

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實 習)

美國奇異公司  
電力系統工程班

服務機關：台電系統規劃處

出國人職 稱：電機工程師

姓 名：張智彥

派赴國家：美國

出國期間：106.10.14~106.12.3

報告日期：107.1.30

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：美國奇異公司電力系統工程班

頁數 40 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：

張智彥/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

出國期間：106年10月14日~106年12月3日 出國地區：美國

報告日期：107年1月30日

分類號/目

關鍵詞：公用事業(Utility)、重組(Restructure)、分散式能源

(distributed energy resources, DER)、微電網(Micro Grid,

MG)、儲能(Energy Storage, ES)

內容摘要：(二百至三百字)

美國奇異公司電力系統工程班 2017 年課程之四大主題分別為電力系統工程研討、電力系統規劃與進階應用、電力市場及能源經濟研討、新興技術研討，本次奉派出國參加電力市場及能源經濟研討部分課程及新興技術相關課程。

有關電力市場與電力經濟、公用事業轉型及分散式能源、智慧電網、儲能、再生能源等子課程更為近年來各國電業發展之重點項目，適逢台灣電業法正處於加速改革推展的路途上，上述課程有助建立對未來公用事業轉型及國外先進技術發展趨勢之概念。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網

(<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

# 報告內容

一、出國緣由與目的.....	1
二、出返國行程.....	3
2-1 去程 .....	3
2-2 受訓 .....	3
2-3 返程 .....	3
三、心得與建議.....	5
四、電力產業重組.....	8
4-1 電力產業重組的理由 .....	8
4-2 四種電力產業架構模型 .....	12
4-3 解除管制市場的市場參與者 .....	17
4-4 美國電力產業之重組 .....	19
五、分散式能源、微電網、儲能.....	24
5-1 分散式能源 .....	24
5-2 微電網 .....	28
5-3 儲能 .....	31
六、參考文獻(攜回資料).....	40

## 圖目錄

圖 2-1 奇異公司再生能源學習中心地理位置(資料來源：GOOGLE MAP).....	4
圖 2-2 奇異公司再生能源學習中心一隅 .....	4
圖 3-1 PSEC 2017 參訓學員 .....	5
圖 4-1 業界汽機熱效率的演進(課程講義提供).....	9
圖 4-2 壟斷(MONOPOLY)架構模型(課程講義提供).....	13
圖 4-3 單一買方架構模型(課程講義提供).....	14
圖 4-4 批發市場競爭架構模型(課程講義提供).....	14
圖 4-5 零售市場競爭(RETAIL COMPETITION)架構模型(課程講義提供).....	15
圖 4-6 開放批發市場競爭(WHOLESALE COMPETITION) (課程講義提供).....	16
圖 4-7 開放零售市場競爭(RETAIL COMPETITION) (課程講義提供).....	17
圖 4-8 美國 1992 年 QF 的容量與位置 (課程講義提供) .....	20
圖 4-9 截至 2000 年美國各州運轉/計畫中之 ISO/RTO(課程講義提供).....	22
圖 4-10 截至 2006 年美國運作中之 ISO/RTO(課程講義提供).....	23
圖 5-1 全球分散式電源之成長(課程講義提供) .....	26
圖 5-2 分散式發電技術對照(課程講義提供).....	28
圖 5-3 微電網之組成(課程講義提供).....	29
圖 5-4 天災造成停電帶來的經濟損失 (課程講義提供) .....	30
圖 5-5 微電網評估與任務工作流程 (課程講義提供) .....	30
圖 5-6 微電網電氣控制和通信基礎設施功能設計 (課程講義提供) .....	31
圖 5-7 儲能依其反應時間而有不同應用(課程講義提供).....	32
圖 5-8 抽蓄水力(課程講義提供).....	33
圖 5-9 空氣壓縮(課程講義提供).....	34
圖 5-10 飛輪(課程講義提供).....	35
圖 5-11 電池(課程講義提供).....	36

## 表 目 錄

表 2-1 去程行程表.....	3
表 2-2 返程行程表.....	3
表 4-1 不同國家電業重組(轉型)理由 .....	11
表 4-2 不同配電公司名稱(課程講義提供).....	19
表 5-1 分散式能源的特點.....	25
表 5-2 儲能應用(課程講義提供).....	32
表 5-3 儲能形式與技術.....	33
表 5-4 加州至 2020 年之儲能設置目標(課程講義提供).....	38

## 一、出國緣由與目的

我國電業法已於 106 年 1 月 26 日修訂公布，電力市場架構已將呈現新風貌，輸配電業需配合研擬相關代輸作業，並配合國家所推動太陽光電及離岸風力等大量再生能源政策，除持續強化對於相關再生能源併網對系統衝擊研擬及併網規定修訂之外，配合綠能代輸議題為目前所需著手進行研議重要課題。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，人民對環境意識的抬頭以及對福島事件後之恐懼，致使國家整體能源政策之規劃需改變傳統思維，引進新穎的技術及經驗面對挑戰。

為滿足未來負載成長需求，在各項大型發電及既有電廠機組更新之電源開發計畫未完成前，須及早對電網進行因應規劃，以提供穩定可靠的電網系統。遂此，規劃者應吸取國外專家之電網規劃策略及採納新興技術俾利克服困境。美國奇異公司電力系統工程班係著重於下列技術之研習：(一)電力系統工程研討、(二)電力系統規劃與進階應用、(三)電力市場及能源經濟研討、(四)新興技術研討。除電力系統外，有關電力市場與電力經濟及分散式能源、智慧電網、儲能、再生能源等議題之探討更與本公司未來系統規劃息息相關。

本訓練課程不僅可提供本處派訓人員建構更完善之電力經濟與新興技術之理論及實務經驗外，訓練期間亦可與國外各知名電力公司派訓人員交流規劃經驗及理念，以利強化既有規劃能力及技術。

## 二、出返國行程

本出國計畫，自 106 年 10 月 14 日起，至 106 年 12 月 03 日止，前後共 51 天，詳細行程及地理位置圖如下所示：

### 2-1 去程

表 2-1 去程行程表

出發日期	出發地點	抵達日期	抵達地點
106.10.14	台北(桃園機場) TPE	106.10.14	紐約甘迺迪機場 JFK
106.10.15	紐約 New York	106.10.15	斯堪那特提 Schenectady

### 2-2 受訓

106.10.16 ~ 106.11.30

美國紐約州斯堪那特提(Schenectady)奇異公司再生能源學習中心(GE Renewable Energy Learning Center)電力系統工程班-電力市場及能源經濟研討課程及新興技術課程。

### 2-3 返程

表 2-2 返程行程表

出發日期	出發地點	抵達日期	抵達地點
106.12.1	斯堪那特提 Schenectady	106.12.1	紐約 New York
106.12.2	紐約 New York	106.12.3	台北(桃園機場) TPE



圖 2-1 奇異公司再生能源學習中心地理位置(資料來源：GOOGLE MAP)



圖 2-2 奇異公司再生能源學習中心一隅

### 三、心得與建議

(一) 此次受訓共有 10 位學員參加全期四個月之課程（日本 8 人、韓國 2 人），本人有幸參加一個半月之課程，另有約 10 人參加 1~2 星期之短期課程，大多為具電機背景之各國電力公司、能源技術顧問公司員工，職務則涵蓋規劃、運轉、發電、輸電、配電、再生能源及電力市場等領域，學習期間除互相瞭解各國電業概況及發展方向外，亦藉由分組作業的競合，讓不同國家學員強化不同面向之思考溝通合作，共同面對問題、解決問題，並瞭解電力批發市場運作及電源電網規劃之觀念，增強自身專業領域外寬廣度。



圖 3-1 PSEC 2017 參訓學員

(二) 課程建議：

依原核定之出國計畫為四個月，惟因預算不足僅能參加電力市場及能源經濟研討部分課程及新興技術課程，對於電力系統及電力系統規劃等範疇無法獲得更進一步之新知；又日本電力公司派訓之學員除參加電力系統班之外，亦於課餘期間安排探訪美國各州之公用事業機構及相關供應商、製造商，對於美國各州之電業發展、設備科技新知能掌握得更深入，上述作為可作為未來公司人員派訓之參考，故建議能增加預算使學員能參加完整之電力系統工程班並安排造訪其他州之公用事業機構，加深學習之寬度及廣度。

### (三) 生活建議：

- 參加完整課程之學員可由奇異公司代為承租公寓，集中住宿，無論是學習效果及生活上之互相照顧等方面都可互相幫忙。本次派訓因屬中短期，奇異公司無法代為承租公寓，住宿旅館所費不貲。
- 因上課地點偏遠且無公共交通工具，考量人員安全因素，住宿地點與上課地點間之交通不建議採步行方式，建議可採租車或者搭乘 Uber 或 Lyft 之組合方式。

- 建議可於出發前在台灣先行辦理美國當地電信業者之易付卡（T-Mobile 或 AT&T 等），選擇合適之通話及上網方案以處理抵達美國之交通、住宿等事項，亦便於緊急聯絡。

## 四、電力產業重組

### 4-1 電力產業重組的理由

在 19 世紀末期 20 世紀初期之間，在美國仍有 6500 家公用事業供應電力給路燈與電車。但到了 1920 年，因科技效率的成長，導致了公用事業的合併：16 大電力控股公司控制著全美 75% 以上的發電機；在 142 家註冊控股公司中，前三大控股公司則控制超過 50%。而其他許多國家，公用事業則由國家或中央政府擁有和經營，由公共部門控制公用事業所有權的主要原因如下：

