

# 電網現代化與智慧電網發展重點

## Key Focuses of Power Grid Modernization and Smart Grid Development

張文恭, PhD, PE, IEEE Fellow

台灣智慧型電網產業協會

國立中正大學電機系

2024-12-06

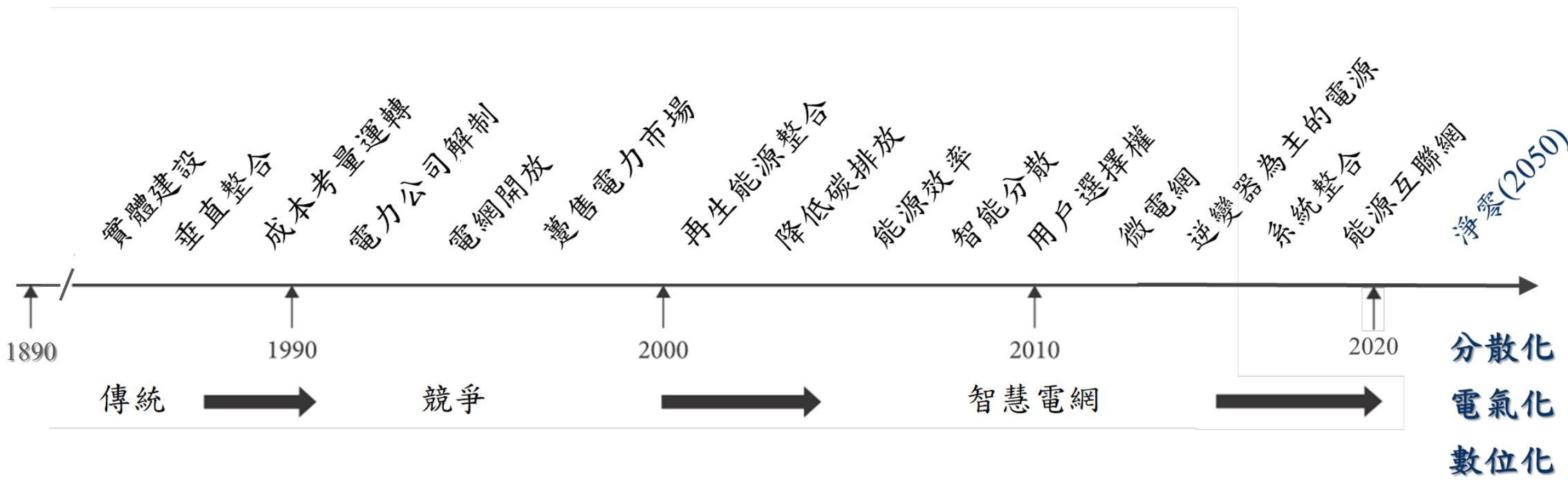


# 大綱

- 電網演進/能源轉型
- 淨零轉型與電力系統去碳化
- 淨零智慧電網技術之實踐
- 再生能源整合之演進與未來電網
- 電網安全性與韌性增強的關鍵議題
- 智慧電網技術之挑戰
- 淨零智慧電網技術之展望
- 總結



