉及了電力基礎設施實體、大型社區的通訊網路建設和整個社會背景，其共同目標是能夠提高生活的品質。

實現智慧城市的概念需要從基礎層面做提升，包括使用(1)建築物監測資料、智慧電表數據等資料的收集和分析工具。(2)負載需量預測、反應與管理。(3)智慧城市的電力與能源分配。(4)智慧並具有回復力的微電網解決方案。(5)各項元件的模型化、設計與最佳化工具。(6)採取整體化方法來整合社會和技術上的挑戰。

近年來實現電網回復力的需求和動能越來越大，在極端氣候和其他電力中斷事故發生期間，讓醫院和消防部門等關鍵設施上維持電能供應是極度重要的。微電網提高了自然災害和電網擾動時對於關鍵負載的供電可靠度。除此之外，透過額外的規劃和設計，微電網還可以幫助恢復微電網以外的其他關鍵負載，甚至提高系統的回復能力。

除了智慧電網和微電網技術外，儲能系統在整個電力系統中亦發揮著越來越大的作用，儲能可提供相當大的價值，包括提高系統的可靠度及資源的靈活彈性。

為了適應再生能源的高滲透率，電力市場應鼓勵各種能量儲存技術的參與，以釋放電力市場提供靈活彈性服務的完整潛力，但這取決於能否克服現有監管框架的侷限，並將儲能系統與其他電網規模可提供靈活服務的資源整合起來。專案小組會議特別關注新形態監管解決方案對於商業儲能系統的批發和零售模式。

5. 輸電、配電、儀器設備和量測

全球的電力產業正在發生強烈的變化，電網正從具有大型發電廠的系統轉移成為具有中小型分散式發電資源的系統。現今已經出現主動式配電網和微電網叢集，在這樣的系統中流過網路的電力傳輸是雙向的，從輸電到配電到微電網，反之亦然。它導致不同級別(即輸電、配電和微電網)實體之間的垂直電能交易，及同一級別的實體之間的水平電能交易，也使電網的管理和決策過程變得相當複雜。輸電和配電管理之間的協調，是電力系統社群的主要關注點。

上述的能源基礎設施中，不同的代理(術語"代理"指的是控制實體)將對系統的不同部分負責，這意味著代理需要相互協調，以實現整個電網的效率和可靠的運轉。然而擁有收集了所有訊息的中央管理實體可能不可行，因為自主代理不願意與其他方共享自己的訊息，因此現有的集中式電能管理功能，可能不再適合於管理這種多代理分散式能源系統。專案小組討論分散式和去中心化最佳演算法的潛力，以管理現代電力系統。

在低壓層級(LV 1kV 以下)和中壓層級中越來越多的分散式發電，專案小組強調它們對整個電能供應系統的控制和穩定度方面的貢獻，特別是再生能源和汽電共生的混合使用，在低壓電網提供了

多能源系統使用協同效應的機會，以及跨領域實現雙向併網儲能系統(X Storage)的優點。專案小組展示了最新及正在進行中的研究、試點和示範項目，有關於主動式配電網中跨領域、多種能源系統、雙向併網及城市規模智慧電網的技術。

在過去幾年中，智慧電表已經廣泛部署。它們提供了一種機會來測量細微刻度的消耗時態數據，並建構消費者行為和選擇的詳細模型。專案小組討論了智慧電表數據的開源平台，並提供現有功能的即時展示，可供電力系統社群用於推展研究和實踐。

配電管理系統 DMS 中的當前狀態估計功能依賴於非常有限數量的 SCADA 測量，但是由於分散式電源的高占比和大量的現場感測器建置，該數量將顯著地增加。在配電層級引入智慧電表和“iPMUs”，將在增強監控和控制方面提供相當大的優勢。

然而大量的連續數據將帶來運算和通訊方面的挑戰，除此之外，不斷增長的資訊和通訊技術 ICT 基礎設施，將使智慧電表數據暴露於網路攻擊。專案小組亦針對智慧電表數據安全和分析相關的挑戰進行討論。

6. 電力系統通訊、網路安全與資料運算技術

電力產業是電腦技術的早期採用者。現代的電力系統規劃重度依賴著電腦輔助模擬和最佳化。近年來，由於再生能源發展、負載端的參與、政策環境變化等所導致的不確定性層級增加，所需要的運算需求急遽增加。傳統的分析 and 運算方法以及基於它們所建立的工具，正面臨著追上現代電力系統規劃運算需求的巨大挑戰。專案小組討論電力系統規劃中的運算密集型應用，它在運算上的挑戰和