- ✓ 資本密集型發電廠和輸電投資需要國家融資支持。
- ✓ 普遍認為電力部門是自然壟斷(natural monopoly)，因此應該保持在國營。
- ✓ 電力對國家安全具有關鍵性之地位。
- ✓ 應該以合理的成本向公民提供基本之服務。

輸配電(T&D)功能維持壟斷的原因包括經濟規模、以及空間與視覺考慮，避免多條輸電與配電線路。電業垂直整合之原因包含將發電與輸配電分離的技術挑戰（例如運營挑戰）、長期系統規劃之協調、發電經濟規模等。然而隨著複循環發電廠(規模小於燃煤發電) 發電效率越來越好，這些小型發電廠可以在沒有國家資金的情況下建造，因

此發電經濟規模不再是電業垂直整合的理由的。因此，將發電與輸配電分離是電業轉型重組的重點。

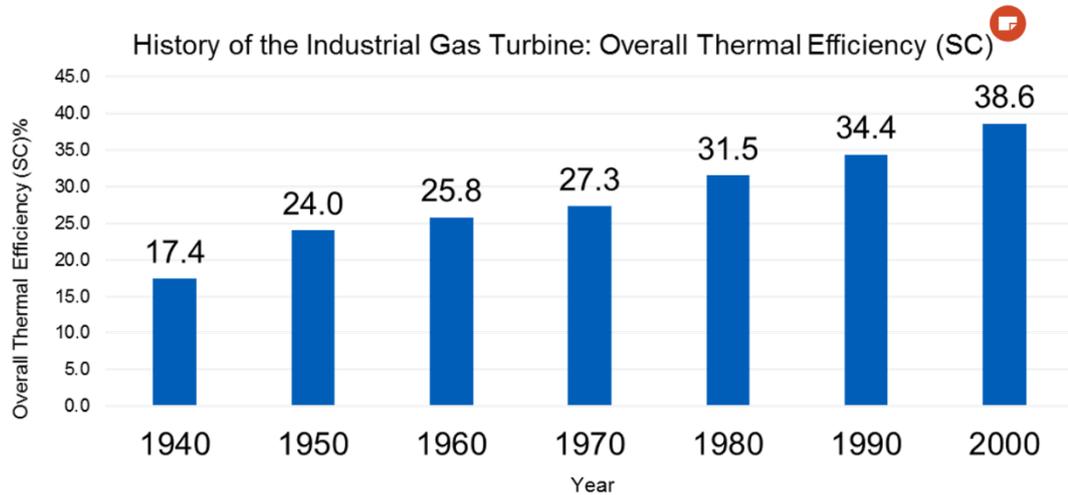


圖 4-1 業界汽機熱效率的演進(課程講義提供)

在公用事業不屬於國家所有的區域，管制(Regulatory)阻止了壟斷型的公用事業機構從納稅人獲取利益：

- ✓ 公用事業負責維護發電、輸電、系統運營、配電和零售的壟斷功能。
  - ✓ 公用事業擁有所有的發電和輸電設備，並獲得投資回報（利率基礎）
  - ✓ 公用事業有責任以合理的價格提供充足、安全和可靠的服務。
- 公用事業被授予該領域之獨占權，並有機會（不保證）獲得公平的投資回報。

監管者的角色在於保護消費者免受具有強大市場支配力的公司的濫用；保護投資者免受政府的任意行動影響投資、提升行業經濟效益。

重組(Restructure)，亦有人用解除管制(De-regulation)、自由化(Liberalization)、市場改革(Market Reforms)稱之；公用事業重組的意義在於改變現存的公司，分離部分功能或者結合部分功能，有時亦可能創造出新的公司；其目的在於透過放鬆管制開放競爭，但並非完全結束管制而在於改變管制方式以培育更有效率的市場，透過消費者用其荷包鼓勵和獎勵效率更高的供應商，而效率較低的供應商被迫離開市場。

電力產業重組的主要理由：

- ✓ 為客戶降低能源價格。
- ✓ 目前結構下的受管制公用事業績效欠佳。
- ✓ 國家財政壓力。
- ✓ 提高電力供應安全。
- ✓ 電力產業技術發展。
- ✓ 在現有的架構下電力供應設施投資不足。
- ✓ 無法為大部分人口提供服務。
- ✓ 現有結構下價格過低，無法回收成本和支持新的投資。

- ✓ 其他部門或國家成功改革的證據（如美國電力產業於天然氣產業之後、巴西跟隨阿根廷之後進行改革）。

不同國家有不同的重組理由，已開發國家面臨容量過剩、使用昂貴的發電技術、經濟效率低下、消費者對廉價能源的需求不斷增長等問題；發展中國家面臨缺乏公共部門財力來滿足日益增長的需求、體制效率低下、能源補貼負擔沉重、服務品質低落、高線路損失、服務覆蓋率低、容量短缺和能源投資限制等。

表 4-1 不同國家電業重組(轉型)理由

國家	電業重組(轉型)理由
美國	為了降低不同地區之間的價格差異和技術進步
印度	開放經濟投資，但邦立公用事業效率低下。
迦納	電力供應短缺、對外借貸政策、財政危機、缺乏投資，配電行業表現不佳
巴西	州立公用事業效率低下、來自智利及阿根廷的示範效應
中國	電力改革為自由經濟改革的一部分。
台灣	民眾對公部門效率之不信任、鼓勵再生能源發展、輸配電業分離避免電業間交叉補貼

管制與開放競爭的主要區別在於，不同角色承擔下列有關的風險：

- ✓ 市場需求與價格。
- ✓ 信用風險。
- ✓ 技術變革使電廠面臨淘汰或較不具競爭力。
- ✓ 有關維護、員工、投資等經營上的決策。

在管制的狀況下，顧客承受風險；在解除管制狀況下，電廠擁有者承擔風險。

開放競爭的可能對象：發電、售電

- ✓ 發電部門是開放競爭的主要對象，因規模經濟而導致的垂直整合的舊模式不再是唯一解。
- ✓ 採購、定價和銷售電力的零售部門可開放競爭。
- ✓ 輸電、配電分配和電力調度部門不開放競爭，而應該維持壟斷獨占。

## 4-2 四種電力產業架構模型

任何電業重組的模型都有下列特點：

- ✓ 消除競爭實體(發電業和零售業)與必要設施提供商(傳輸、配電、電力調度)之間的利益衝突。
- ✓ 通過新的協議和規則確保競爭實體和基本設施之間的協調。
- ✓ 確保市場價格取代替管制價格，才是真正具有競爭力的市場設定。

以下介紹四種架構模式：壟斷模型、單一買方模型、開放批發市場競爭模型、開放零售市場競爭模型。以上模型其輸電、配電、電力調度功能均為設定為壟斷獨占，其差別在於誰(公用事業、大客戶、小客戶)是發電業的買家。

1. 模型 1-壟斷(Monopoly): 使用了 100 年的垂直整合架構(如圖 4-2)。

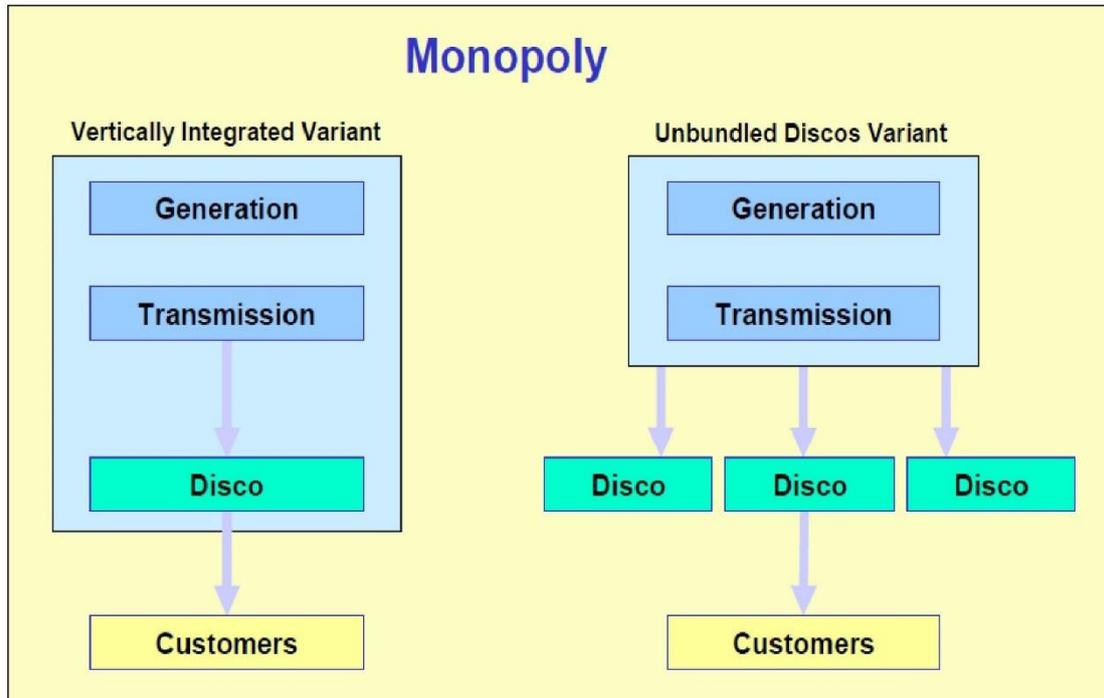


圖 4-2 壟斷(MONOPOLY)架構模型(課程講義提供)