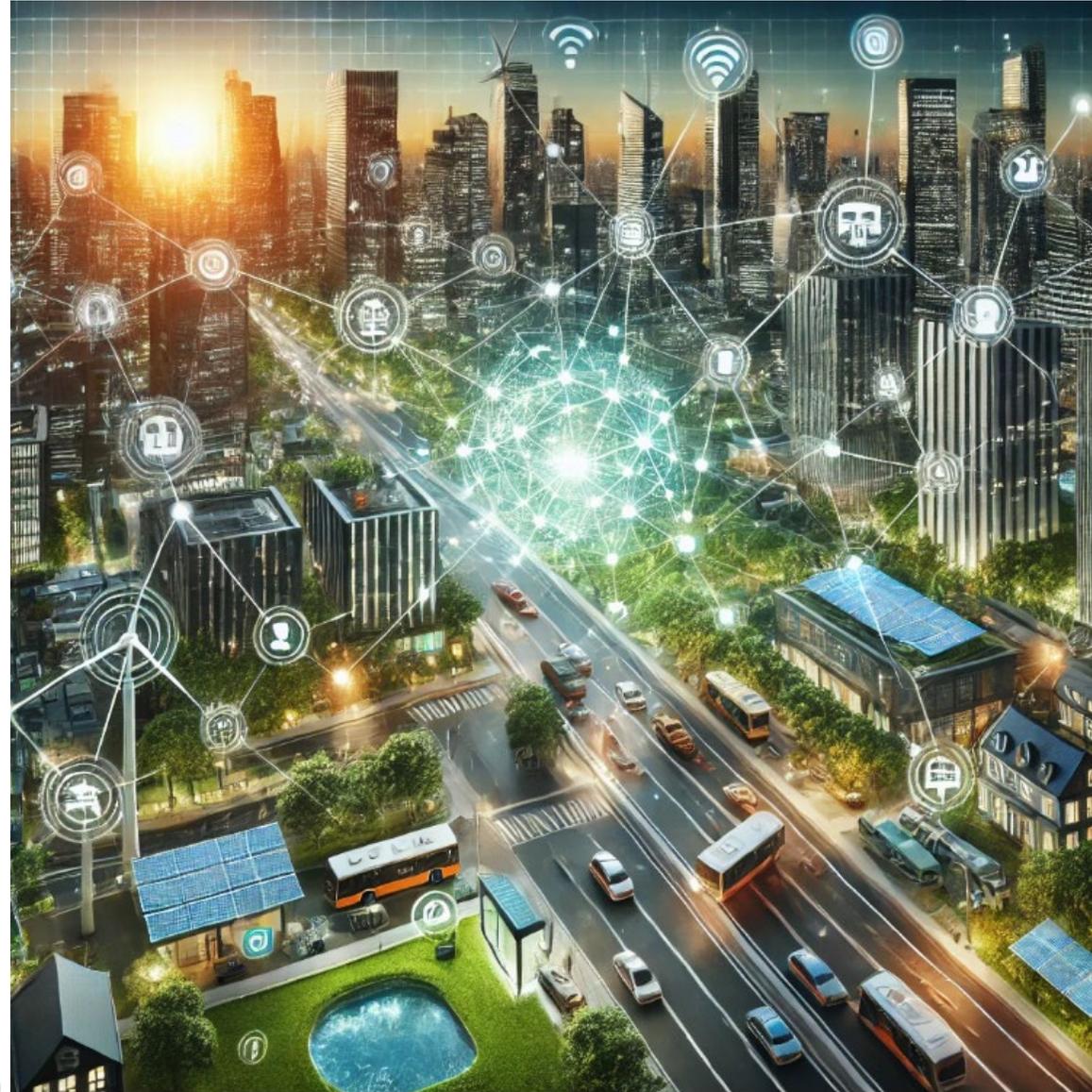
# 電網演進/能源轉型



# 電網演進/能源轉型 - 智慧電網

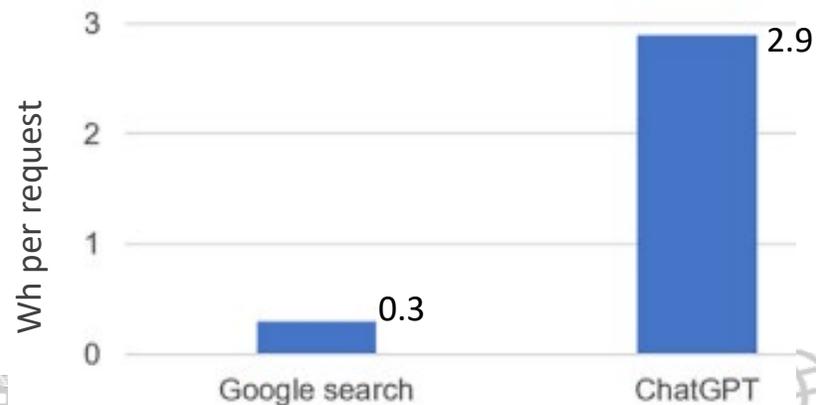
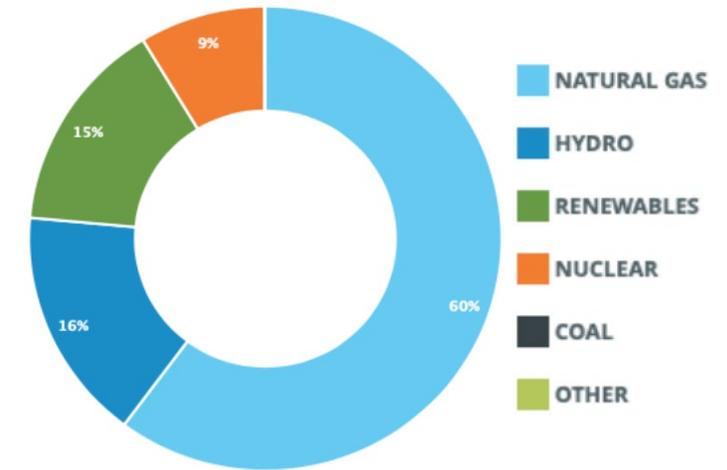
## 功能領域：

- 感測器與智慧電子裝置
- 通信網路與網路安全
- 系統整合
- 智慧與數據分析
- 市場管理與控制平台



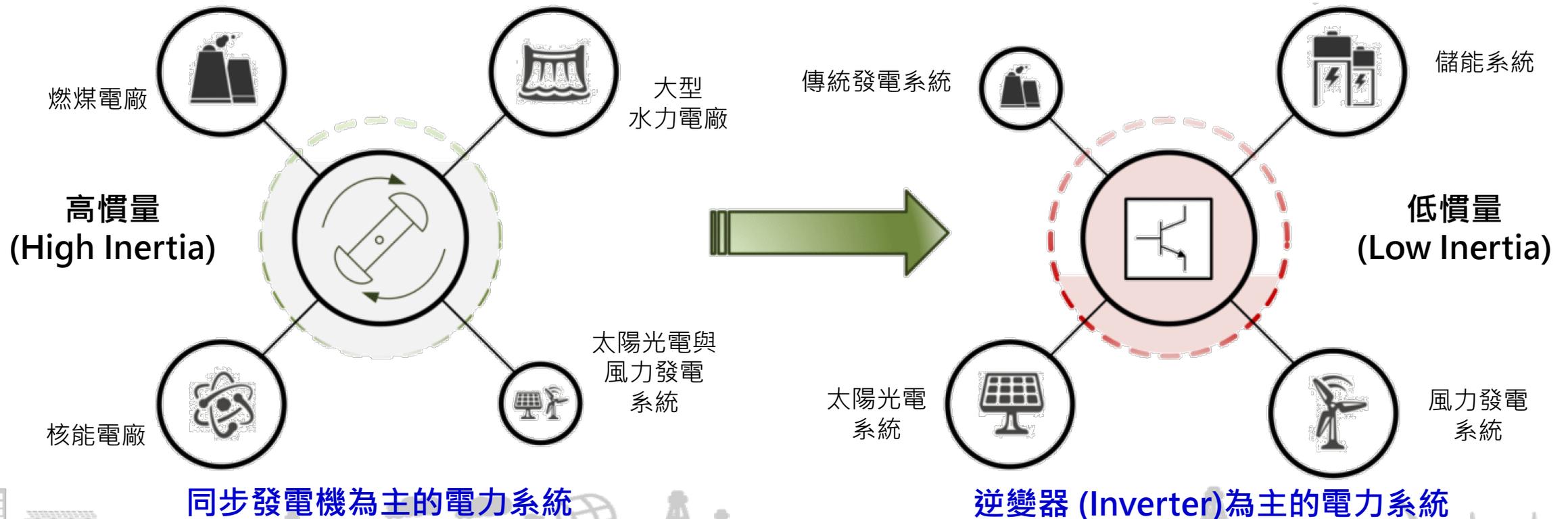
# 電網演進/能源轉型-電網轉型的驅動力

- 再生能源之整合
- 新燃料組合
- 氣候變遷
- 電網韌性
- 科技進步
- 負載成長/服務變化/電力市場



# 電網演進/能源轉型-電網轉型的驅動力(續)

- 傳統的互連電網，運營和規劃標準都是以**可調度、高慣量**和**集中式資源**為基礎。
- 電網中**可再生、間歇性、低慣量**和**分散式電源**快速增長，會影響電網**穩定性和預測的不確定性**，不同類型再生能源發電之間都存在差異，在**拼接點**需有**特殊可靠性**考慮。
- 電力系統持續朝向由**智慧逆變器**為基礎的**再生能源**為主的**方向**演進。



# 淨零轉型與電力系統去碳化

- 為防止氣候變遷衝擊，須**加速能源系統去碳化**。
- **電力是全球碳排放重要來源之一**，是建築、交通和工業等部門達成淨零轉型的關鍵。
- **再生能源發電成長將帶來新挑戰**：例如電網併網成本、新電網規劃要求、間歇發電具經常不可預測性。
- 當間歇性資源處於供應低點，電力供應將以傳統資源供應，在去碳化未來，**這些選項將與整體淨零政策目標不一致**。



# 台灣淨零智慧電網五大布局策略

策略二：整合電力電子及半導體優勢，研發**固態電力電子變壓設備與系統**，支援次世代電網發展

策略一：多元**虛擬電廠與電力市場應用**，促進區域電力平衡

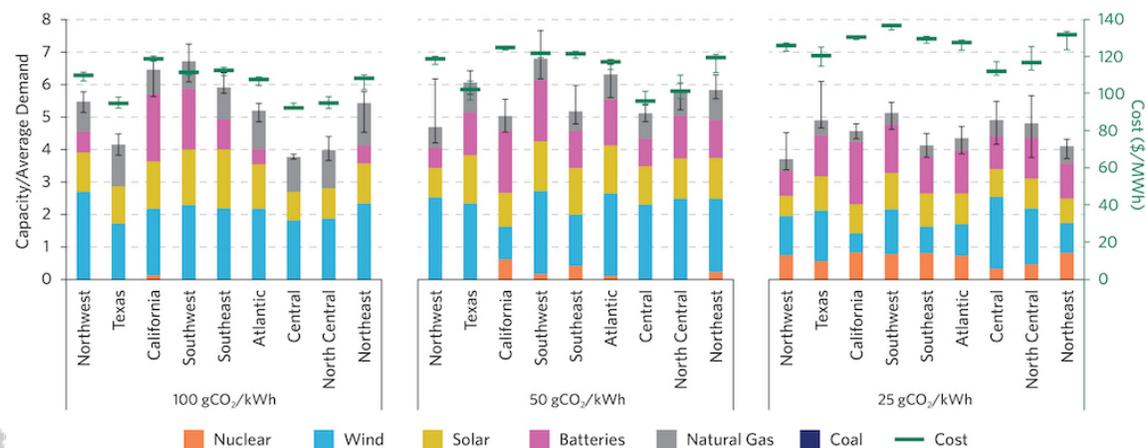
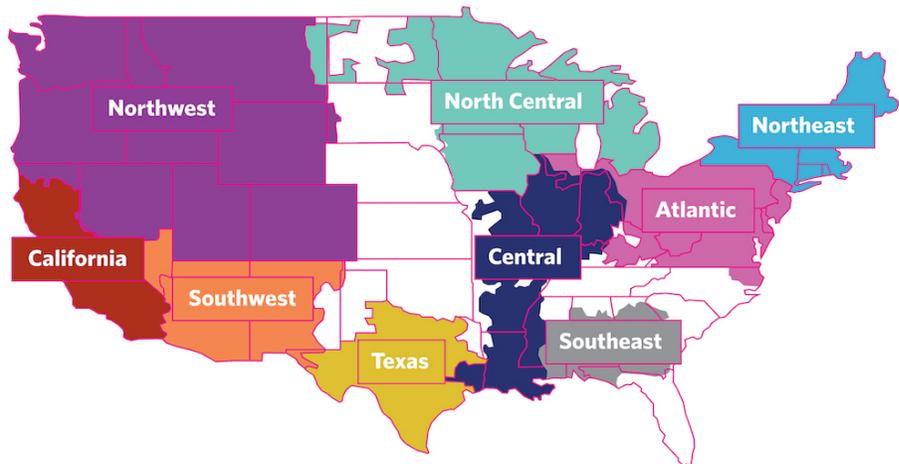
策略五：鏈整合國內產官學研能量，促進與落實**國際合作**

