

全球儲能市場與發展現況

郭瑾瑋

106.04.12

報告大綱

- 前言
- 儲能簡介
- 儲能應用範疇與應用案例
- 全球儲能市場與相關政策
- 儲能成本分析與未來趨勢
- 結論與建議

報告大綱

■ 前言

■ 儲能簡介

■ 儲能應用範疇與應用案例

■ 全球儲能市場與相關政策

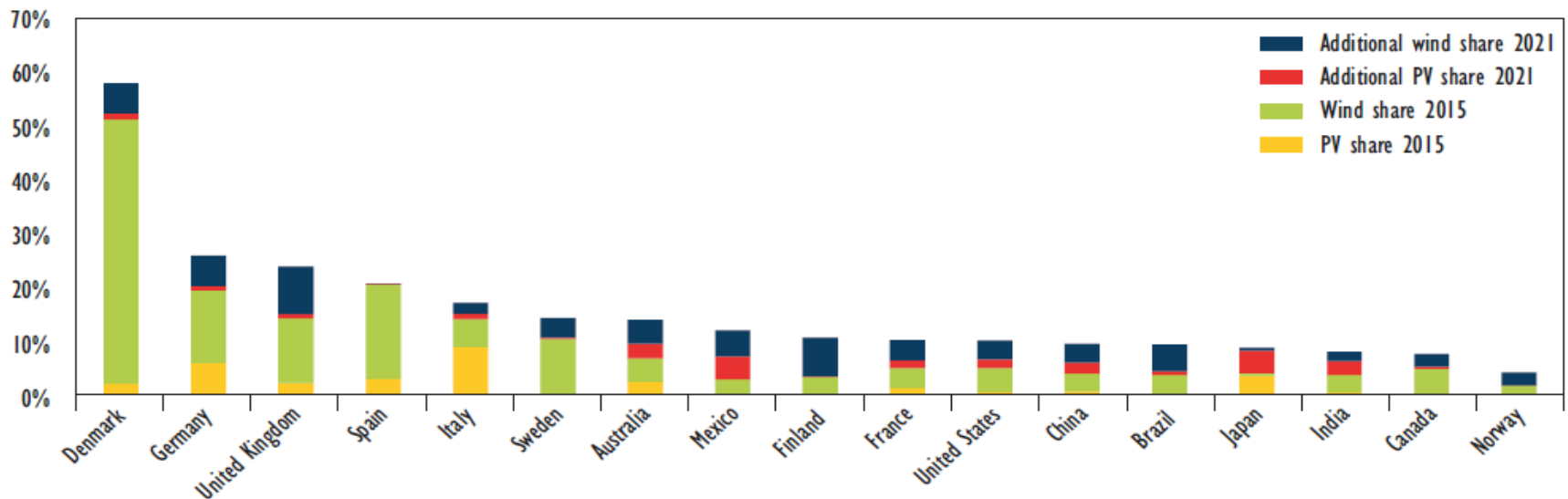
■ 儲能成本分析與未來趨勢

■ 結論與建議

再生能源發展已逐漸邁入下世代

- PV與Wind成本快速下降，2008-2015年陸域風力平均成本下降35%，而PV約下降80%，大幅提昇變動性再生能源於發電的占比，2015年PV與風力新增的發電量幾乎等同電力需求的新增量。
- 隨著成本的降低，再生能源下一世代的發展型態已經來了，各國未來再生能源發電占比達2位數已愈趨明顯，如墨西哥、中國、巴西預期2021年VRE發電占比達10%。

Figure 2.1 • Share of VRE generation in 2014 and 2020 for selected countries



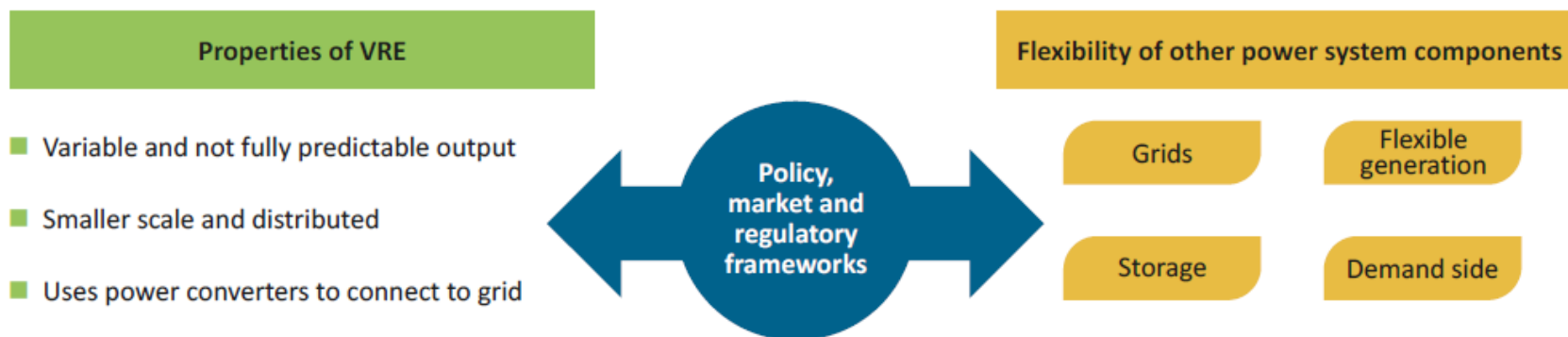
Source: Adapted from IEA (2016a), *Medium-Term Renewable Energy Market Report 2016*.

資料來源：IEA, Next Generation Wind and Solar Power – From cost to value, 2016.

系統穩定與市場整合為下世代發展重點

- RE現階段的發展注重於技術學習與降低成本，隨著PV與風力逐漸技術成熟且經濟可負擔，VRE進入下一世代發展階段，**系統的穩定性與市場整合**將成為再生能源政策或能源政策的關鍵議題。
- 增加再生能源比對電力系統是否有衝擊，主要受兩個因素決定，一是VRE**發電特性**，二是**電力系統的彈性**。

Figure 2.4 • The integration challenge

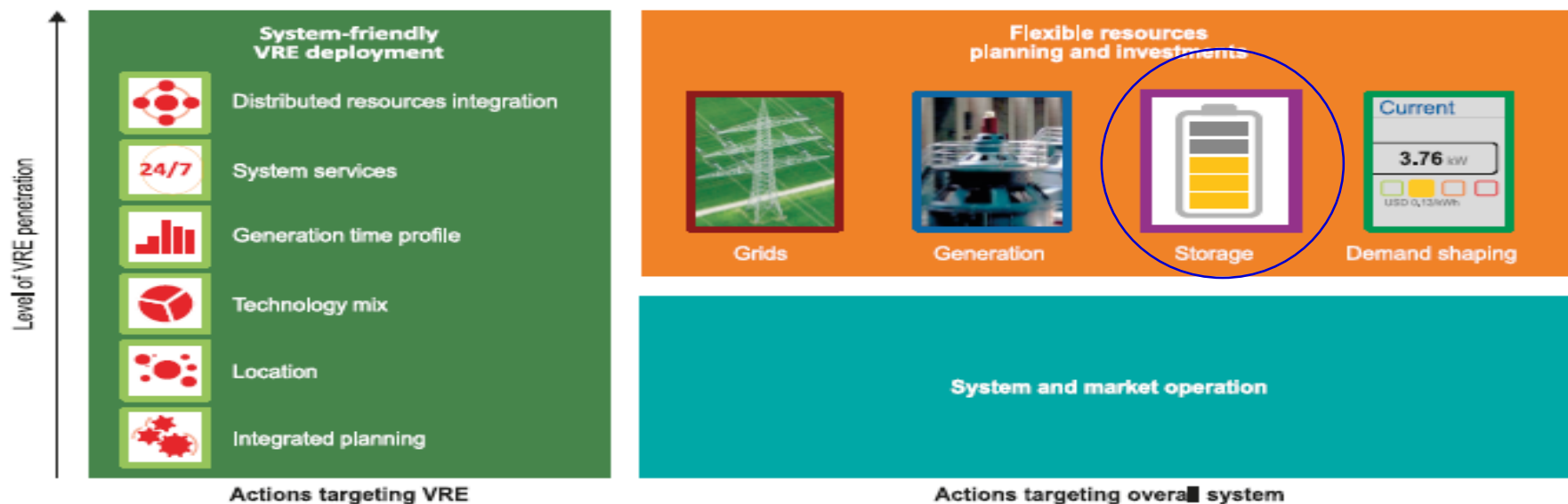


Key point • The integration challenge is shaped by the interaction of VRE properties, the flexibility of the overall power system and the policy, market and regulatory frameworks that govern this interaction.