2. 模型 2-單一買方(Single Buyer): 有限的競爭模型，讓獨立發電業者能透過長約賣電給單一買家(如圖 4-3)，透過長約將風險轉嫁予消費者。

IPP(Independent Power Producer)將電力賣給擁有所有用戶的公用事業，其價格透過 PPA(Power Purchase Agreement)合約雙方議定。

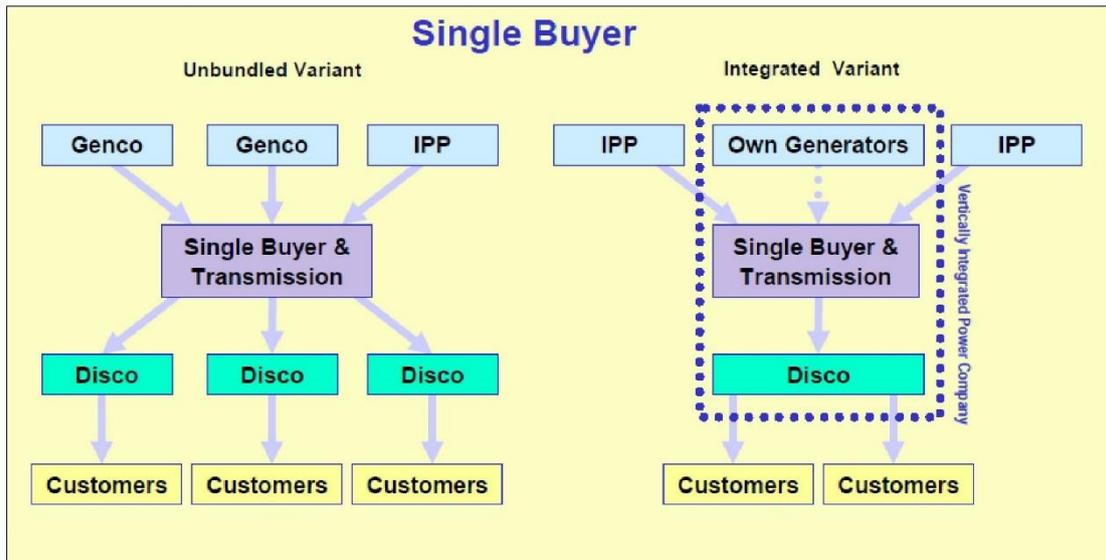


圖 4-3 單一買方架構模型(課程講義提供)

3. 模型 3-開放批發市場競爭(Wholesale Competition)：配電公司與大客戶為發電競價的買者。(如圖 4-4)

所有發電端都受到監管，並銷售電能到批發市場。

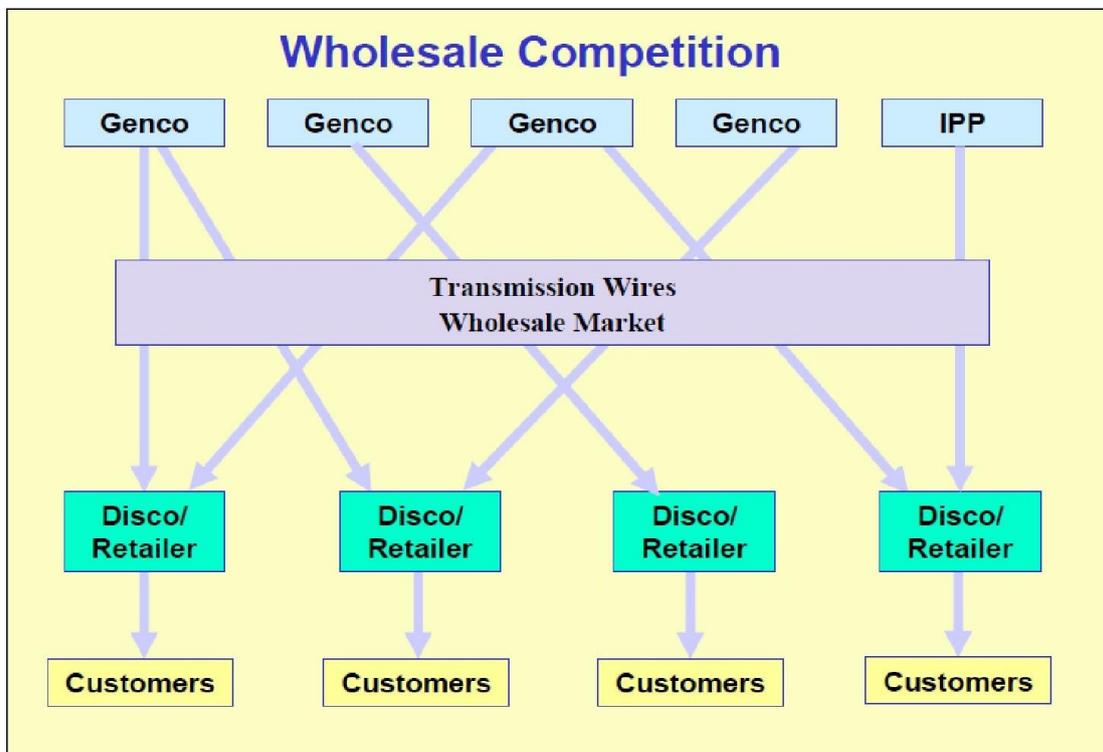


圖 4-4 批發市場競爭架構模型(課程講義提供)

4. 模型 4-零售市場競爭(Retail Competition): 開放用戶選擇其供應來源，小型客戶可透過零售市場購買電力。(如圖 4-5)

目前在英國、紐西蘭、阿根廷、澳大利亞、挪威、瑞典、西班牙，加拿大亞伯達省、美國的紐約州與德州均已開放零售市場。

相較於模型 3，模型 4 對所有客戶的結算流程、抄表、計費和教育都有額外的要求，例如需教育小型客戶有關購買電力之知識。

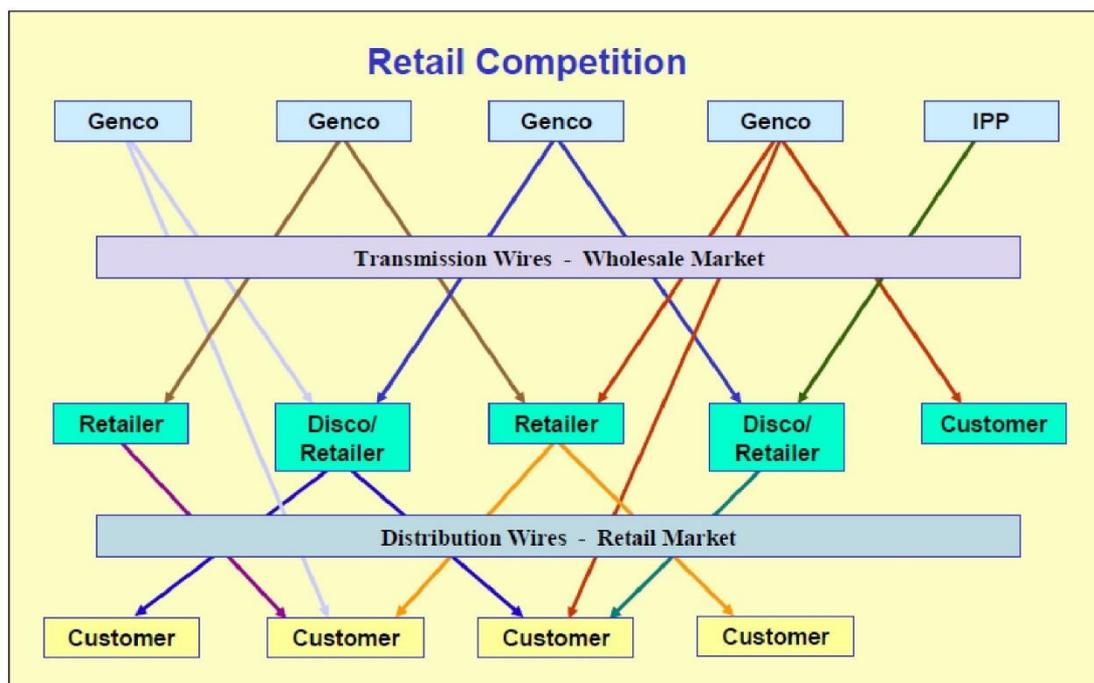


圖 4-5 零售市場競爭(RETAIL COMPETITION)架構模型(課程講義提供)

5. 開放競爭之批發市場(如圖 4-6)

- ✓ 公用事業部門保持對小客戶的傳輸、分配和零售業務的壟斷功能。大客戶則直接從批發市場經銷者購買電力。
- ✓ IPP 可出售電予公用事業或批發市場經銷者。
- ✓ IPP 不一定有購電契約 (PPA)。
- ✓ 系統調度由獨立單位 ISO 執行。