潛在解決方案。

電力系統規劃正成為推動高效能運算(HPC)和大數據分析的關鍵領域，因為分散式能源和變動式電源的高占比，帶來前所未有的複雜性和不確定性。需要更先進的電力系統規劃解決方案，以提高電力系統經濟規劃、發電擴展規劃、輸配電網路規劃和資源充足性分析等方面的彈性和效率。同時，計算機產業也取得了巨大的發展，特別是從大型計算機到多核 CPU 架構、通用 GPU 和雲端運算平台的高效能運算技術。使得許多應用能夠解決更大和更複雜的電力系統規劃問題。

現今電網的運轉相當依賴於網路分析，公用事業公司靠著複雜的模型化和分析工具來最佳化快速增長的複雜電網規劃、調度和保護機制，然而需要維護和管理的模型數量呈現指數型增長。業界中推出了一項新措施，主要目標有兩個：更好地協調網路模型資訊，集中管理這些訊息，以提供可在多個業務領域中使用的準確模型。使用公用信息模型(CIM)建構一個可有效創新、維護和交換且堅實、靈活及可擴展的集中式網路模型。

在大型電力系統網路中，系統條件不斷地變化且部分網路中所發生的事件可能對於網路其他部分造成高或低的影響。具有高度局部影響的事件或運轉條件的改變，需要快速控制反應且涉及不同實體所擁有的資產時，可透過分散式監測和控制以更好的方式解決，特別是在分散式能源高占比時。以更高速率得到的高解析量測資料，提供了分散式監測和控制的機會。分散式控制，需要分散式感測、分散式資料處理、分散最佳化、專為分散式控制而設計的硬體控制器和相關網路的基礎建設。

能源網際網路(Energy Internet)是能源系統和網際網路的深度結合，是塑造下一代能源系統的新興概念，也是一個新的能源生態系統，其具有更好的互聯性、開放性和靈活性，旨在適應深度滲透的再生能源、提高能源效率，並創造一種新穎的共享經濟，並顯著地降低能源成本。能源網際網路被視為是智慧電網的未來願景，其與智慧電網最大的差別在於三個特徵，(1)網際網路思維將重塑能源網路，由多種能源系統的協同作用而建置而成，包括提供熱能、制冷、燃氣、運輸及提供電力，透過連結這些異構的能源子系統，來產生新的靈活性並實現高效率。(2)雲端運算、大數據、物聯網和區塊鏈等網際網路技術，也將使能源網路更加有智慧且更加開放。(3)基於共享經濟的新商業模式和能源市場，並考量到廣泛的電能生產暨消費者。

近年來，深度學習技術領域已取得了巨大進步，這是人工智慧發展的基礎。儘管仍處於起步階段，但對於電力系統應用的深度學習已引起全世界研究人員的興趣。例如電能預測、狀態評估、可靠度分析、經濟調度、資訊網路安全和需求管理等。

7. 大數據分析和資訊實體整合系統(Cyber-Physical Systems)

物聯網、雲端、大數據，人工智慧和認知運算是近年來的流行語。但是，解決實際產業問題的進展仍然非常緩慢。業界的專家(供應商、ISO和公用事業)在會議中討論產業需求，並分享他們在實際電力業界案例中施行實際解決方案的經驗。

感測、電子、嵌入式運算和通信方面的改善，正在改變電力系統的監控、運轉和控制方式。現有感測器技術的解析度和精確度也

在不斷提升，因此被使用於新的應用領域，例如在配電系統中部署的相量測量單元(PMU)。物聯網(IoTs)的願景也逐漸被應用於電力系統，從建築物監測資料到電動車再到電網設備，為電力系統中的分散式智慧化打開了新的大門。但是僅靠資料取得還不夠，新的感測數據必須與有用的分析搭配使用。專案小組討論了開發大數據分析(BDA)工具和技術的當前研究和實作狀況，以推展新一代電力感測器技術的數量、類型和其他特性。

在過去幾年中，全球的先進計量基礎設施(AMI)安裝數量急劇增加。與此同時，物聯網(IoT)也發展迅速。配電系統中越來越多的設備和裝置可以相互通訊。開啟終端用戶智慧電表數據分析潛力的策略和演算法。大數據應用包括配電系統中的電能優惠分析、客戶細部分類、非侵入式負載監控、電能盜竊檢測和需量反應分析。

智慧能源系統必須利用靈活的資源和資訊技術，從現有系統中創造額外的能力，釋放再生能源的價值，並最終為生產暨消費者帶來經濟利益。

資訊實體整合電力系統(Cyber-Physical Power Systems)越來越依賴網路系統進行監控、控制和最佳化運轉。電力系統的可靠運轉已高度依賴於相關網路系統的可靠度。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，是離散事件和連續程序的混合。

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。未來的智慧電網將成為資訊實體整合電力系統(CPPS)，它是一種空間與時間多維異構的系統。資訊系統中事件驅動的離散和隨機特性，以及物理實體電力系統的連續時間