策略三：建構**配電淨零微電網**示範，鏈結國內智慧**低碳能源產業生態系**

策略四：強化**整合資源規劃能力(IRP)**，促進多元再生與**低碳能源整合運用**

# 美國電網去碳化政策

- 為了幫助遏制氣候變化，美國正在努力減少能源經濟所有部門的碳排放。目前大部分的努力都涉及電氣化，例如交通運輸改用電動車、家庭暖氣改用電動熱泵等。但在美國，**電力部門的碳排放量已經占總碳排放量的四分之一**。
- 美國拜登總統**第14057號行政命令**旨描繪聯邦設施**2030年**一半以上時間每週7天、每天24小時(24/7)使用**100%無碳電力**願景。
- 國家電網脫碳具有挑戰性，太陽能和風能等**再生能源的可用性與能源需求模式**在不同地區有所不同。因此，實現脫碳電網的成本最低的途徑因地區而異。
- 在美國，**風能資源豐富的地區脫碳成本最低**，其中包括與製造和安裝太陽能和風能設施相關的排放至關重要，而加州目前對**核電廠的禁令**可能會**限制區域電網的脫碳能力**。



# 淨零智慧電網技術之實踐

## 分散式能源技術

## 互聯技術

## 電網

再生能源



Fuel Cell

PV



Wind

儲能技術



Microturbine



PHEV

氫能技術



Energy Storage



Generator



Inverter



Switchgear, Relays, & Controls

### Functions

- Power Conversion
- Power Conditioning
- Power Quality
- Protection
- DER and Load Control
- Ancillary Services
- Communications
- Metering