## Wholesale Competition

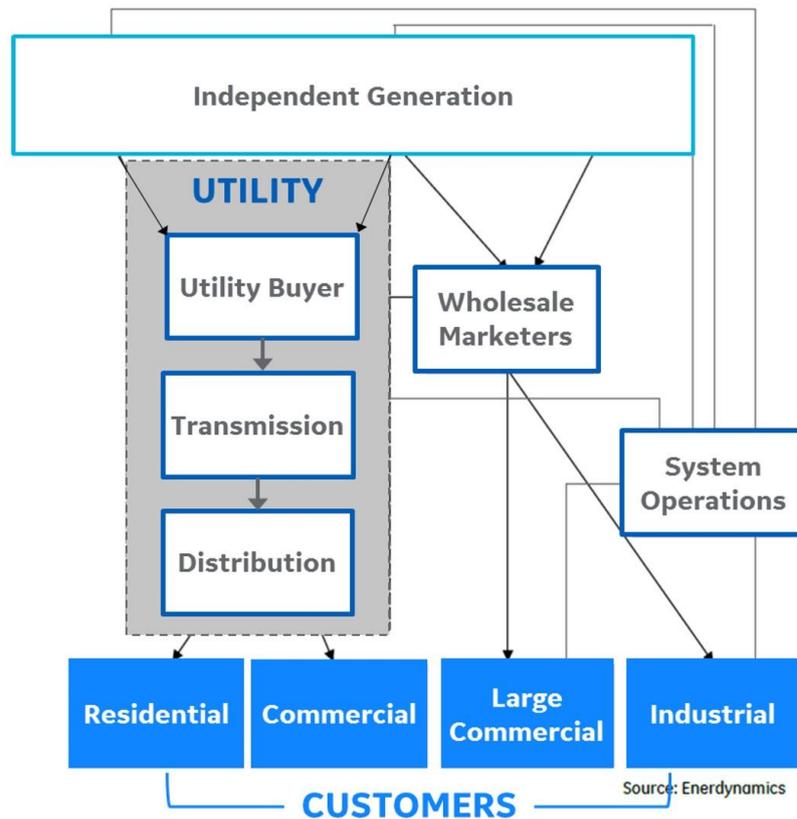


圖 4-6 開放批發市場競爭(WHOLESAL COMPETITION)(課程講義提供)

### 6. 開放競爭之零售市場(如圖 4-7)

- ✓ 公用事業維持持傳輸和分配的壟斷功能。

- ✓ 批發經銷者和零售經銷者向所有客戶銷售電力。
- ✓ IPP 出售電力給批發經銷者或零售經銷者。
- ✓ IPP 不一定有購電契約 (PPA)。
- ✓ 系統調度由獨立單位 ISO 執行。

## Retail Competition

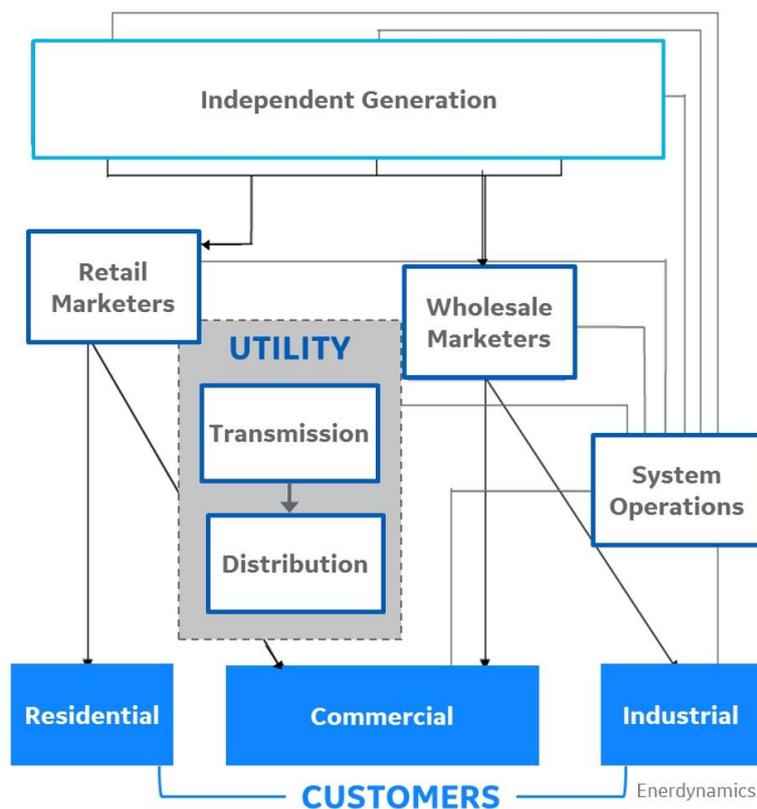


圖 4-7 開放零售市場競爭(RETAIL COMPETITION)(課程講義提供)

### 4-3 解除管制市場的市場參與者

#### 1. ISO(Independent system operator)/RTO(Regional Transmission Operator)

- ✓ 運作由發電與負載進行買賣能源的市場。

- ✓ 運轉輸電系統及管理費率。
- ✓ 負責電網的可靠度。
- ✓ 負責輸電規劃。
- ✓ 運行容量和其他輔助服務市場。
- ✓ 批發經銷者和零售經銷者向所有客戶銷售電力。

## 2. 輸電公司(Transmission Company)

- ✓ 獨立輸電公司(Independent Transmission Company)：  
只有輸電業務，其收益受管制。
- ✓ 商業輸電公司(Merchant Transmission Company)：  
只有輸電業務，其收益是以市場機制為基礎。

## 3. 電力經銷者(Electric Markets)

- ✓ 批發經銷者  
購買電力並賣給公用事業，典型的批發經銷者一般來說不擁有發電廠，經營重點著重在風險管理，可能為單獨公司或公用事業部門。
- ✓ 零售經銷者  
購買電力並賣給終端用戶，經營重點著重在大量銷售與客戶服務、產品發展等。

## 4. 配電公司(Distribution Company)

- ✓ 配電服務的壟斷提供者
- ✓ 提供電能給不從市場經銷者處購電的客戶
- ✓ 依據其提供的價值服務而有不同的名稱

表 4-2 不同配電公司名稱(課程講義提供)

Load Serving Entities	LSE
Energy Service Provider	ESP
Retail Electric Company	REC
Electric services Companies	ESCP

## 4-4 美國電力產業之重組

### 1. 相關法令

#### (1) 公共事業管理政策法(PURPA)-1978 年

PURPA 是“國家能源法”的子法，旨在減少對外國石油的依賴，開發再生能源和替代能源，要求電力公用事業公司通過向合格設施 (QF) 購買容量和能量。QF 的定義如下：

- ✓ 必需是汽電共生或再生能源機組。
- ✓ 容量低於 80MW。
- ✓ 電力公用事業持股低於 50%。
- ✓ 對 FERC 及 PUCs 規範豁免。

- FERC-聯邦能源管制委員會，負責管理美國國家間的能源傳輸和批發。
  - PUCs-州公共公用事業委員會，管理能源的分銷和零售。
- ✓ 著重在運轉與效率之規範。

至 1992 年為止，QF 的容量達整體之 10%，主要集中在新英格蘭州、紐約州、紐澤西、加州、德州、賓州。

(如圖 4-8)

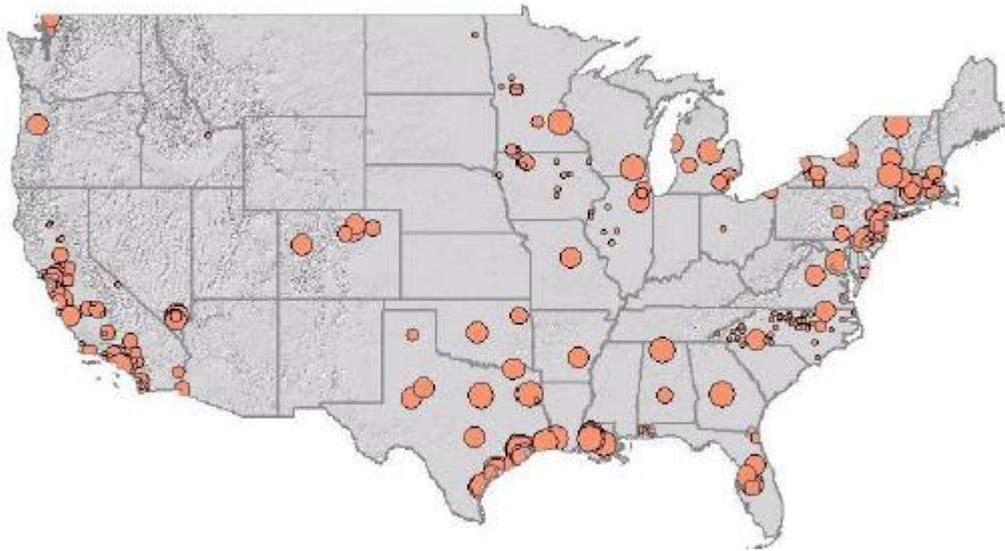


圖 4-8 美國 1992 年 QF 的容量與位置 (課程講義提供)

## (2) 1992 年的能源政策法案

為電力產業歷史上最重要的立法之一，導致了電力產業重組，並為創建了一個名為豁免批發發電機 (EWGs) 的電力生產者，其特點如下：

- ✓ 不受 PURPA 對發電容量或燃料類別的限制
- ✓ 對州的法規豁免
- ✓ 在 FERC 授權下進行電力代輸

但 IPPs 和公用事業在輸電行為的可用性和費率不一致。

### (3) Order 888 -1996 年

聯邦能源管理委員會於 1996 年 4 月頒布了關於使用輸電行為之傳輸價格相關之命令。

- ✓ 要求所有輸電網路擁有人基於公平的條件下提供批發傳輸服務 → 輸電網路開放費率條款 (Open Access Transmission Tariff)