儲能可提昇系統穩定性

- 針對VRE下一世代發展，IEA提出三項策略行動方案包括(1)系統友善部署/調配；(2)操作策略改進；(3)額外投資其他彈性來源。
- 儲能系統具備可存、可放、可調度及可控制之特性，被視為有效整合再生能源與分散式發電，並提供乾淨、可靠能源供給的重要工具。
- 系統引入儲能後，可有效地實現需求側管理，消除尖離峰差異，平滑負荷，且可以更有效地利用電力設備，降低供電成本，還可以促進可再生能源的應用、減少棄風率等，也可作為提高系統運行穩定性、調整頻率、補償負荷波動等。

Figure ES.2 • Three pillars of system transformation



Key point: VRE can facilitate system integration in combination with improved operations and investment in flexible resources.

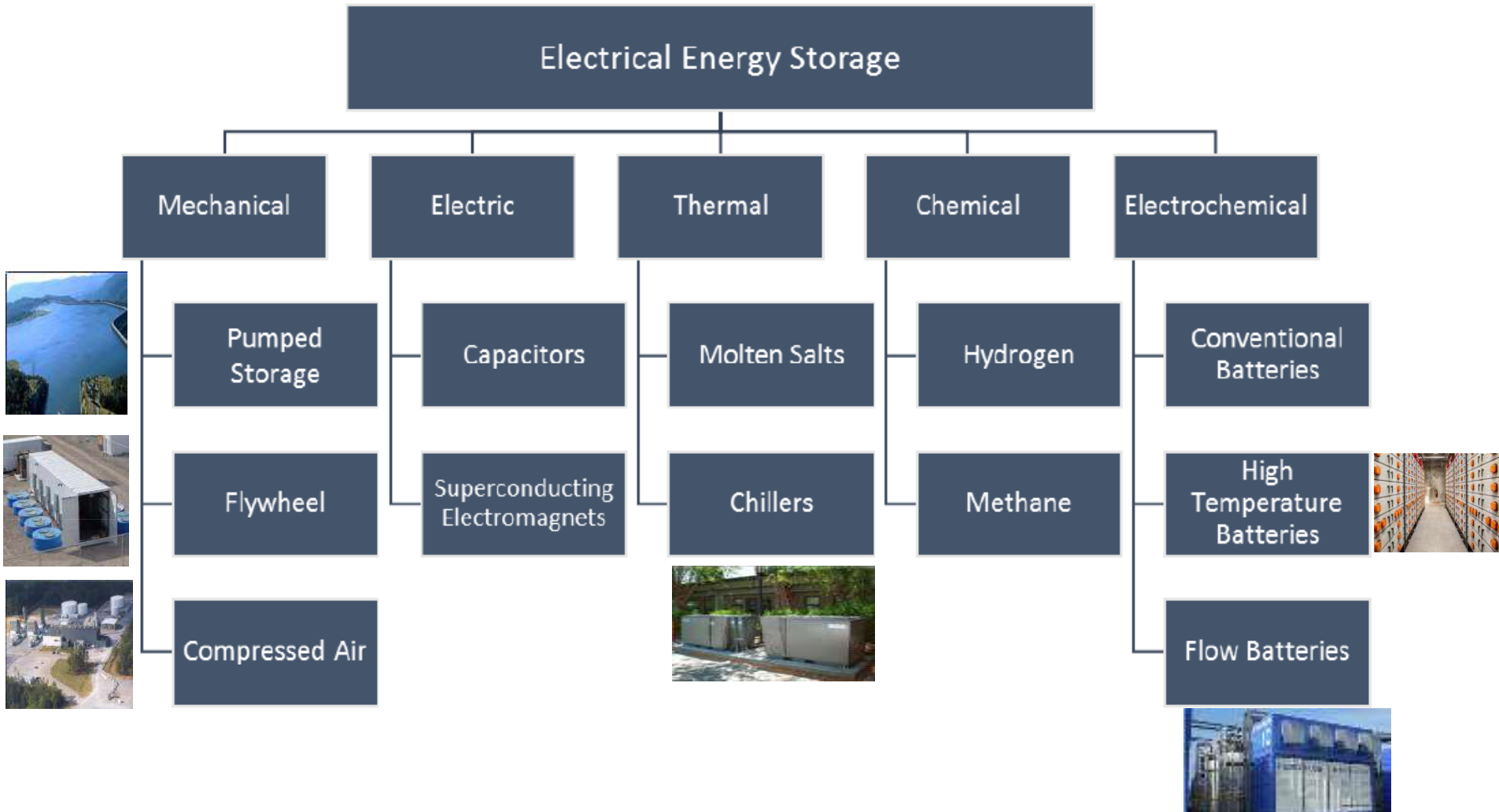
資料來源：IEA, Next Generation Wind and Solar Power – From cost to value, 2016.