和動態特性，使得混合系統的協調操作更加複雜。

現代電網是一個複雜的資訊和實體整合的關鍵基礎設施，構成了我們社會的生命線，其可靠和安全地運轉對國家安全和經濟福祉至關重要。近年來，對電網的網路威脅在數量和複雜程度上都在增加，包括對烏克蘭電網的兩次攻擊（2015年，2016年）以及2017年夏季針對美國和幾個歐洲國家的能源基礎設施的多次攻擊嘗試。越來越需要開發實用的方法、指標和工具，系統化地瞭解網路威脅、攻擊與後果，這些方法、指標與工具被用於發展風險評估、風險舒緩演算法，包括攻擊預防、異常檢測和攻擊-回復控制演算法。

8. 其他技術主題

電力產業需要採取有效的鄉村電氣化措施，包括離網解決方案，以解決目前無法獲得基本電力服務的多數鄉村社區 12 億人口。在發展中國家，這些努力目前缺乏標準化，這限制了所採用的干預措施的有效性，最終導致只有少數能夠與高品質的電力供應網路做連結。標準化可大致分為相關產品或服務標準，世界銀行/國際金融公司所支持的照亮全球標準(Lighting Global Standards)，為太陽能家用系統(Solar Home Systems)和微微照明(Pico-lighting)奠定了良好的基礎，但對於較大型系統還沒有全球公認的標準，這方面 IEEE 1547 工作小組正在努力進行中。

虛擬電廠(VPP)的市場模型與運轉，虛擬電廠正成為可將分散式再生能源、電動車電池和需求端資源整合到電網中的新趨勢。虛擬電廠模型可做為較小資源的電能整合器，被用來做為統一且靈活的資源，並基於電網需求而進行交易，以最大化資產擁有者的利益。

專案小組邀請了來自美國、歐洲和中國的業界和學術界的演講者，根據各種電力市場框架和運轉需求，分享將虛擬電廠模型化和運轉時所採用的最新技術和概念

諧波電壓失真仍然是電力網路中的一個重要問題，公用事業公司充分意識到這會對電力品質產生影響。隨著電力電子負載的數量增加，諧波交互作用和具有變頻器模組的發電設備，例如太陽光電和風力發電，這個問題在未來可能會變得更加惡化。然而要確認來自運轉設施的諧波排放等級，仍然很複雜且很難在實作中使用。近年來，提出了許多技術來確定諧波排放等級，但由於各種原因，它們都沒有在實作中被廣泛地使用，因為這些方法需要先知道系統阻抗的實際網路資料。

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，會挑選一個美國城市來舉辦年會，今年特別選在有玫瑰城 (City of Roses) 之稱的俄勒岡州波特蘭市舉行。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。

本年度年會由 PES 主席 Saifur Rahman 主持的成員會議揭開序幕，再依照前面章節所述的幾個重點會議同步舉行，有些會議由技術委員主持，針對各技術委員會需要討論的重要議題進行探討；有期刊論文發表會，由作者展示其研究成果並說明研究過程後再進行討論；有學生壁報論文競賽，透過自助式早餐和壁報論文展示的方式，讓與會者可以更容易地與優秀學生互相交流；會議期間年會也有舉辦需要額外付費參加的技術教學課程。另外年會很體貼的使用行動 APP 來通知與會者各項會議議程和動態更新。

本次代表系統規劃處參加 2018 年會，行程以參與技術性會議為主。技術專案小組會議是以學術研討會的形式進行，每個小組會議大約 2-4 小時，其中包含數個子議題，會議由主題演講者或相關論文作者以簡報方式介紹議題，再由感興趣的與會者或專家提問以交換意見。由於小組會議是多議題同步進行，會議期間時常看到領域專家和與會者穿梭於會展中心的各個會議室，相當熱絡。

這次能夠出席電力領域的國際會議，是一次非常難得的學習經驗，在這趟會議中跟隨著國際專家們探討當再生能源高占比時，電網和電力市場的可靠度和經濟效益。受極端氣候災害影響，在系統規劃及調度時應考慮隨機及非線性模型、系統回復能力及多規模的不確定性。在會議中也瞭解到電力市場的運作基礎與架構，在面對分散式電源大量併網時，負載整合商(Load Aggregator)的角色定位。會議中看到電力領域的專家學者如何利用大數據分析和物聯網技術，結合電力系統實體，達成需量反應分析和用戶分類、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。

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運轉和規劃上的重點，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。建議能夠持續指派單位內的年輕世代參與此類會議，返國後能以較高層次的視野、更具前瞻性的思維來規劃未來的電網。

明年度的 IEEE PES 年會預計於 2019 年 8 月 4 日(星期日)至 8 月 9 日(星期五)在亞特蘭大(Atlanta, GA, USA)舉行。