- ✓ 在功能上將發電、輸電、電力調度和配電分離

- ✓ 定義了公用事業必須提供傳輸服務辦隨的六項輔助服務

- ✓ 鼓勵公用事業公司建立獨立調度中心 (ISO)

電能批發貿易因此由 1996 年的 100M KWh 成長到 2000 年的 4500KWh，但代輸電能市場亦面臨著必需向多個傳輸實體支付費率，造成價格攀升之問題。

### (4) Order 2000 – 1999 年

Order 2000 要求自願者創建區域性輸電組織(RTOs)，避免電網巴爾幹化(亦即分裂成許多小組織)，並提供一套公用事業形成區域性輸電組織需遵循的規則與導引。

RTO 的形成可帶來下列益處：

- ✓ 消除傳輸對象的差別待遇。

- ✓ 改善傳輸容量的計算。
- ✓ 改進並行路徑流量和可靠性的管理。
- ✓ 改善傳輸之定價方法。
- ✓ 改善傳輸擁塞管理。

Independent System Operators and Regional Transmission Organizations in Operation or Under Discussion as of April 1, 2000

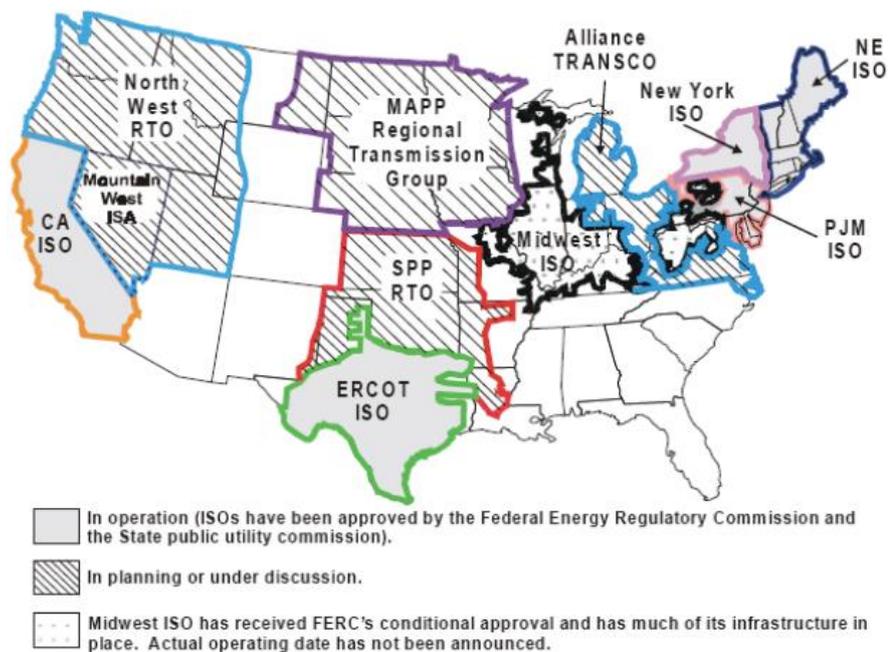


圖 4-9 截至 2000 年美國各州運轉/計畫中之 ISO/RTO(課程講義提供)

## 2. 加州能源危機與安然醜聞 - 2000~2001

(1) 造成加州能源危機的原因很多，如下：

- ✓ 十年內缺少新的發電機組或輸電線路上線
- ✓ 西北水力發電量很低
- ✓ 天然氣價格上漲
- ✓ 大約 10GW 容量已經退役

- ✓ 在複雜的市場結構下不允許簽訂遠期合約
- ✓ 零售價格凍結

(2) 總部位於德克薩斯州休斯頓的美國能源公司安然公司破產，並連鎖導致一度貴為全球五大審計會計事務所之一的安達信會計師事務所解體。

(3) 上述事件，造成 FERC 統一市場架構的目標停滯，一些解除管制的州開始思考是否重新管制

3. 電業重組之結果：三分之二的美國人住在有 ISO/RTO 服務的區域；在 2004 年，ISO / RTO 服務美國 62% 的能源消耗；ISO / RTO 控制著美國國內 585,000MW(67%) 的發電機。

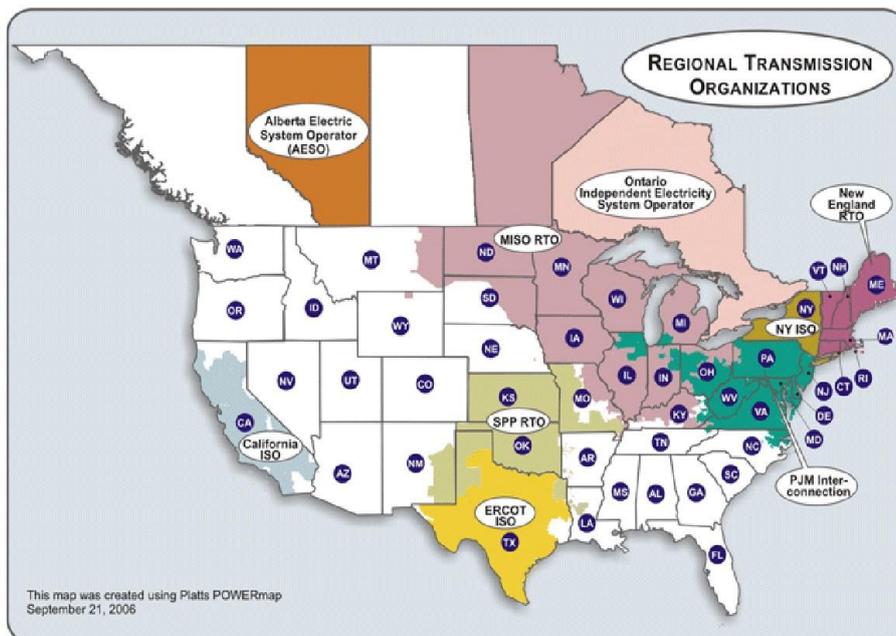


圖 4-10 截至 2006 年美國運作中之 ISO/RTO(課程講義提供)

## 五、分散式能源、微電網、儲能

### 5-1 分散式能源

分散式能源 (DER) 是分散且較小型(非電網規模)的電力來源，結合儲能系統以提供必要的電力，滿足正常需求。

DER 透過在配電系統中部署分散式和小型 (非電網規模) 發電，結合需求端的能源 (即負載管理) 和能源儲存系統，以滿足系統客戶的能源和可靠性需求。分佈式能源可以安裝客戶端或公用端 (但需要有智慧電表)，包含發電機、可管理的負載 (如電動汽車充電)、儲能、負載管理及輔助服務(如備轉電力、電壓控制、無效電力、全黑啟動)等。

分散式發電設備(DG)其主要來源是燃料、風力等，依據 ERCOT 協定之定義，分散式發電是任何發電設備如分散式太陽能板、風能或汽電共生 (內燃機，燃料電池，微型渦輪機，燃氣輪機)，安裝於客戶端(低於 10MW 位於低於 60kV 以下之電壓層級)並與電網連接。

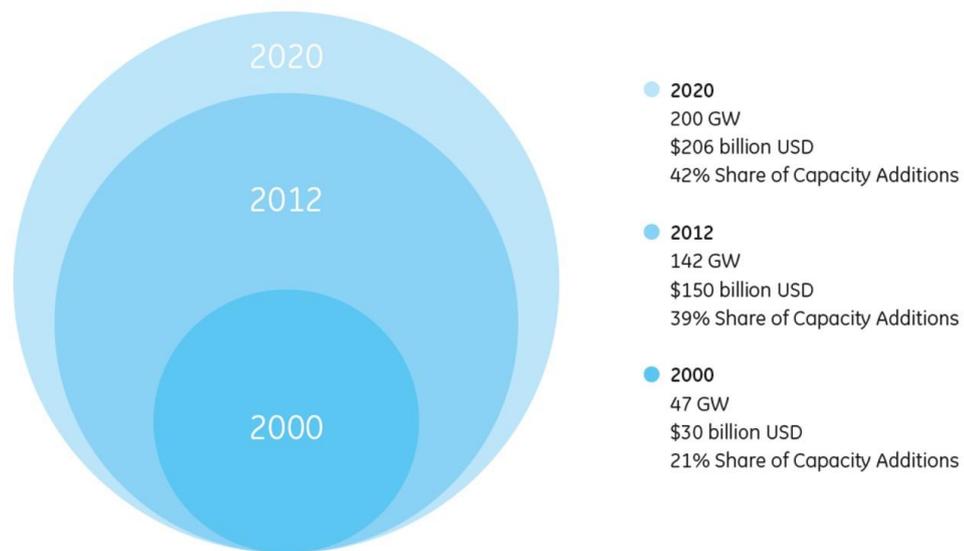
隨著電網持續現代化，儲能和先進的再生能源等技術，幫助實現智慧電網之轉型。

表 5-1 分散式能源的特點

特點	說明
分散	於客戶負載附近
小巧	安裝和操作更容易、財務風險更小。
模組化	具彈性且可調整符合不同的需求。
清潔	相對乾淨之能源。

### 1. 分散式能源技術發展的原因

- ✓ 環境與永續性之期待。
- ✓ 政府法規和政策：再生能源配比標準(RPS)、環境與氣候變化目標和能源效率目標。
- ✓ 技術發展：DER 發電技術的創新、以及資訊和計算機技術的發展，使分散式供給需求的監測、可視化、通訊、指揮與控制成為可能。
- ✓ DER 的經濟學分析：規模和成本的改善。
- ✓ 財務激勵措施：稅收激勵和折扣、上網電價和淨計量(Net metering)。
- ✓ 創新服務和市場商業模式。



Source: "The Rise of Distributed Power", Brandon Owens, GE Ecomagination, Figure 1, 2014.