報告大綱

- 前言
- 儲能簡介
- 儲能應用範疇與應用案例
- 全球儲能市場與相關政策
- 儲能成本分析與未來趨勢
- 結論與建議

儲能技術類別_按儲存介質

- 儲能系統主要分為五類：機械儲能、電氣儲能、熱儲能和化學儲能、電化學儲能。

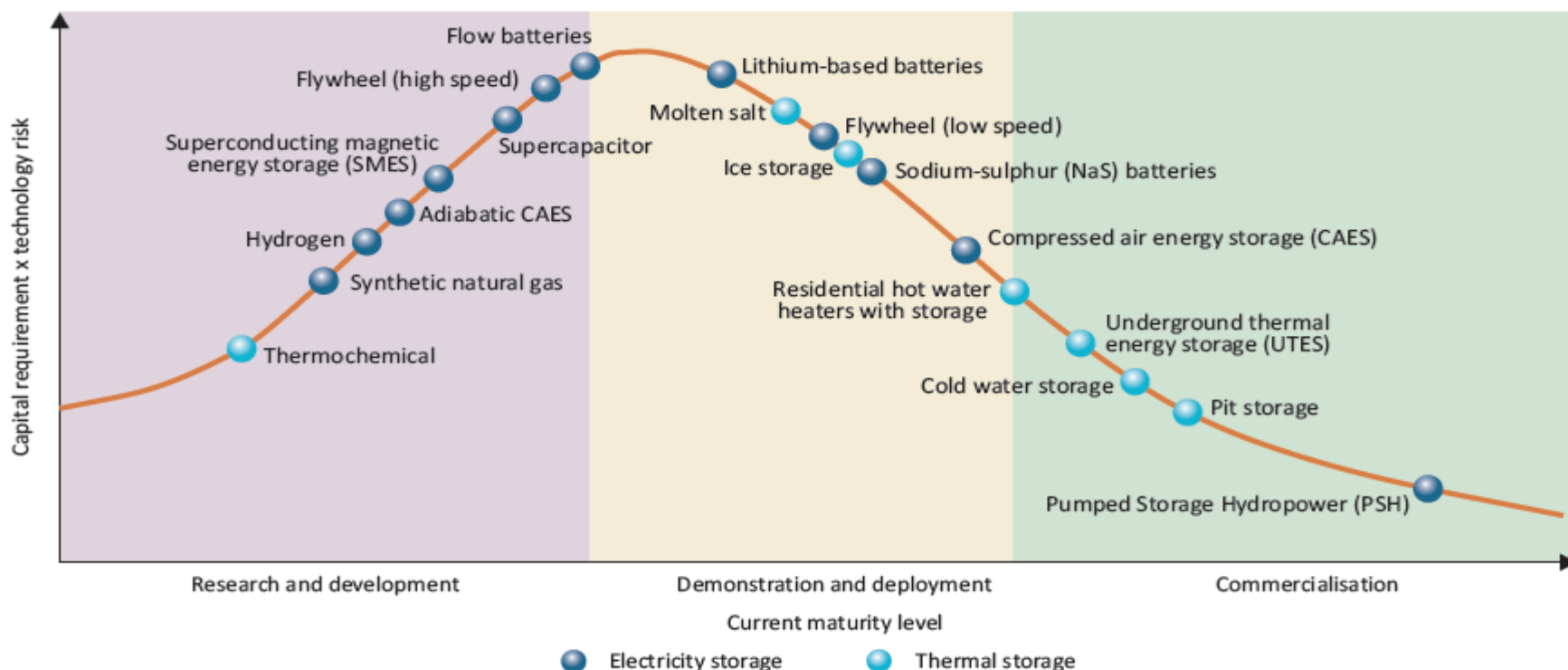


資料來源：ecofys-2014-energy-storage-white-paper

儲能技術類別_按技術成熟度

- 儲能技術路徑眾多，並處於不同的發展階段。其中，最成熟的是**抽水蓄能**；正在示範推廣階段的是**壓縮空氣、鈉硫、低速飛輪、鋰電池**；研發階段的技術則有**液流電池、高速飛輪、超級電容器、超導電磁儲能、氫、合成天然氣**等。

Figure 3: Maturity of energy storage technologies



資料來源：IEA, Technology Roadmap Energy storage_2014

儲能技術參數

儲能技術的成本與應用價值，與其背後的技术特性息息相關

	Power rating (MW)	Discharge time	Cycles, or lifetime	Self-discharge	Energy density (Wh/l)	Power density (W/l)	Efficiency	Response time
Pumped Hydro	100 – 2500	4 – 16h	30 – 60 years	~ 0	0.2 – 2	0.1 – 0.2	70 – 85%	10 s – min
Compressed Air	10 – 1000	2 – 30h	20 – 40 years	~ 0	2 – 6	0.2 – 0.6	40 – 70%	min
Flywheels	0.001 – 20	sec – min	20000 – 100000	1.3 – 100%	20 – 80	5000	70 – 95%	< sec
Li-ion battery	0.05 – 100	1 min – 8h	1000 – 10000	0.1 – 0.3%	200 – 400	1300 – 10000	85 – 95%	< sec
Lead-acid battery	0.001-100	1 min – 8h	6 – 40 years	0.1 – 0.3%	50 – 80	90 – 700	80 – 90%	< sec
Sodium-sulphur battery	10 – 100	1 min – 8h	2500 – 4500	0.05 – 20%	150 – 300	120 – 160	70 – 90%	< sec
Flow battery	0.1 – 100	hours	12000 – 14000	0.2%	20 – 70	0.5 – 2	60 – 85%	< sec
Superconducting Magnetic	0.1 – 1	ms – sec	100000	10 – 15%	~ 6	~ 2600	80 – 95%	< sec
Supercapacitor	0.01 – 1	ms – min	10000 – 100000	20 – 40%	10 – 20	40000 – 120000	80 – 95%	< sec
Hydrogen	0.01 – 100	min – week	5 – 30 years	0 – 4%	600 (200bar)	0.2 – 20	25 – 45%	sec - min
Synthetic Natural Gas	1 – 100	hour – week	30 years	Negligible	1800 (200bar)	0.2 – 2	25 – 50%	sec - min
Molten Salt (latent thermal)	1 – 150	hours	30 years	n/a	70 – 210	n/a	80 – 90%	min

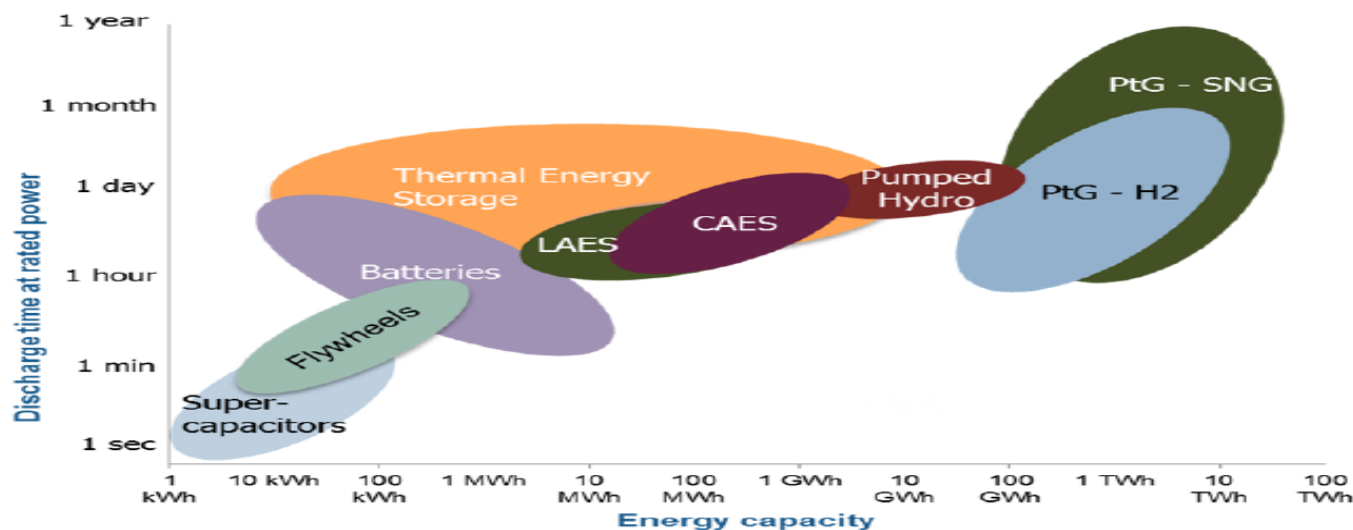
◆ 能源儲存容量Energy Storage capacity/**kWh**：儲能系統的總能源儲存量。