Utility System



Microgrids

### Loads

Local Load Simulators



智慧電網技術

高效燃氣發電

碳捕獲和封存

固態變壓器

分散式控制/調度

直流輸配電技術

SMR/MMR

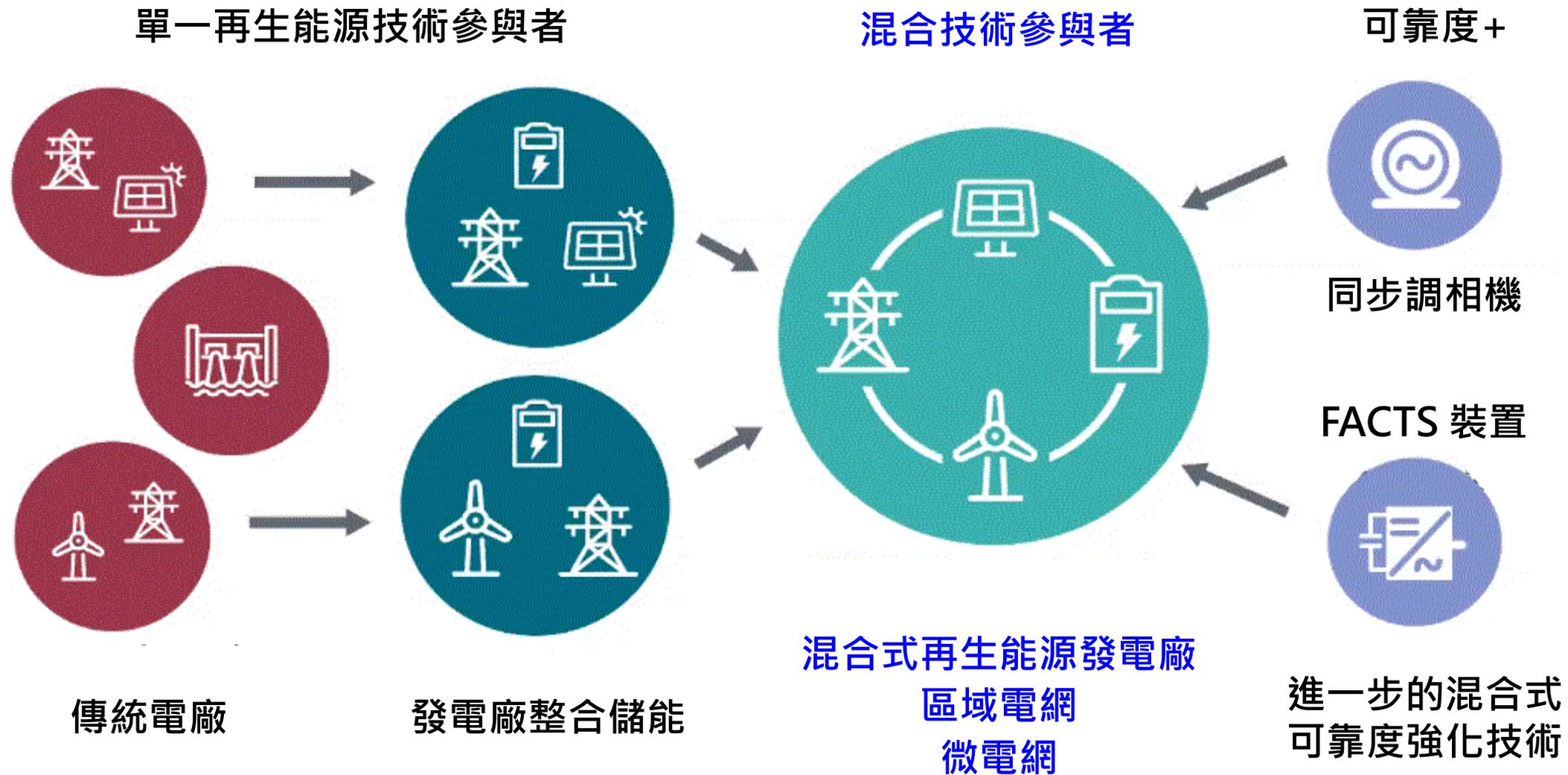
能源效率提升

用戶參與

網構型逆變器 虛擬同步機技術

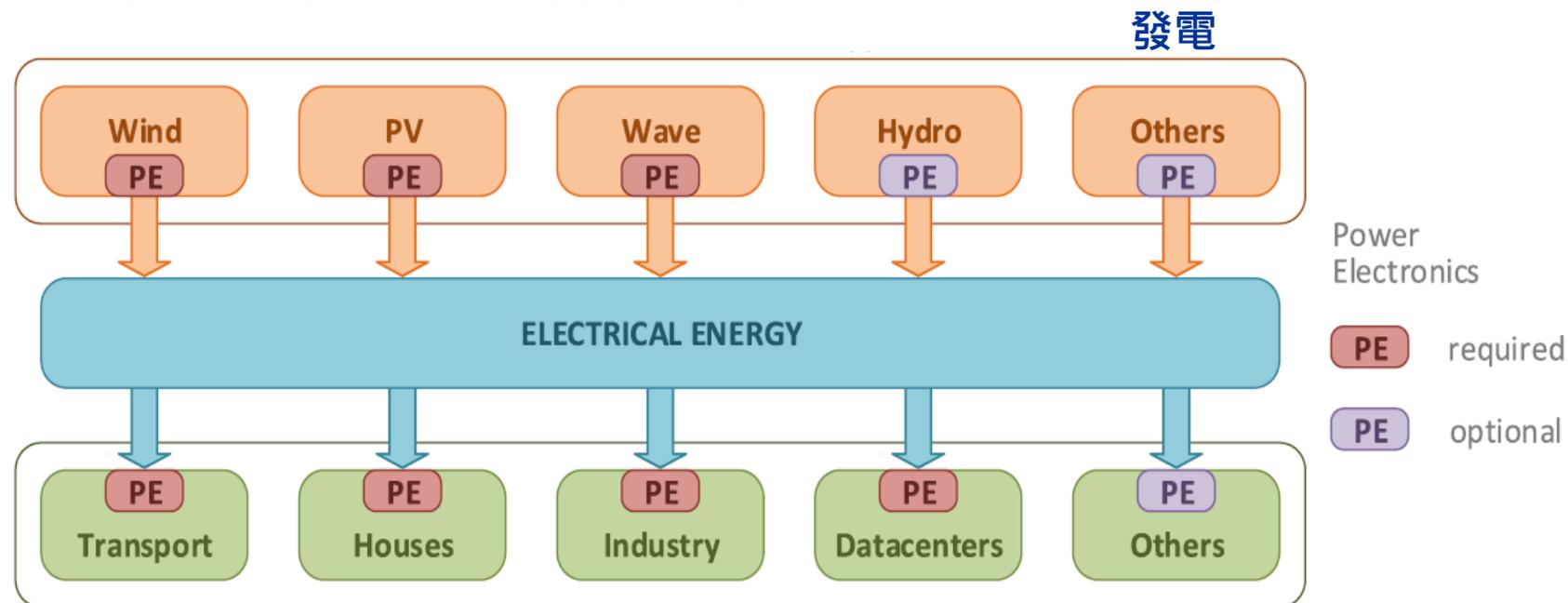


# 再生能源整合之演進與未來電網



# 再生能源整合之演進與未來電網(續)

- 不斷增加電力電子(PE)式的再生能源 (太陽光伏/風力發電/...)
- 使用更多的通訊、控制、數據和信息技術
- 其他新技術: 電動車(EV)、分散/大型儲能、彈性負載等
- 高度分散化: 控制變得更加複雜



電能在未來電氣化中的角色

# 電網安全性與增強韌性的關鍵議題

**電源與輸電充足性(Adequacy)**

**電網邊緣 (Grid Edge)-  
裝置、控制、應用和系統運轉**

**電網韌性  
(Resilience)**

**分散式能源/儲能系統和智慧控制:**

演算法、架構、網構型(Grid Forming)  
逆變器->虛擬同步機 (Virtual Synchronous Machine)