圖 5-1 全球分散式電源之成長(課程講義提供)

## 2. DER 的優點

- ✓ 推遲對新一代，輸電和配電電網之投資。
- ✓ 在突發事件中提供孤島提供電網彈性。
- ✓ 有助於電網可靠度、穩定性及質量。
- ✓ 提供尖峰電力、備用電力和可遠端遙控電力。
- ✓ 減少價格波動的影響（在價格高的期間使用成本較低的電力）。
- ✓ 在能源消費者附近提供更多的具燃料使用彈性的系統。
- ✓ 減輕輸電和配電的擁塞。

- ✓ 接近負載，減少輸電和配電線路損失。
- ✓ 在大多數情況下，產生的噪音或排放量很少。
- ✓ 類似虛擬電廠可動態地與市場互動和交易。
- ✓ 提供熱能（供熱和製冷）能源。
- ✓ 可以提供輔助服務。
- ✓ 有助於能源安全。
- ✓ 提供能源多樣性。

### 3. 各種不同分散式發電技術

- ✓ 生物質能。
- ✓ 燃料電池。
- ✓ 汽電共生。
- ✓ 水力發電。
- ✓ 工業氣渦輪機。
- ✓ 微型渦輪發電機。
- ✓ 往復式發動機（RE）/內燃機（IC）。
- ✓ 太陽能-包含太陽能板發電與聚光太陽能熱發電。
- ✓ 風力發電機組。
- ✓ 混合動力技術。

Characteristic	Reciprocating engines	Gas turbines	Microturbines	Fuel Cells	Solar PV	Small Wind
Typical size range	20 kW–20 MW	10–100 MW	30–250 kW	5 kW–5 MW	1 kW+	200 W+
Representative power efficiency range (%) (HHV)	28–49%	21–45%	18–20%	35–60%	-	-
Fuel options	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diesel</li> <li>• Natural gas</li> <li>• Alternatives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Natural gas</li> <li>• Alternatives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Natural gas</li> <li>• Alternatives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydrogen</li> <li>• Natural gas</li> </ul>	Renewable resource	Renewable resource
Thermal outputs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heat</li> <li>• Hot water</li> <li>• Low pressure steam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heat</li> <li>• Hot water</li> <li>• Low/high pressure steam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heat</li> <li>• Hot water</li> <li>• Low/high pressure steam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hot water</li> <li>• Low/high pressure steam</li> </ul>	None	None
Power density (KW/MW)	35–50	20–500	5–70	5–20	-	-
Min start time	10 sec	10 min	60 sec	3 hours	Immediate	Immediate
Required fuel pressure (psig)	1–45	100–500 (compressor)	50–80 (compressor)	0.5–45	NA	NA
Noise	Moderate	Moderate	Moderate	Low	None	Low
Favored applications	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Power</li> <li>• CHP</li> <li>• Mechanical drive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Power</li> <li>• CHP</li> </ul>	Power	Power	Power	Power

圖 5-2 分散式發電技術對照(課程講義提供)

## 5-2 微電網

微電網是一個清楚界定邊界彼此互相連接的負載和分散式能源（如分散式發電機、儲能設備或可控負載）的群體，為單一可控實體，可以控制連結電網或斷開連結，使其能夠以聯網或孤島模式下運作。孤島模式下運作時，必須能夠支持與公共安全與健康相關之關鍵負載超過一週的任務，故潛在微電網設置點為醫院、醫療中心、警察局、消防站、學校、政府大樓、軍事基地等關鍵基礎設施。

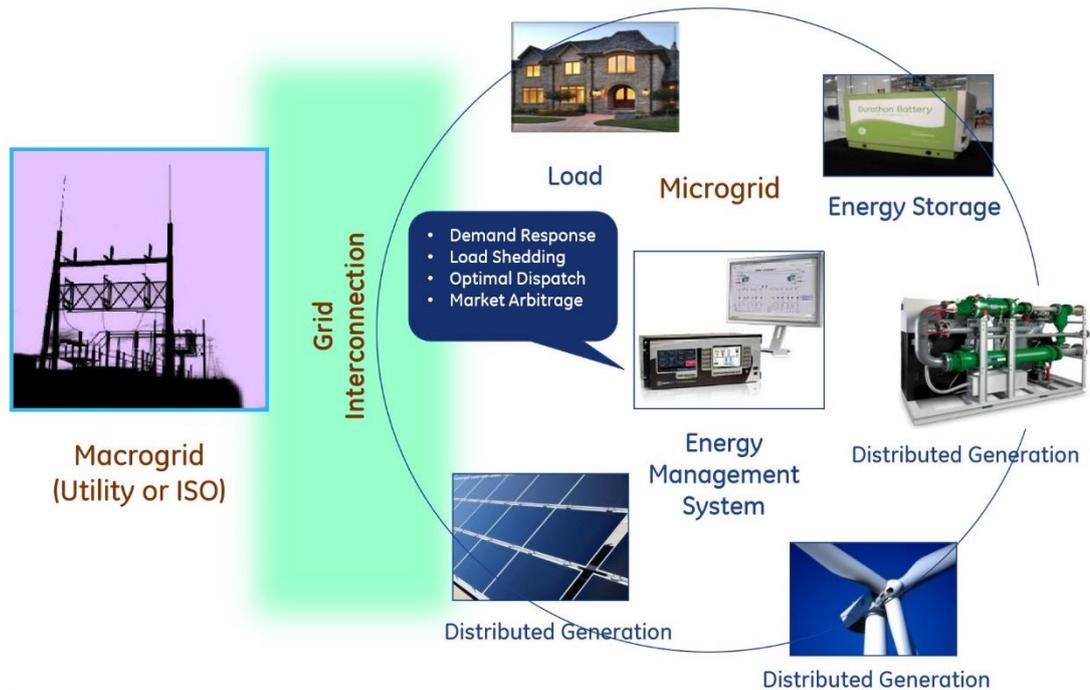
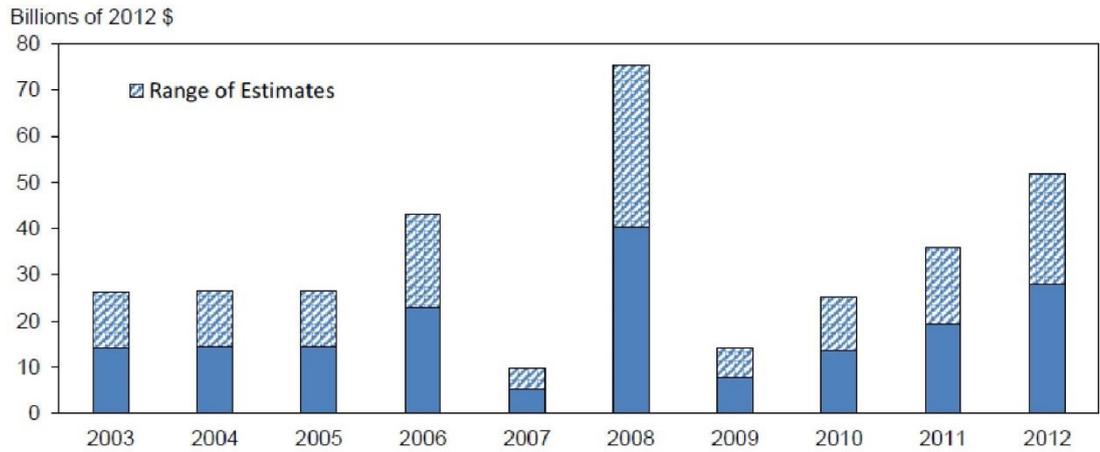


圖 5-3 微電網之組成(課程講義提供)

1. 設置微電網之理由：

- ✓ 電網彈性：處理人為和自然災害的影響。
- ✓ 系統可靠性：在緊急情況下允許孤島和關鍵負載連續運行。
- ✓ 島嶼和孤立的地區：為了在與普通電網隔離的地區實現可靠且經濟高效的電力系統運行，並且獲得成本較低的燃料來源有限。
- ✓ 工業需求：為企業需求及減少操作，以獲得自力更生，可靠，經濟高效的能源。

Estimated Costs of Weather-Related Power Outages



Source: CEA estimates using data from Census Bureau, Department of Energy, Energy Information Administration, Sullivan et al 2009.