◆ **E2P ratio**：為Energy to Power ratio (ESP=MWh/MW=hr)，相當於discharge time。

儲能技術類別_按操作特性

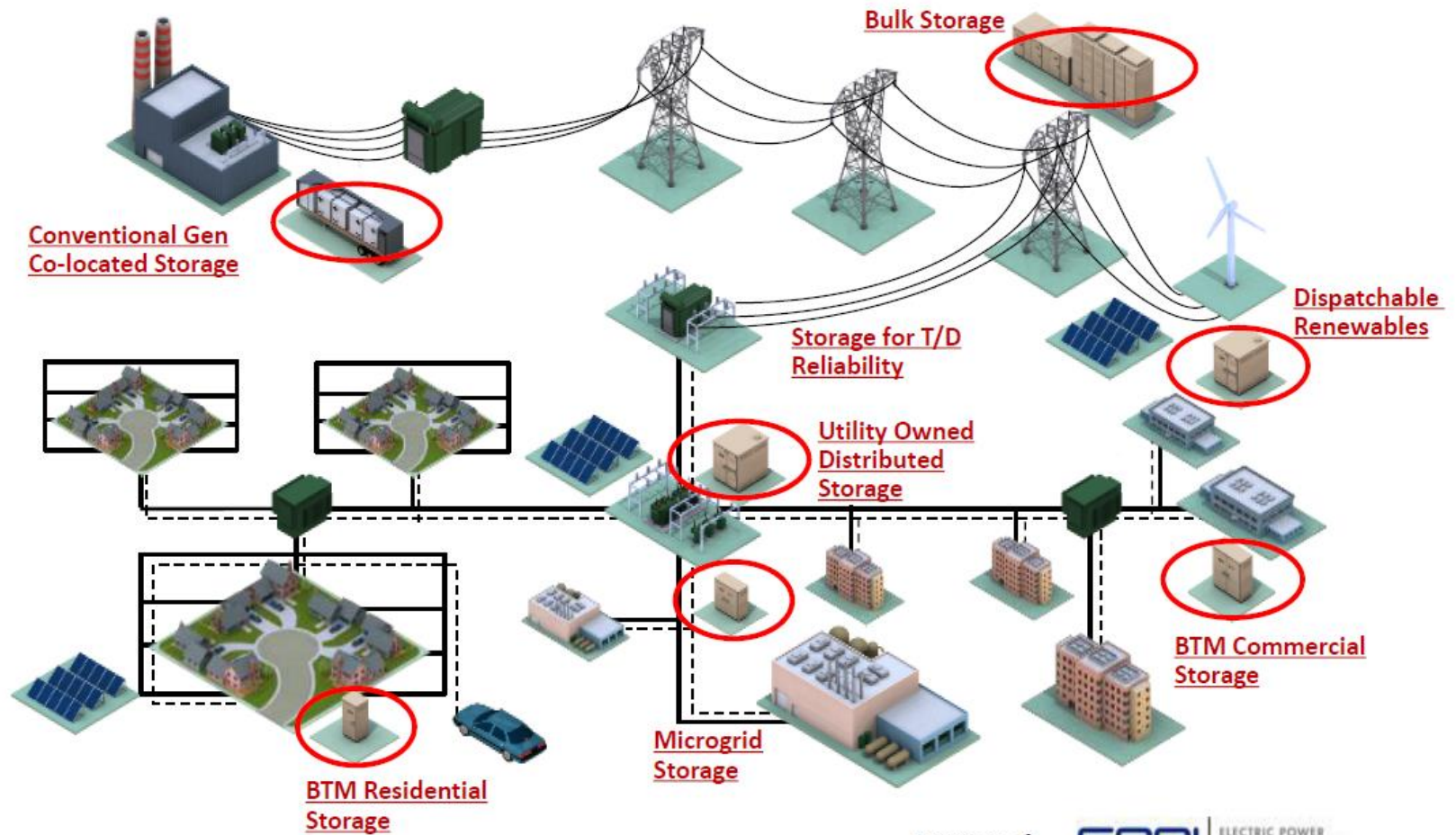
各儲能類別依其操作特性(能源儲存容量/kWh、放電時間)有不同的應用領域與應用方式。

- 超級電容與電池主要特性為低能量、額定功率下放電時間短，較適合高功率的應用。
- PtG (power-to-gas)：利用剩餘電力電解水生成氫或者通過甲烷化反應製造甲烷，其操作特性為高能量、額定功率下放電時間長，適合應用於儲存大量的能源。
- 與再生能源搭載並連結電網為例，其需要具備以小時為基礎可移轉電能的能力，同時亦可提供高功率以隨時可處理再生能源發電不穩定性的問題。
- 若為平衡國家電力系統，並提供餘裕的備用容量，需要daily time periods可移轉大量電能的儲能技術，如抽蓄儲能。



資料來源：WEC, E-storage: Shifting from cost to value, 2016.