**微電網/虛擬電廠:**

整合規劃、投資、計劃和主動  
分散式能源組合管理

**移動性和電氣化:**

智慧基礎設施、電動車/  
車隊

**數據驅動的策略:**

Data-driven故障檢測/  
預測、網絡安全、韌性、  
市場平台

**法規和政策:**

政府和監管機構制定相應的法規和政策

**人力資源培訓:**

提高人員安全意識，培訓應對潛在威脅和攻擊

# 智慧電網技術之挑戰

淨零轉型與電力系統去碳化

- **電網互通性**

電業必須應對微電網、智慧建築、電動車、電力市場以及與其他形式的能源整合等現實情況

- **電網安全之關切**

低慣性的分散式電源取代傳統的同步機，衍生新的頻率穩定度要求和慣性控制原則，須納入短路事故的相關議題(較長的檢測時間或保護失效)，以及增加發電不確定性

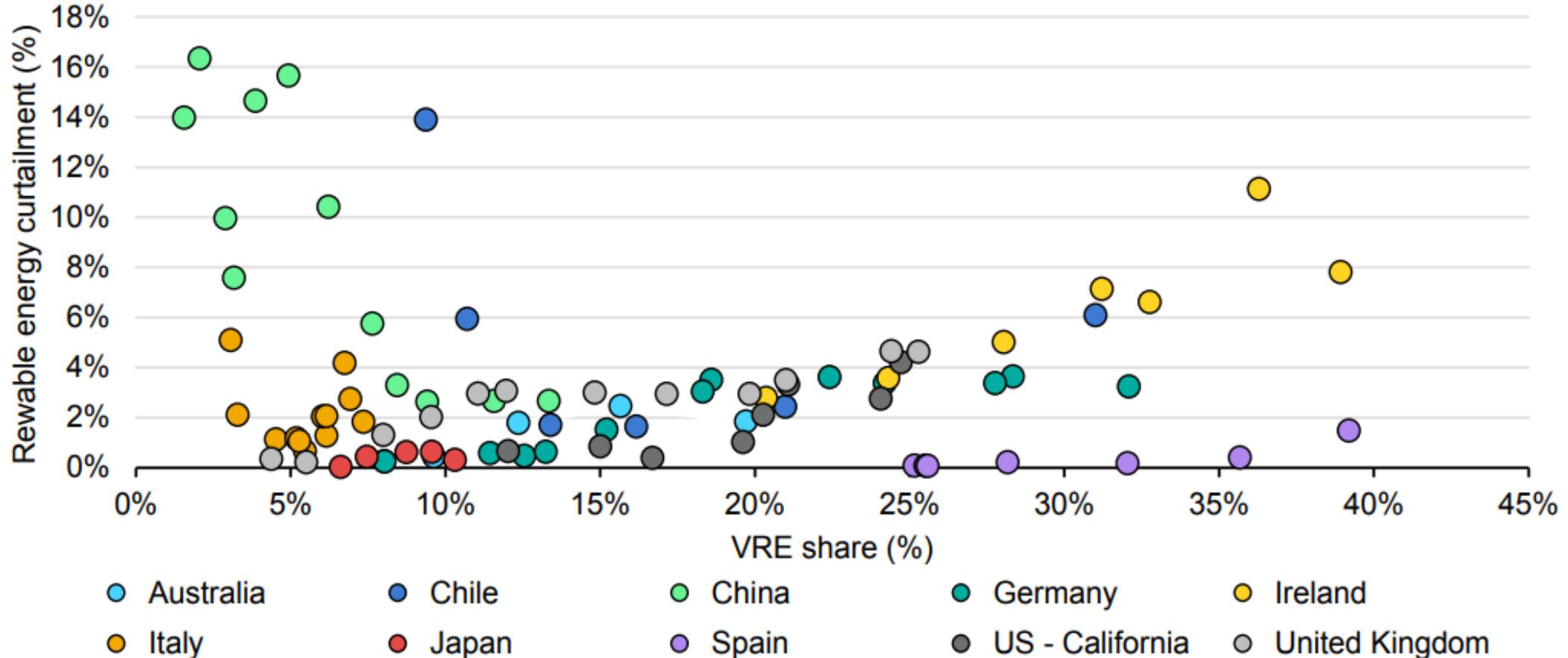
- **新市場和服務**

分散式能源和輔助服務市場需要實現的技術



# 淨零智慧電網技術之挑戰(續)

## 太陽光電和/或風力發電的削減(Curtailment 棄風/棄光)

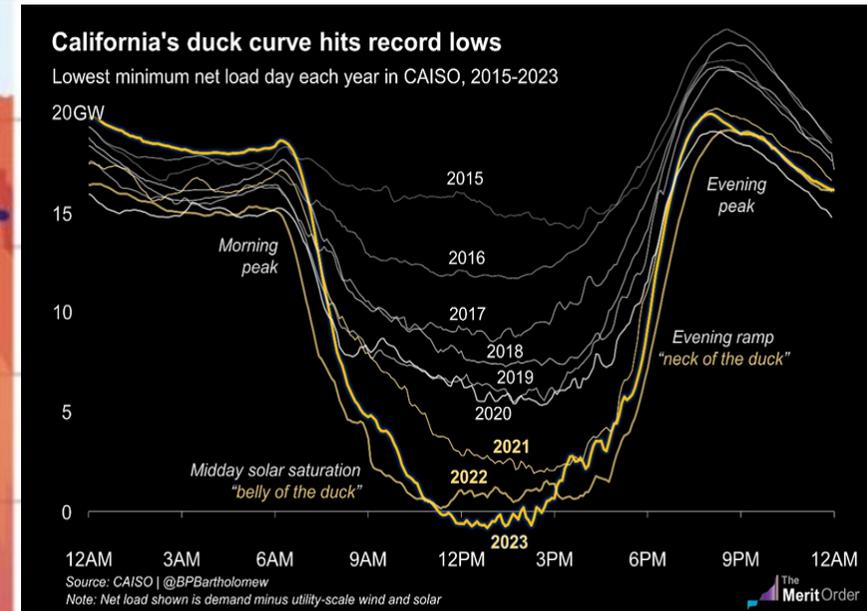
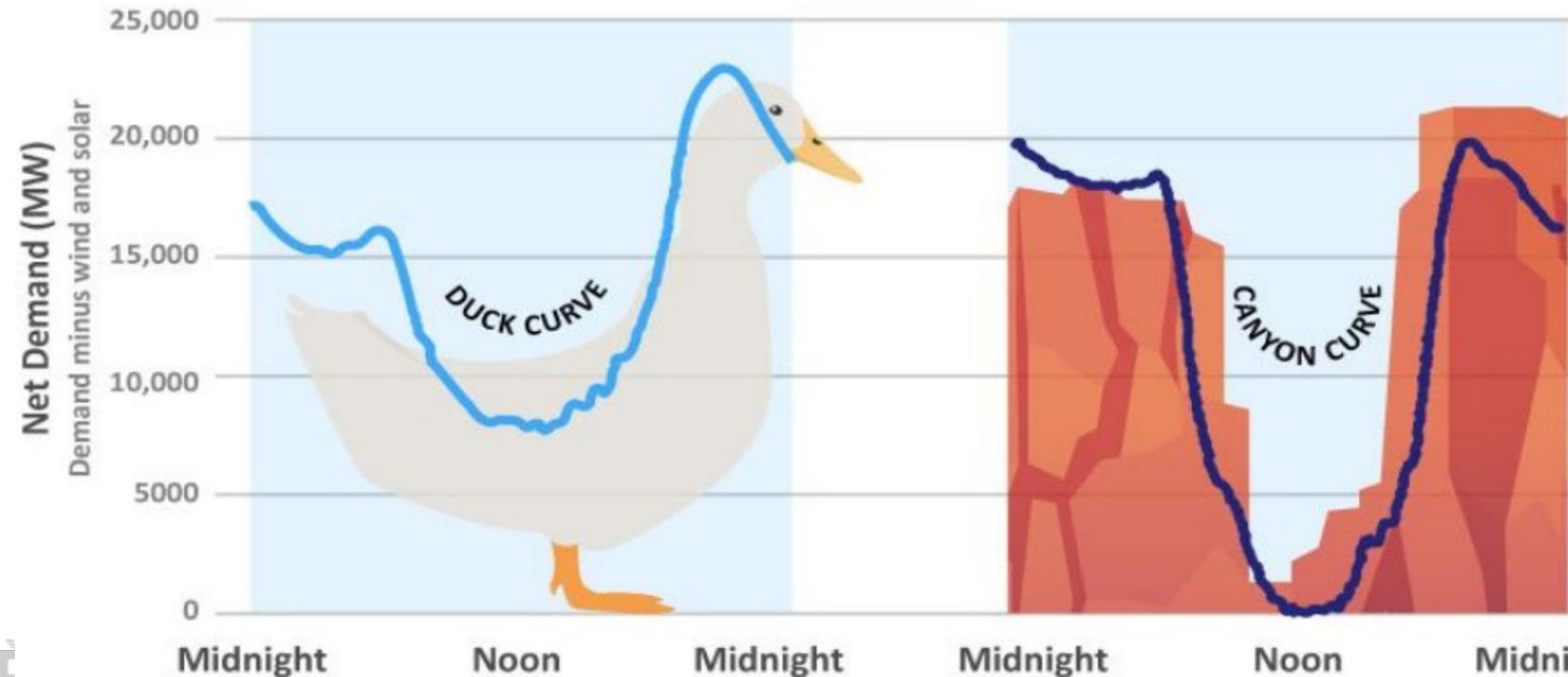