圖 5-4 天災造成停電帶來的經濟損失 (課程講義提供)

## 2. 微電網發展者的任務

### Microgrid Assessment & Task Workflow

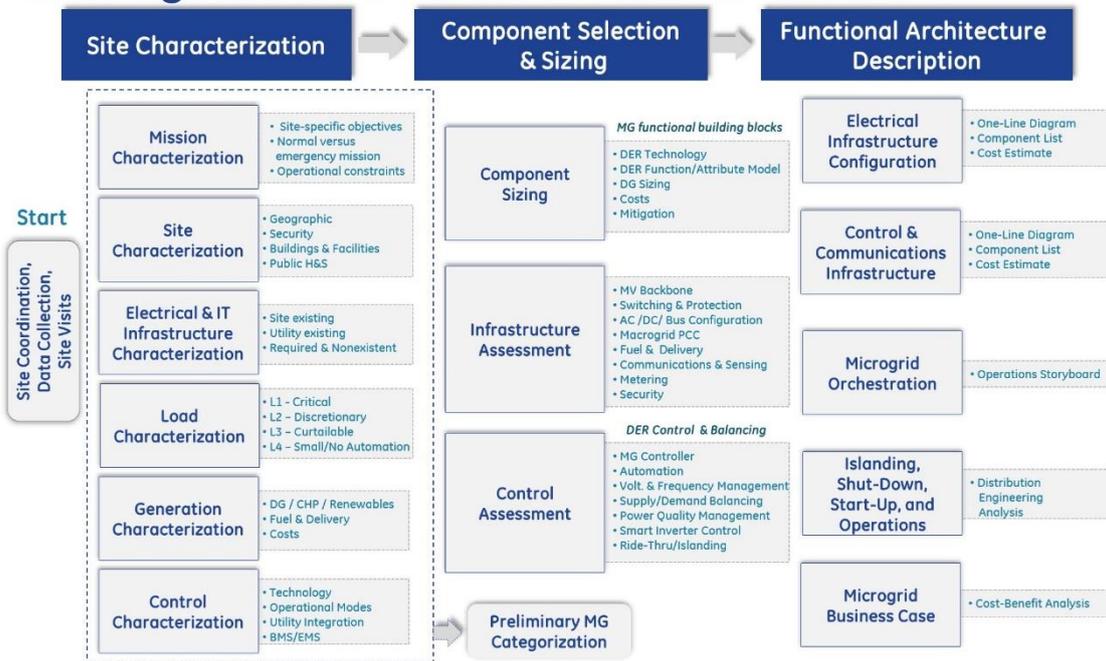
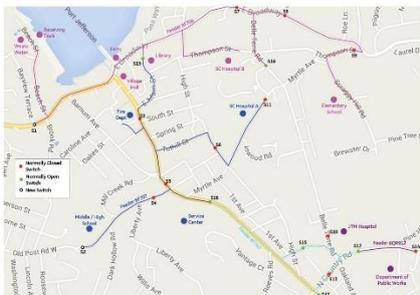


圖 5-5 微電網評估與任務工作流程 (課程講義提供)

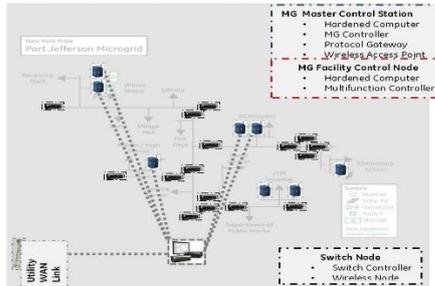
- ✓ 定義微電網區域及設置之站點。

- ✓ 識別關鍵、可削減的負載。
- ✓ 執行負載和供應分析。
- ✓ 確定最佳分散式發電組合。
- ✓ 執行電氣基礎設施的功能設計。(圖 5-6)
- ✓ 執行控制和通信基礎設施的功能設計。(圖 5-6)
- ✓ 進行配電系統工程研究。
- ✓ 制定商業案例，影響和成本效益分析。
- ✓ 評估燃料供應和輸電基礎設施的充足性，以支持各種微電網配置的運行。
- ✓ 制定實施的設計規範。

Interconnected Loads



Control & Communications Network



Electrical Network (One-Line Diagram)

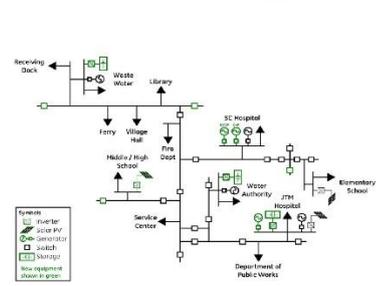


圖 5-6 微電網電氣控制和通信基礎設施功能設計 (課程講義提供)

### 5-3 儲能

儲能技術主要是指電能的儲存。儲能的應用包含能源套利交易、發電容量、設備容量、擁塞管理、風能太陽能發電輸出圓滑化、調頻...等(如表 5-2、圖 5-7)。

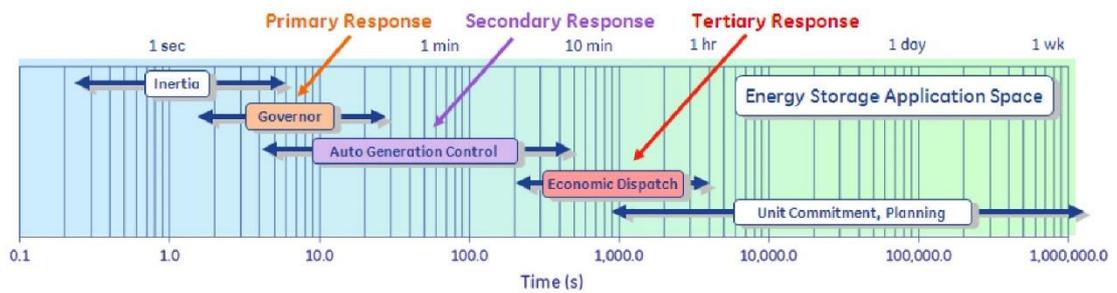
表 5-2 儲能應用(課程講義提供)

### Potential Applications

Application	Type	Description	Value
Energy Arbitrage	Energy	Buy low, sell high	Displaces most expensive generation
Generation Capacity	Energy	Time shift energy from off-peak to peak load	Defers investment in new generation
Equipment Capacity	Energy	Reduce flow through overloaded lines and transformers	Defers investment in new equipment
Line Congestion	Energy	Time shift delivery of renewable energy during congestion	Delays transmission line reinforcement
Wind/Solar Smoothing	Power	Reduce ramp rates of wind and solar plants	Contributes to reserve & regulation requirements
Frequency Regulation	Power	Rapidly inject and remove power for short intervals	Contributes to regulation requirements
Reserves	Power	Dispatch power in < 10 minutes	Contributes to system reserves
Governor / Inertial	Power	Provide dynamic equivalents of synchronous generators	Reduces severity of frequency variations

The cost of storage should be compared against conventional approaches

■ Power  
■ Energy



Each application for energy storage should enhance grid operations and performance

圖 5-7 儲能依其反應時間而有不同應用(課程講義提供)

#### 1. 儲能的優點

- ✓ 事故期間地的運轉備援。
- ✓ 尖峰期間的負載削減。
- ✓ 尖峰期和非尖峰期能源高價差之套利。
- ✓ 減緩再生能源的影響。

## 2. 儲能的能源形式與技術(如表 5-3)

表 5-3 儲能形式與技術

儲能形式	儲能技術
位能	抽蓄水力(Pumped Hydro)
機械能	飛輪(Flywheel)、壓縮空氣(Compressed Air)
電化學	鋰電池(Lithium Battery)、液流電池(Flow Battery)、鈉電池(Sodium Battery)、其他電池類型
靜電	超級電容器(Ultra Capacitor)
熱能	熱質量(Thermal Mass)

以下針對儲能技術介紹：

- (1)抽蓄水力：利用兩個具高低落差的池塘，離峰時段利用泵由高度較低之池塘抽至較高之池塘，再於尖峰時段由較高之池塘利用高低差之位能發電。其優勢是所需之技術較低、容易維護，但面對環境衝擊之影響，開發之許可取得日益艱難，目前全球有約有 127GW 商業運轉中。

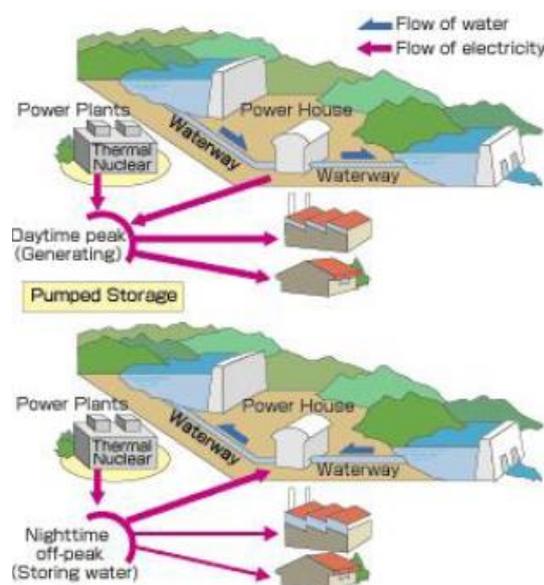
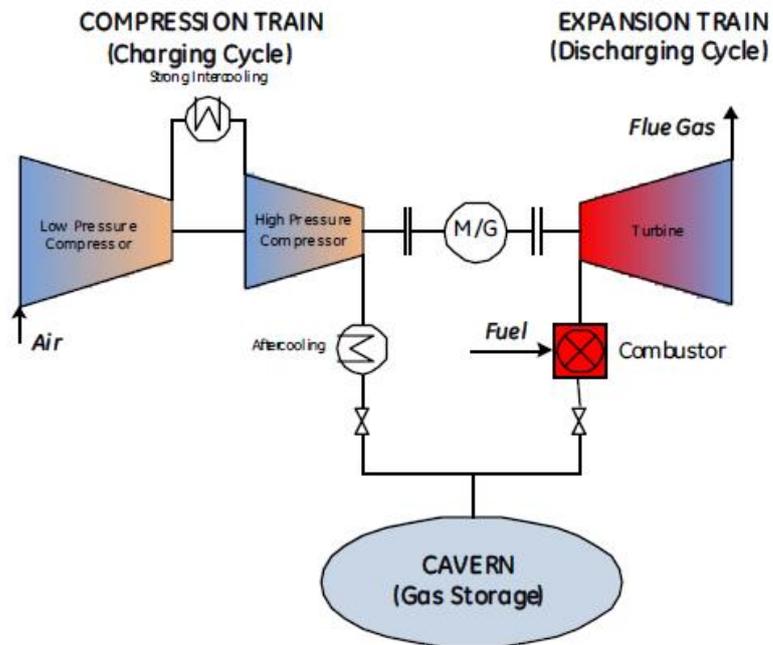