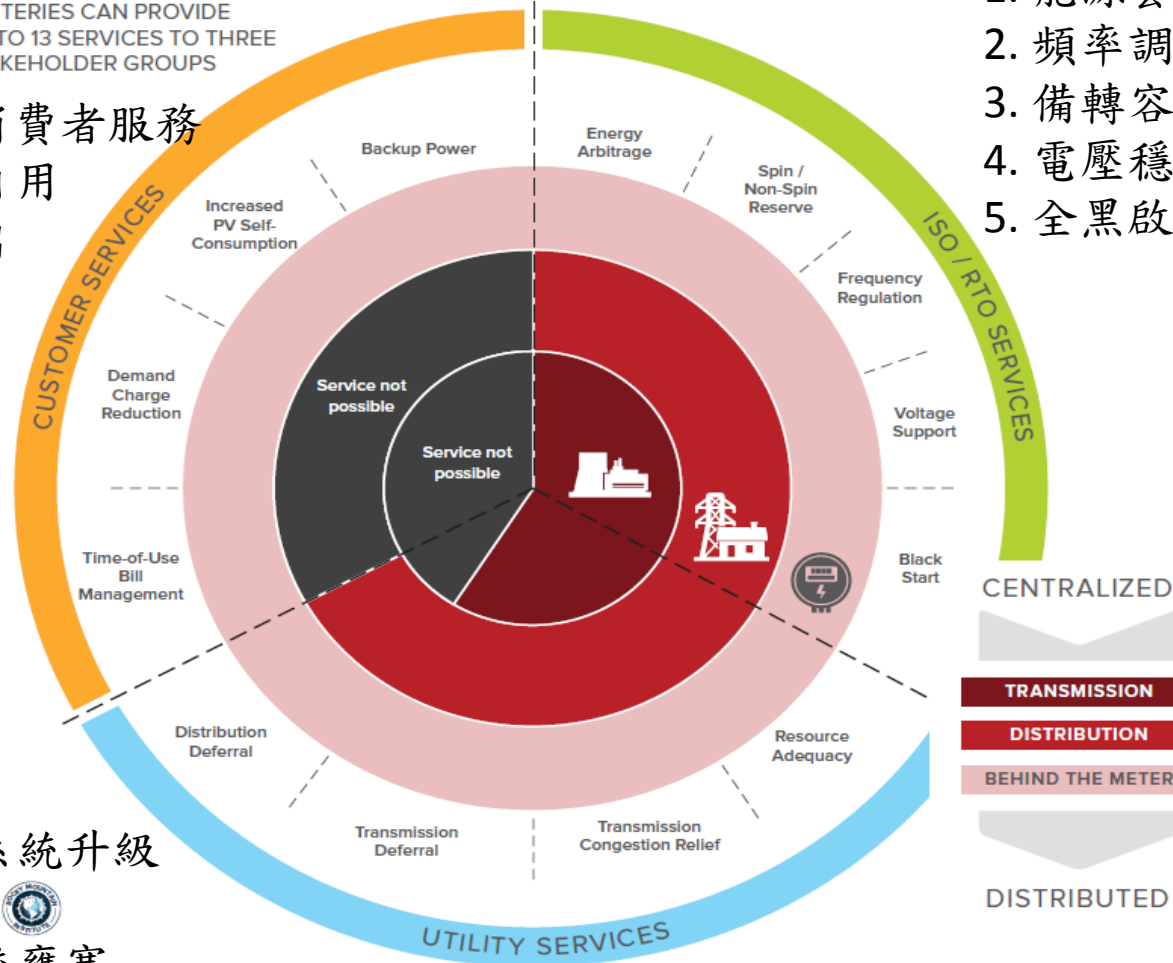
儲能技術可應用的範圍



Courtesy of: **EPRI** | ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

儲能技術可提供的服務

FIGURE ES2
BATTERIES CAN PROVIDE
UP TO 13 SERVICES TO THREE
STAKEHOLDER GROUPS



1. 能源套利
2. 頻率調節
3. 備轉容量與冷機備轉容量
4. 電壓穩定
5. 全黑啟動

1. 帳單管理的消費者服務
2. 增加PV自發自用
3. 降低電費支出
4. 備用電源

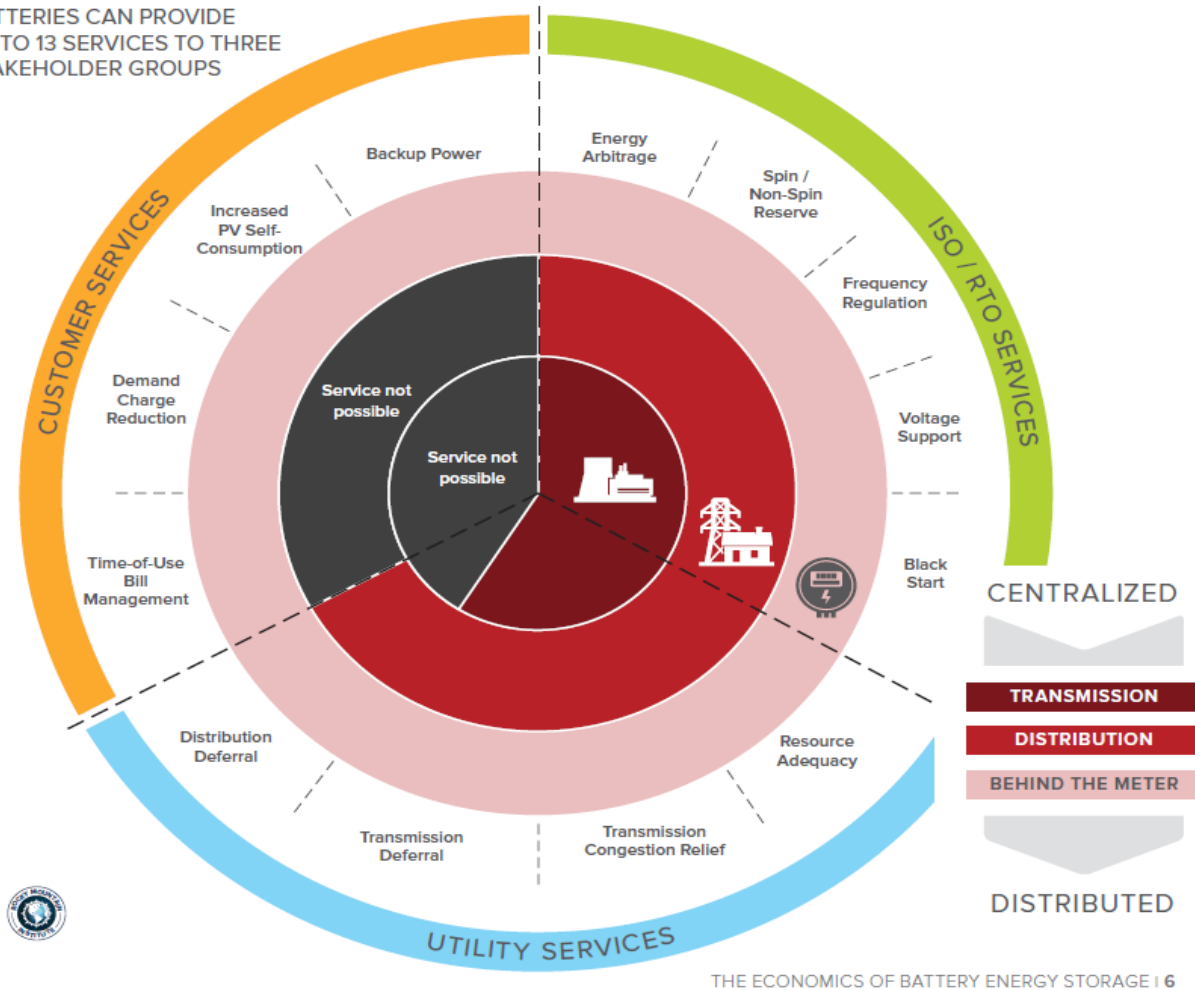
1. 延緩輸配電系統升級
2. 容量裕度
3. 紓解輸電系統壅塞

THE ECONOMICS OF BATTERY ENERGY STORAGE | 6

資料來源：Rocky Mountain Institute, The Economics of Battery Energy Storage, 2015.

儲能技術可提供的服務

FIGURE ES2
BATTERIES CAN PROVIDE
UP TO 13 SERVICES TO THREE
STAKEHOLDER GROUPS



■ 儲能價值隨應用電網端的
不同而有所差異。

- 輸電層次：位於大型
集中式發電廠、輸電
線路、輸電站等
- 配電層次：配電線、
配電站及直輸至工商
業的配電系統
- BTM：於消費者電錶
端

■ 電池儲能若裝置於「用戶
側」如 (Behind-the-Meter,
BTM) 對消費者與電網都
可創造價值(最大價值)，
目前這些服務未完全充分
利用，也未獲取應有的報
酬

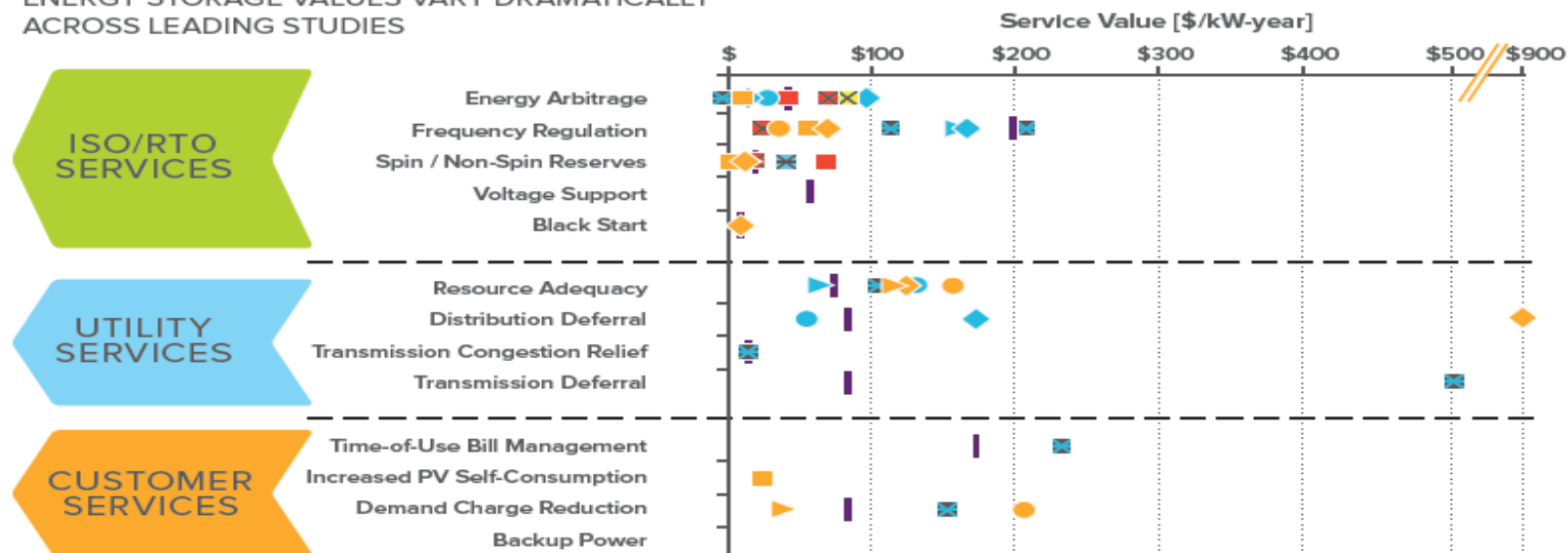
儲能技術可創造的價值

造成價值的差異主要是受決定儲能價值變數的影響：

- **電力市場和法規**：最主要的差異在於電力市場自由化程度，其他還包括法規政策、輸配基礎建設老舊狀態、消費與配電層級的負載結構。
- **技術變數**：與技術特性具高度敏感性，如energy capacity、E2P。
- **調度的限制**：儲能電池的價值會因基本的應用而有所影響。