# 淨零智慧電網技術之挑戰(續)

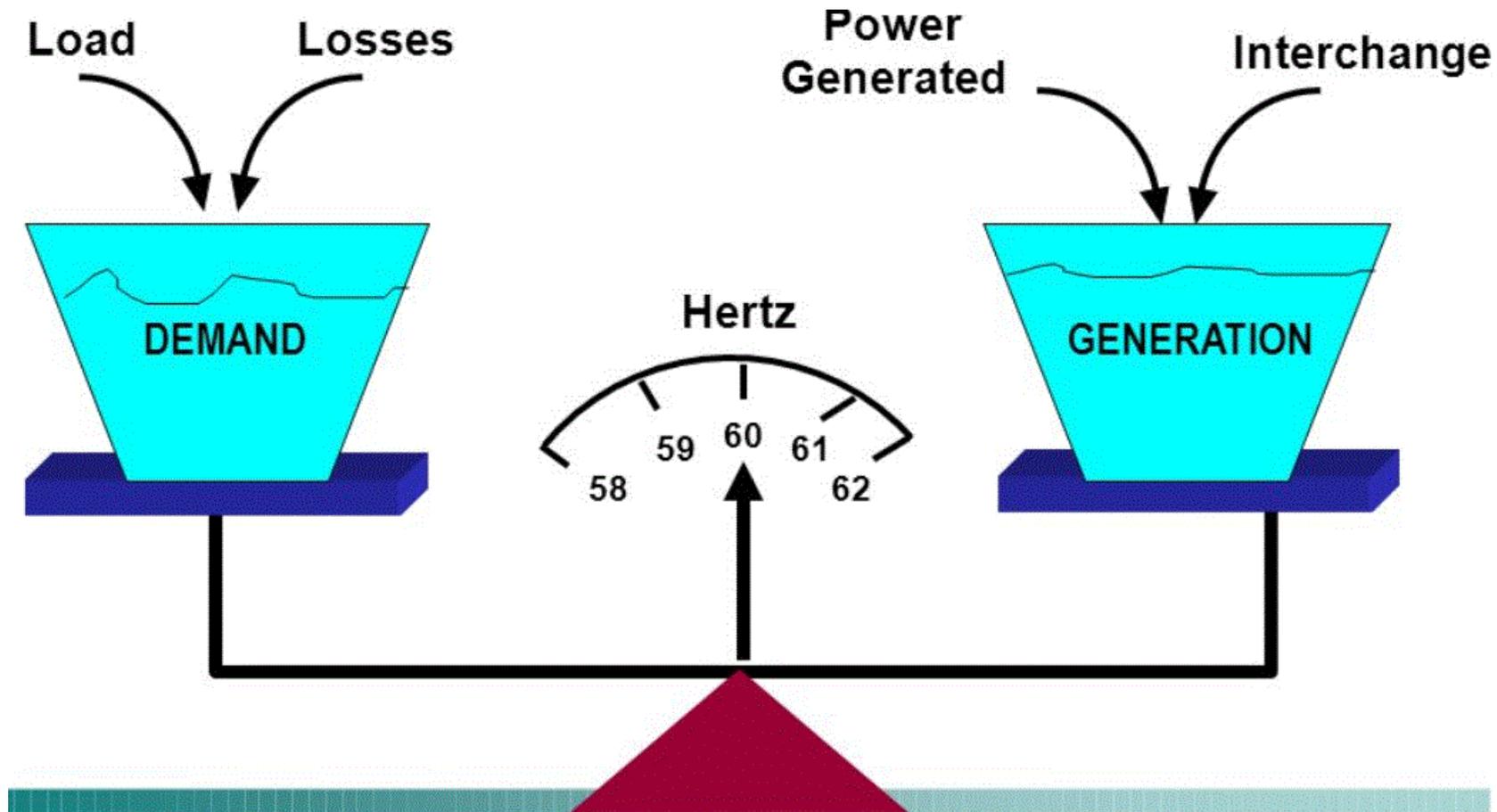
## 鴨子曲線 vs. 峽谷曲線

May 27  
**2018**

April 16  
**2023**



# 淨零智慧電網技術之挑戰-電網慣性(續)

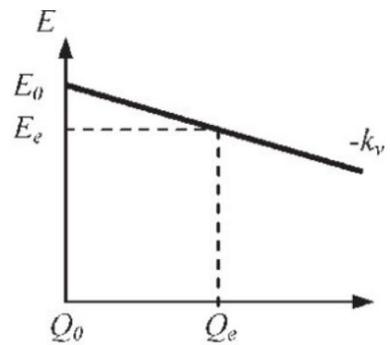
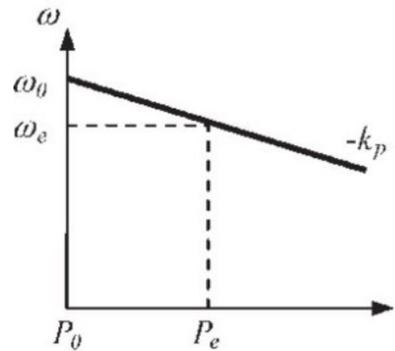


發電/負載 - 供需平衡



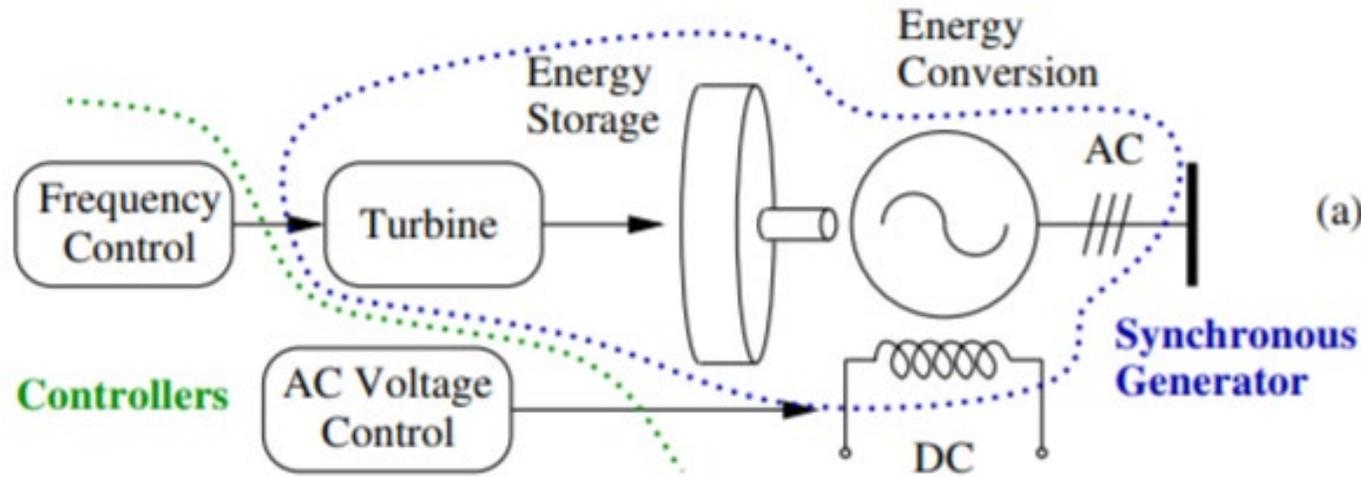
# 淨零智慧電網技術之挑戰-電網慣性(續)