圖 5-8 抽蓄水力(課程講義提供)

(2) 空氣壓縮：利用離峰時段預先壓縮空氣儲存於地下室中以供氣渦輪機使用，可減少 60% 左右之燃料(因氣渦輪機大概有 2/3 的燃料是用於壓縮空氣)。相對簡單的技術，亦可大規模應用，惟需要一個天然的洞穴來儲存壓縮空氣、其效率亦受限於預先壓縮之空氣需加熱使用。商業上 1978 年德國建置了 290MW 機組。



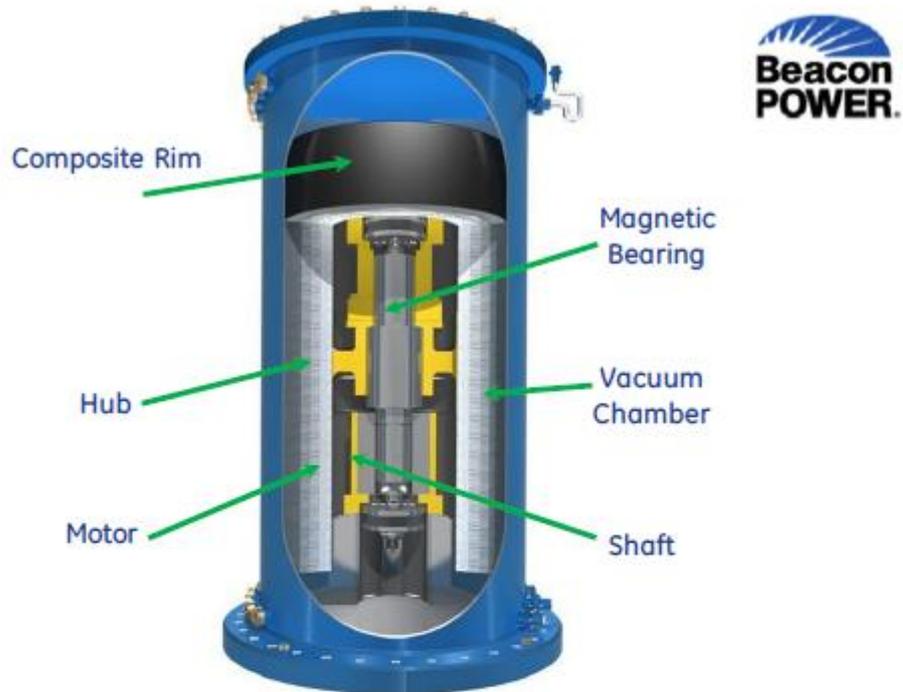
CAES Plant in McIntosh, Alabama



圖 5-9 空氣壓縮(課程講義提供)

(3) 飛輪：利用質量圍繞軸旋轉以儲存機械能，機械能通過發電機轉換成電能，適用於短暫的充放電循環（少於 10 分鐘），其優勢是所需之技術較低、容易維護、成本較傳統電池儲存方案低，目前該技術已於 2000 年商業運轉，惟受限於輸出之限制及材料強度安全等疑慮，普及性較低。

### 100kW / 25kWh Beacon flywheel module



Construction of a Beacon plant

圖 5-10 飛輪(課程講義提供)

(4)電池：利用各種化學物質互相作用，能提供電力電子設備交流介面及提供秒級到小時級的電能儲量。其優勢是在廣泛部署電動車用電池及模組化下可以降低成本。電池使用生命週期是其風險所在。該技術從 1980 年開始有佈署計畫、電池系統大部分安裝於拖車。

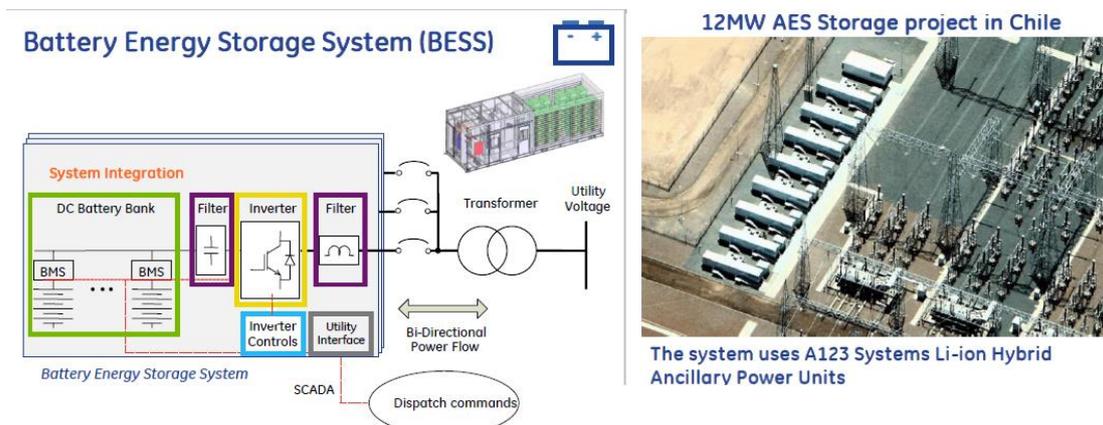


圖 5-11 電池(課程講義提供)

### 3. 儲能裝置的新興應用

以往儲能裝置的應用如下：

- ✓ 用於處理人為和自然災害造成的災難性停電。
- ✓ 在緊急情況下允許孤島和關鍵負載的連續運行，以保持供電可靠性。
- ✓ 在與電網隔離的地區提供穩定、可靠和經濟效率較高之系統運行。

隨著新興技術的發展，如廉價、高可靠性的通訊、高功率強大的分散式智能裝置、新能源(包括再生能源，小型高效熱能和電儲存)等，亦帶來新的可能應用：

- ✓ UPS (不間斷電源功能)。
- ✓ 擴大儲能規模。
- ✓ 智能 UPS (優先與分區功能)。
- ✓ 橋樑電力 (直到區域發電機啟動)。
- ✓ 支持緊急和恢復狀態。
- ✓ 支持區域能源 (燃氣輪機，水電，太陽能/風能等) 全黑啟動。
- ✓ 對停電電網區域進行更快、更安全地恢復及重新注入電能。

#### 4. 儲能政策

依據加州能源委員會之 AB 2514 - Energy Storage System Procurement Targets from Publicly Owned Utilities，需於 2020 年底前達成儲能 1.3 GW 之設置目標。

儲能採購政策目標為降低用電尖峰值以推遲輸配電系統之投資、整合再生能源、至 2050 年溫室氣體排放量比 1990 年

減少 80%、創造新能源的所有權模式（公用事業、第三方或客戶所有）

表 5-4 加州至 2020 年之儲能設置目標(課程講義提供)

<b>Storage Grid Domain Point of Interconnection</b>	<b>2014</b>	<b>2016</b>	<b>2018</b>	<b>2020</b>	<b>Total</b>
<b>Southern California Edison</b>					
Transmission	50	65	85	110	310
Distribution	30	40	50	65	185
Customer	10	15	25	35	85
<b>Subtotal SCE</b>	<b>90</b>	<b>120</b>	<b>160</b>	<b>210</b>	<b>580</b>
<b>Pacific Gas and Electric</b>					
Transmission	50	65	85	110	310
Distribution	30	40	50	65	185
Customer	10	15	25	35	85
<b>Subtotal PG&amp;E</b>	<b>90</b>	<b>120</b>	<b>160</b>	<b>210</b>	<b>580</b>
<b>San Diego Gas &amp; Electric</b>					
Transmission	10	15	22	33	80
Distribution	7	10	15	23	55
Customer	3	5	8	14	30
<b>Subtotal SDG&amp;E</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>70</b>	<b>165</b>
<b>Total - all 3 utilities</b>	<b>200</b>	<b>270</b>	<b>365</b>	<b>490</b>	<b>1,325</b>



## 六、參考文獻(攜回資料)

1. “STRATEGIC GENERATION AND TRANSMISSION PLANNING” –  
CHRISTOPHER COX, JASON FRASIER, WESLEY HALL
2. “POWER ECONOMICS” – DEREK STENCLIK, STEVE OLTMANN  
“RESTRUCTURING OF THE ELECTRIC POWER INDUSTRY” –  
SUNDAR VENKATARAMAN
3. “DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES, MICROGRIDS, ENERGY  
STORAGE, AND ELECTRIC VEHICLES” – BAHMAN DARYANIAN,  
DOUGLAS WELSH
4. “PLANNING FOR HIGH PENETRATIONS OF DER” – DEBBIE LEW,  
SLOBO MATIC, NARESH ACHARYA
5. “DEMAND RESPONSE AND DYNAMIC PRICING” –  
BAHMAN DARYANIAN
6. “FUNDAMENTALS OF RENEWABLE ENERGY SYSTEMS”  
– NICHOLAS MILLER, JASON MACDOWELL, SUDIPTA  
DUTTA, SEBASTIAN CHILLES, MATTHEW RICHWINE