FIGURE 3

ENERGY STORAGE VALUES VARY DRAMATICALLY ACROSS LEADING STUDIES



Results for both energy arbitrage and load following are shown as energy arbitrage. In the one study that considered both, from Sandia National Laboratory, both results are shown and labeled separately. Backup power was not valued in any of the reports.

Legend: RMI UC I (orange circle), RMI UC II (orange diamond), RMI UC III (orange triangle), RMI UC IV (orange square), NYISERDA (blue square), NREL (red square), Oncore-Brattle (blue circle), Kirby (red square), EPRI Bulk (blue triangle), EPRI Short Duration (blue square), EPRI Substation (blue diamond), Sandia (purple square), Sandia: LF (yellow square).

資料來源：Rocky Mountain Institute, The Economics of Battery Energy Storage, 2015.

儲能應用案例(1)

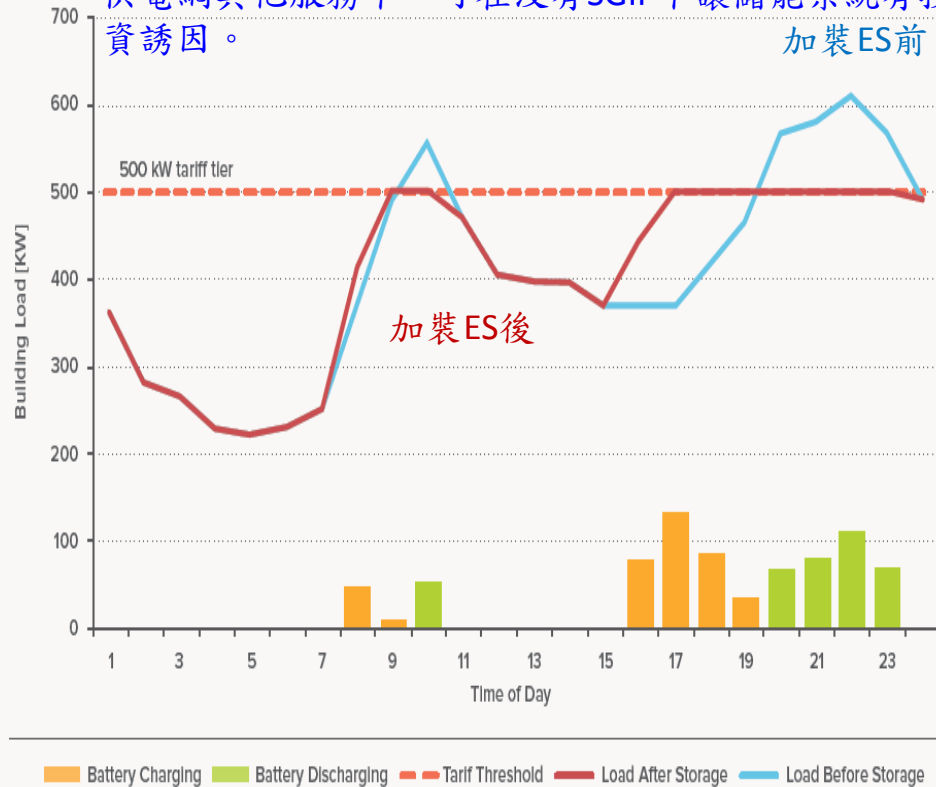
案例1：Commercial Demand-charge Management In San Francisco

以洛杉機一家大型飯店為分析案例，其利用儲能進行需求側管理

FIGURE 4

BUILDING-LEVEL LOAD BEFORE AND AFTER ENERGY STORAGE DEPLOYMENT

在面對高電費下，主要的商業模式為調整負載，並提供電網其他服務下，可在沒有SGIP下讓儲能系統有投資誘因。

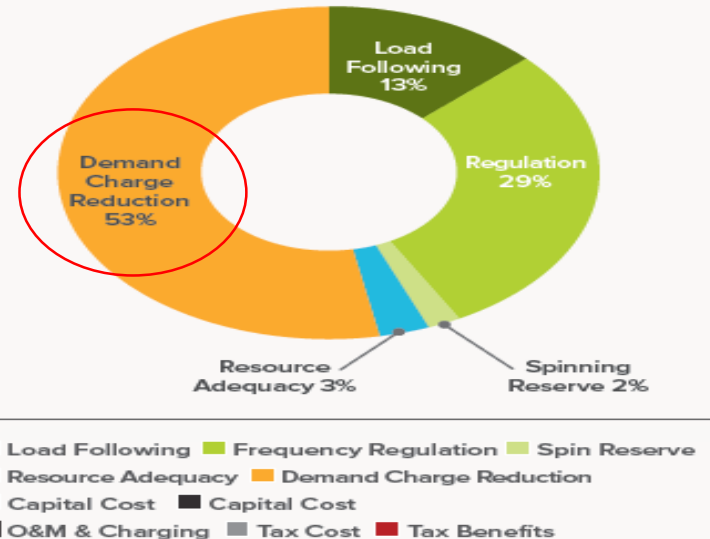


USE CASE I MODELING RESULTS

Commercial demand-charge management in San Francisco.



Percentage of hours energy storage is dispatched to each service



資料來源：Rocky Mountain Institute, The Economics of Battery Energy Storage, 2015.

儲能應用案例(2)