頻率/電壓下垂曲線

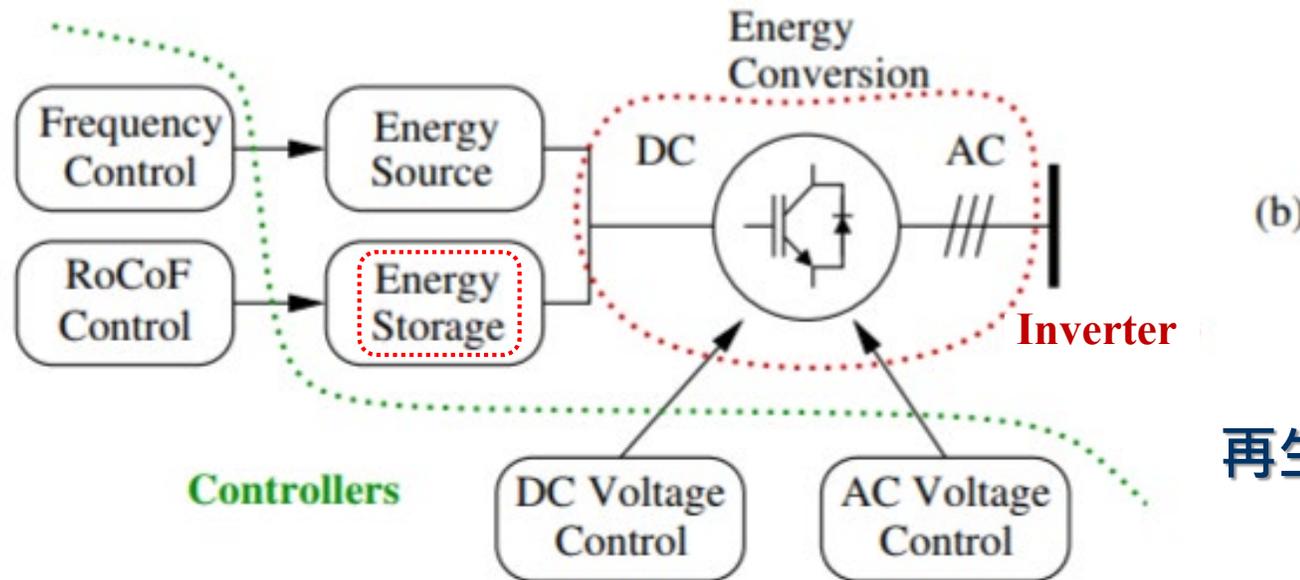


轉子動態

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e$$



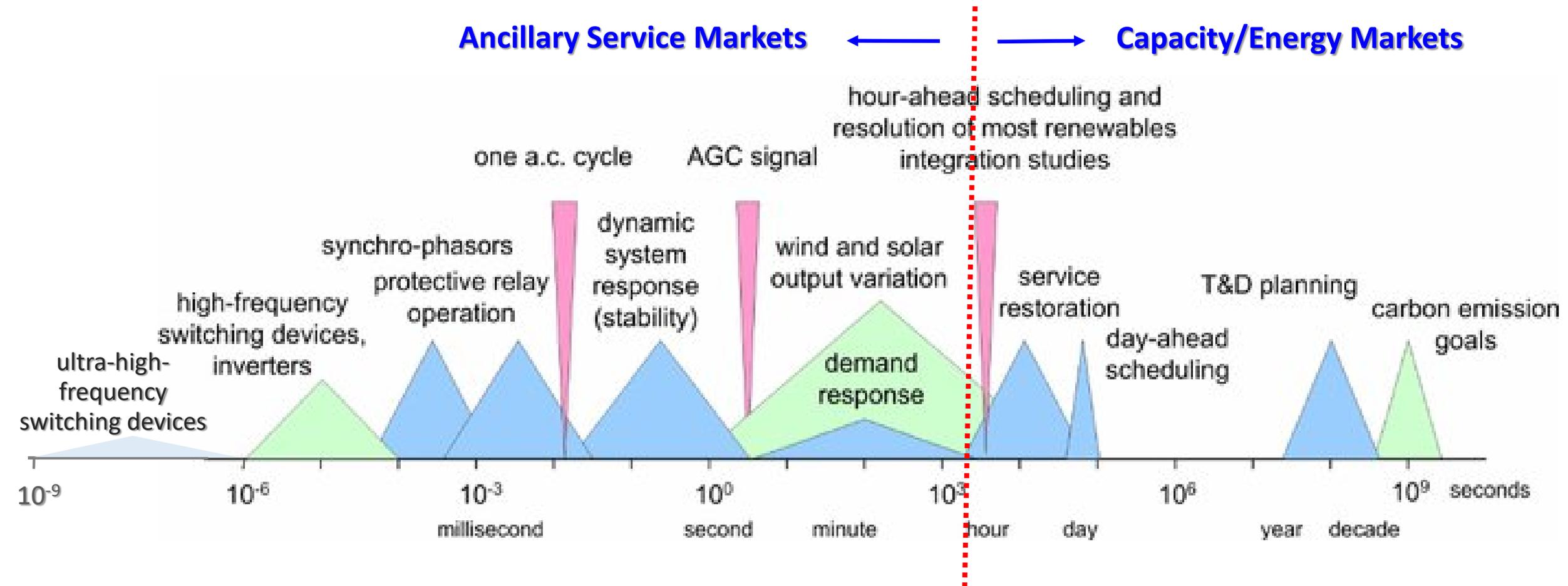
(a) 傳統同步發電機的能量轉換、能量儲存和控制器



(b) 電力電子逆變器的能量轉換、能量儲存和控制器

再生能源逆變器的虛擬慣性  
(DER Inverter/VSG)

# 淨零智慧電網技術之挑戰-系統規劃與運轉控制(續)



電力系統規劃與運轉控制涉及的時間尺度( $10^{-9} \sim 10^9$ )示意圖



# 淨零智慧電網技術之展望

## 2050淨零轉型 - 關鍵策略

01 太陽光電/離岸風電

節能/能源效率提升

02

03 儲能系統/電動載具

碳捕獲、利用與封存

04

05 強化電壓調節技術

強化頻率控制

06

07 氫能(藍氫/綠氫)

改良/創新能源技術

08



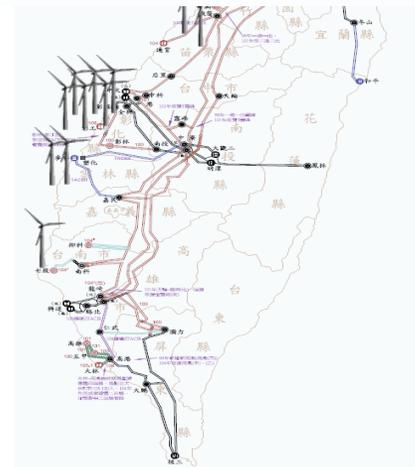
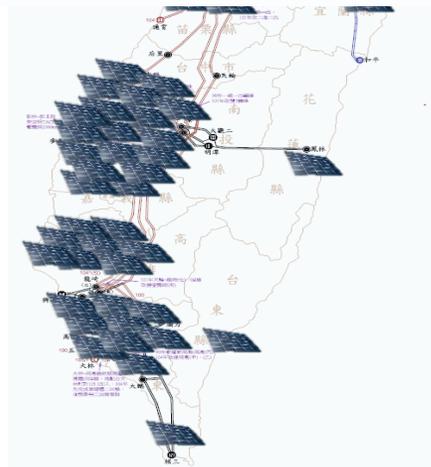
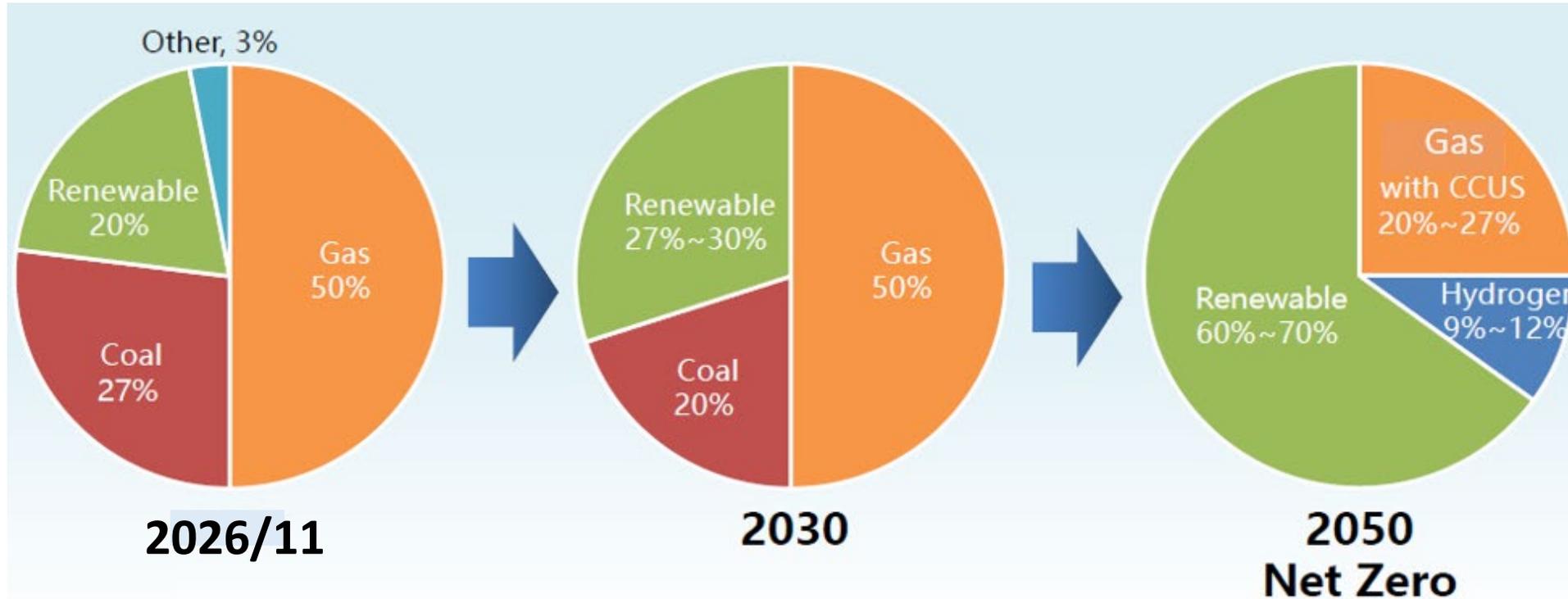
# 淨零智慧電網技術之展望(續)

## 應對緩解及適應氣候變遷的電網轉型

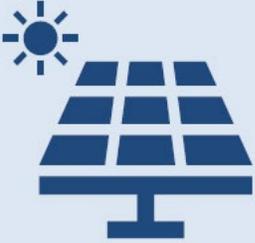
- 逐步淘汰化石燃料，實施碳捕獲、利用和儲存（CCUS）技術
- 從改良化石燃料到創新發電技術，再到大規模的可再生能源整合發電
- 部署儲能系統，緩解間歇性再生能源發電，支援氣候變遷適應
- 加強電網基礎設施，實施微電網和分散式能源系統，增進電網韌性/供電彈性，抵抗氣候/自然災害/網絡攻擊等相關風險能力
- 推動不同領域擴展電氣化，提高能源效率並促進需求端管理，根據供需情況動態調整電力消耗
- 開發並實施預警系統，應對氣候相關事件，協助電網運轉
- 將氣候適應性考慮之因素納入電力系統規劃和政策制定，建立全球合作和協調機制，制定國際協議