案例2：Distribution Upgrade Deferral In New York

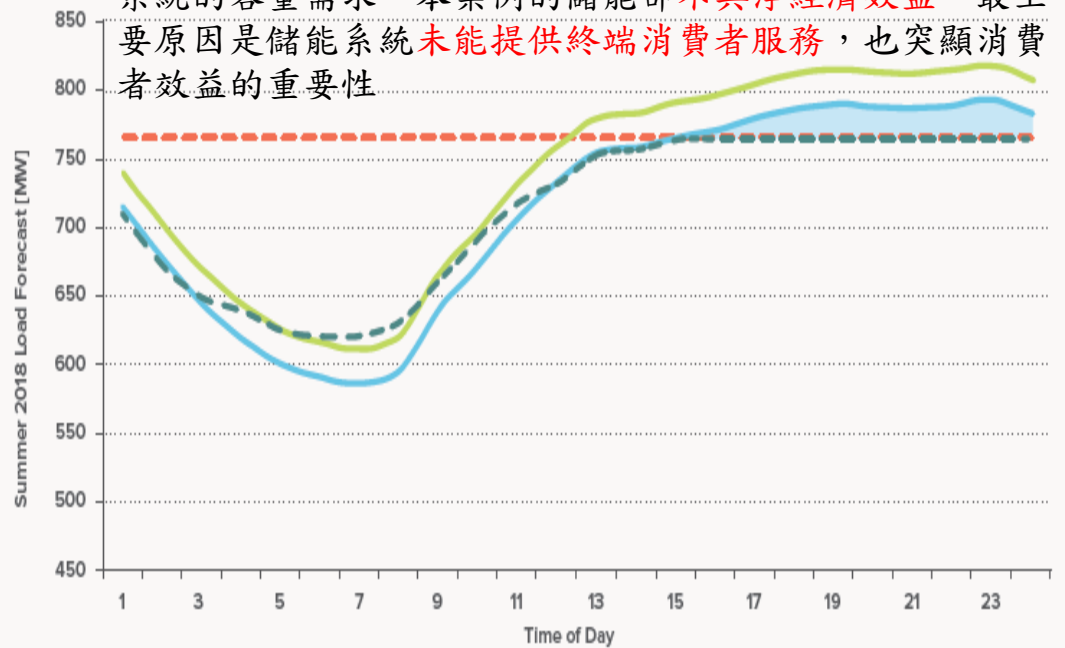
紐約州設備商ConEd遞交給紐約公共服務委員會的BQDM計畫

USE CASE II MODELING RESULTS

FIGURE 6

BQDM SYSTEM-LEVEL LOAD BEFORE AND AFTER DISTRIBUTED ENERGY STORAGE DEPLOYMENT

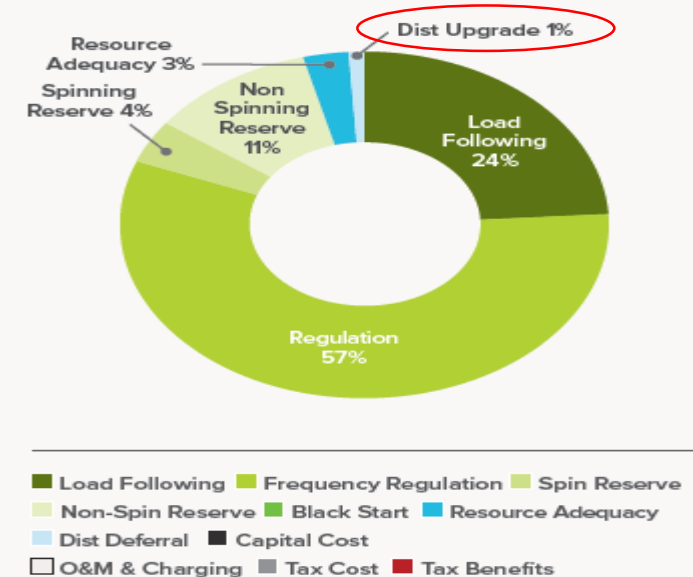
延緩配電投資是極具價值的服務，尤其是僅調度電池儲能本身使用壽命的1%。然而，即使而用EE與DR來減低儲能系統的容量需求，本案例的儲能卻不具淨經濟效益，最主要原因是儲能系統未能提供終端消費者服務，也突顯消費者效益的重要性



Distribution upgrade deferral in New York



Percentage of hours energy storage is dispatched to each service



資料來源：Rocky Mountain Institute, The Economics of Battery Energy Storage

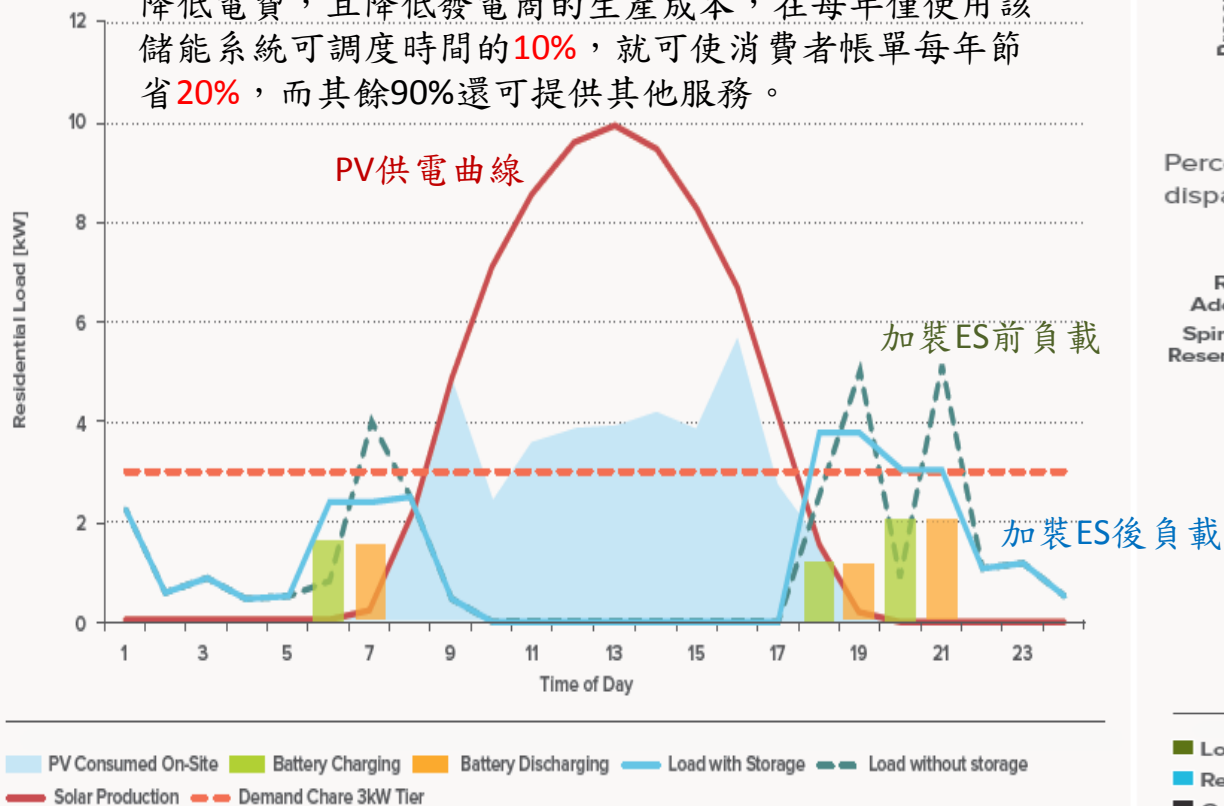
儲能應用案例(3)

案例3：Residential Bill Management In Phoenix

因應美國亞利桑那州的電力供應商SRP對於住宅裝置屋頂型PV採用新的費率制

RESIDENTIAL LOAD IN PHOENIX, BEFORE AND AFTER ENERGY STORAGE IS DISPATCHED

BTM儲能系統可配合分時電價使用有效地移轉尖峰用電，降低電費，且降低發電商的生產成本，在每年僅使用該儲能系統可調度時間的**10%**，就可使消費者帳單每年節省**20%**，而其餘90%還可提供其他服務。

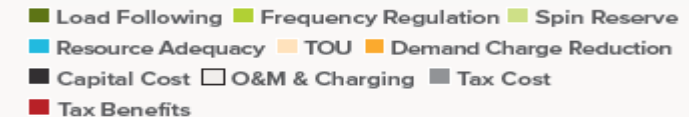
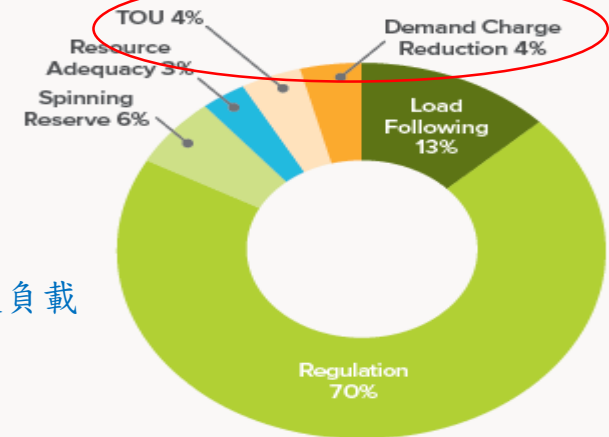


USE CASE III MODELING RESULTS

Residential bill management in Phoenix



Percentage of hours energy storage is dispatched to each service



資料來源：Rocky Mountain Institute, The Economics of Battery Energy Storage, 2015.