# 台灣未來電源規劃佔比



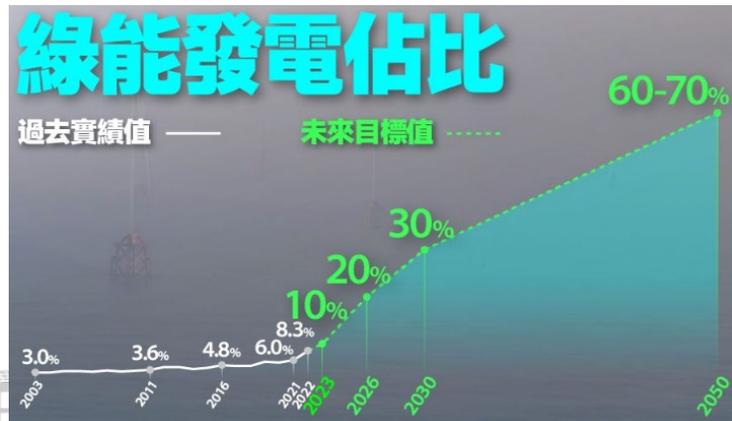
# 台灣淨零智慧電網技術之挑戰



2050高佔比  
可再生能源電  
力(60~70%)

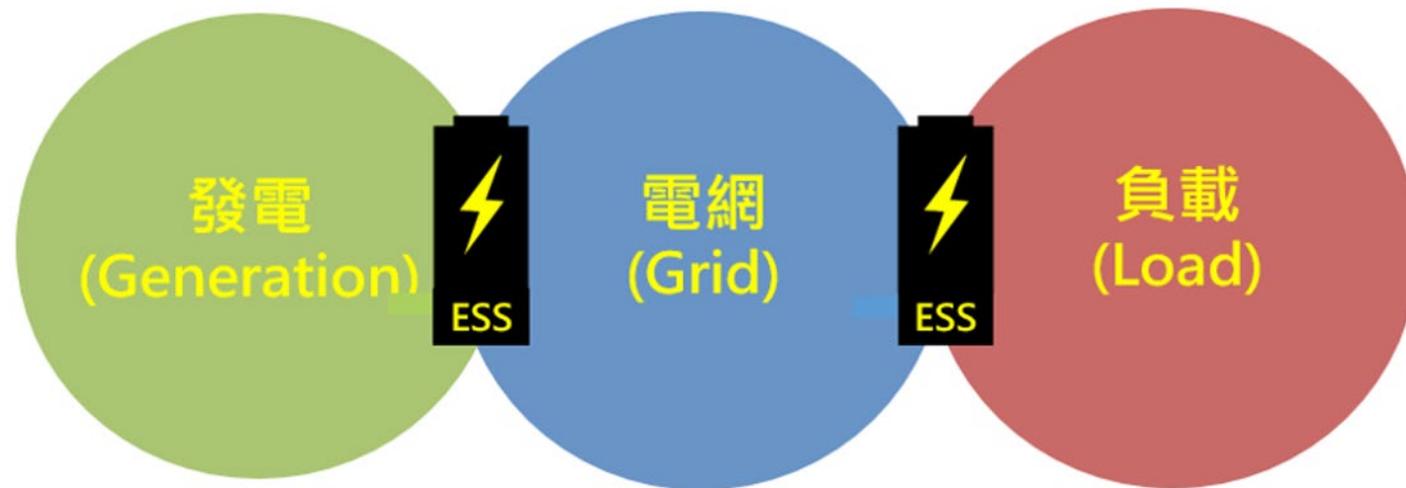


常態極  
端氣候



電網現有  
的弱點

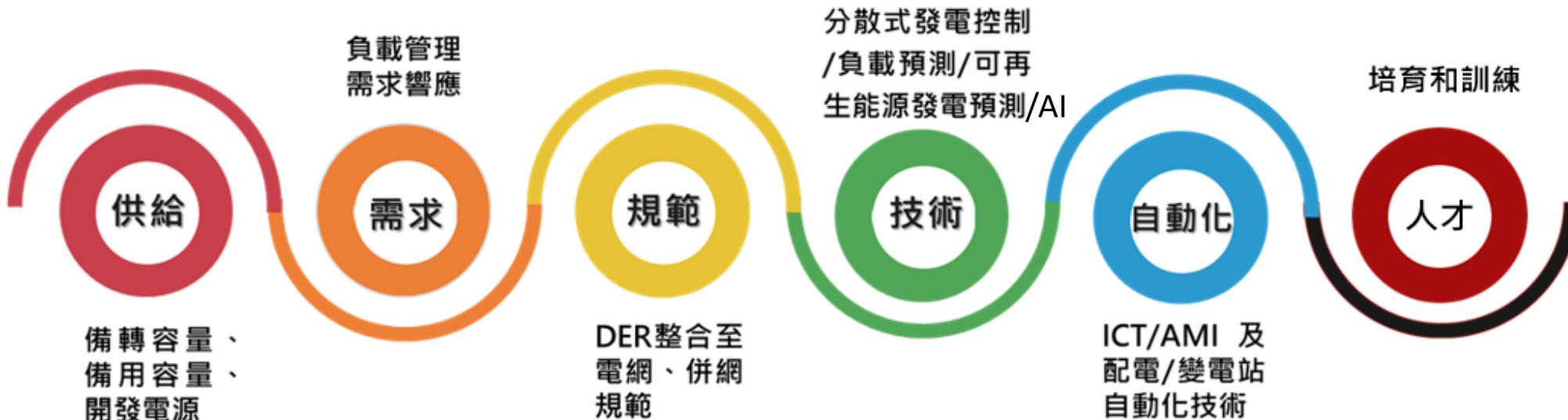
# 台灣淨零智慧電網技術之挑戰(續)-因應策略



靈活運轉/調度  
輔助服務市場

智慧/強韌/區域電網

需量反應/邊緣技術

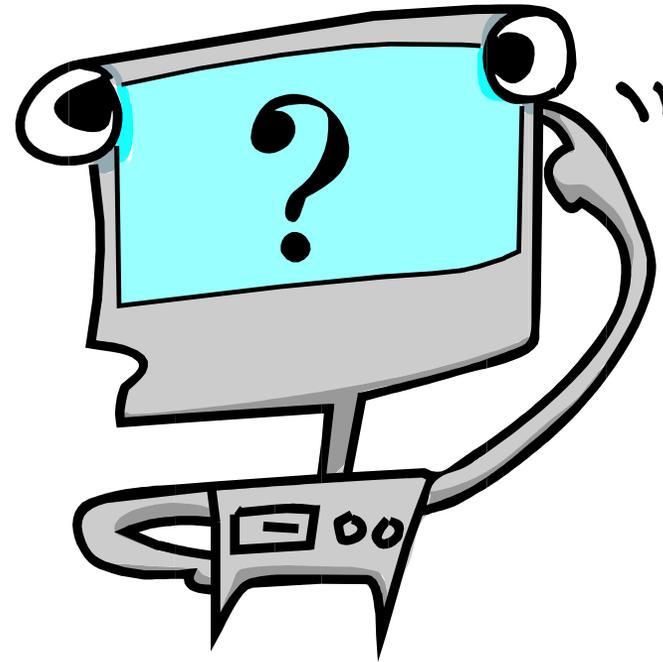


# 總結

- 對電氣化和可持續、具有彈性且無排放的能源的不斷成長與高負載需求正在促進全球電力系統的轉型，大量引進再生能源發電引起電網控制的挑戰與分散化
- 電業正面臨未來電網中新型電力電子設備（太陽光電、風力發電、儲能系統、電動載具、數據中心等）帶來的調度技術挑戰與變革
- 化石燃料在短中期仍是彌補再生能源引起的快速功率波動所需的靈活備轉容量的主要來源，發電相關的改進技術快速發展中
- 隨著分散式能源的高滲透率，確保電網可靠與安全運轉的需求不斷增加，需要更先進的數據分析(發電預測)、網絡安全、與運算技術(AI/量子)支持
- 電網互通性、慣性控制/電網支持（GFMI/VSG）、新市場和服務、新的法規政策、以及人才培育/訓練工具仍然是電網轉型中的挑戰和推動因素



# *Thank You!*



E-mail: [ieegwc@ccu.edu.tw](mailto:ieegwc@ccu.edu.tw)