儲能應用與價值分析-小結

- 儲能系統可提供多樣的服務，應用於電力系統後端，其可提供更多的服務。然現今儲能系統大多推廣於1-3項應用(降低電費、備用電源、增加PV自發自用)，導致儲能系統於壽命期間利用率過低。
- 在既定的成本結構下，儲能僅提供一項服務往往是對不具淨的經濟效益(生命期的效益現值低於生命期的成本)。然而若將儲能1-50%應用於主要服務，其餘則用於供次要服務，其經濟效益對較高。
- 探討案例中，唯一不具淨效益的案例為紐約州配電升級延緩案例，但若此案的ES可提供用戶端服務並納入備用電源的價值(原設為0)，或許效益可為正。但也因此可以說明ES應用至各層次服務的重要性。
- BTM儲能的淨價值不易推估，且如何評估儲能在不同應用所創造的價值是非常複雜的，因整個電力市場約計有上百個變數且會回饋影響，因此儲能的價值僅能以逐各研究或案例來分析。

報告大綱

- 前言
- 儲能簡介
- 儲能應用範疇與應用案例
- 全球儲能市場與相關政策
- 儲能成本分析與未來趨勢
- 結論與建議

影響各國儲能發展的因素

1. 電價程度：採相對比較，根據分析的國家與整體平均比較，其中德國的電價是最高的。
2. 分時電價：主要有兩個一是分時電價的差異及分時電價的可行性(實施對象的範圍)，其中分時電價差異若尖峰與離峰價差有到100%則是有吸引力的，若小於50%則無。
3. 需求費用：一般而言每月的電費超過\$25/kW則是相對較高的，對儲能發展較有利。

ATTRACTIVENESS OF MACRO FACTORS AFFECTING ES BY REGION

	Storage experience	Storage subsidies, targets	Wind, solar	Distributed energy	Electricity price level	TOU prices	Demand charges	Ancillary services market
U.S.*								
U.K.								
France								
Germany								
Spain								
Italy								
China								
Japan								
S. Korea								
Australia								

*Note: U.S. ratings represent high value regions such as California, not national averages.

Source: Azure International, 2014

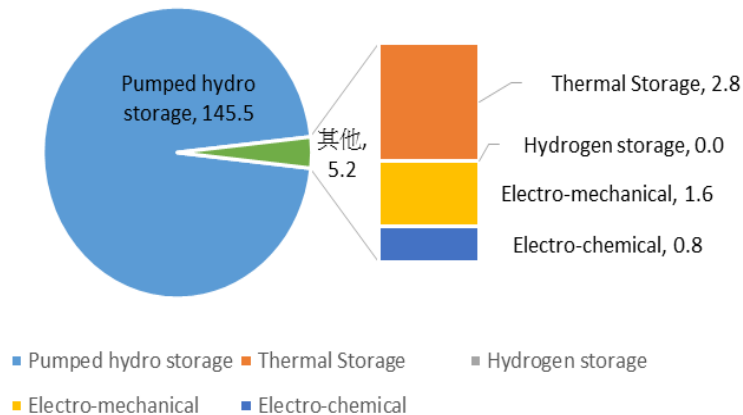
資料來源：Azure International, Energy Storage World Markets Report, 2017.

全球儲能市場_DOE

DOE Global Energy Storage Database

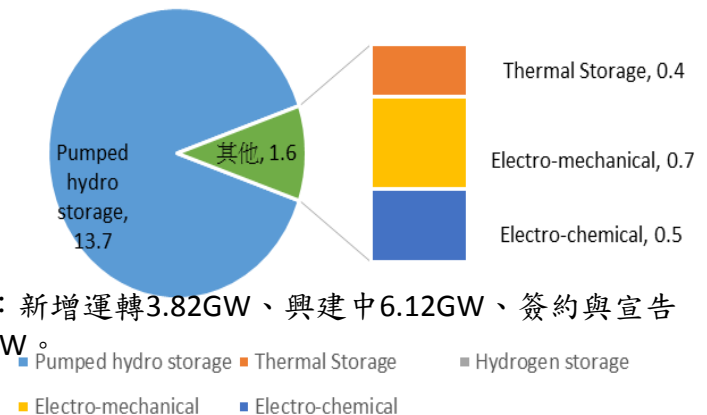
1970-2015

全球運轉中的儲能總裝置量為150.73GW

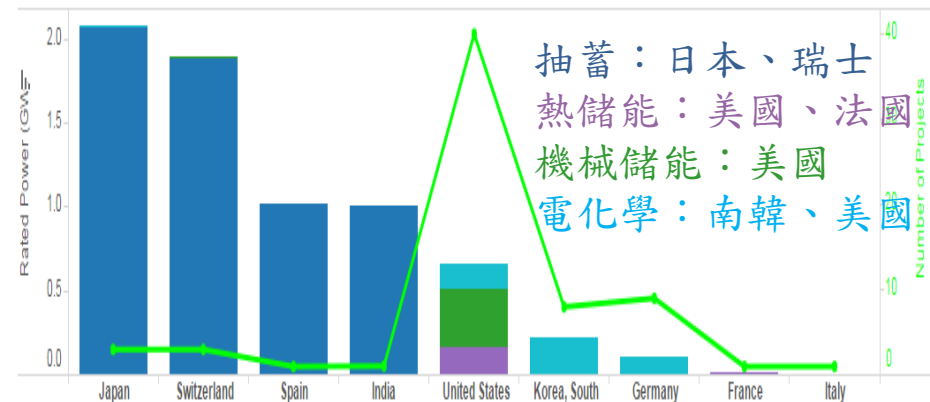
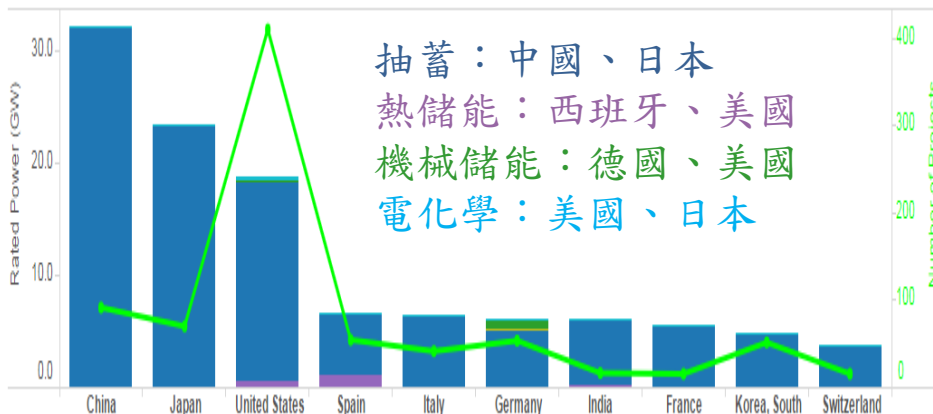


2016-2020

全球新增的儲能總裝置量為15.26GW



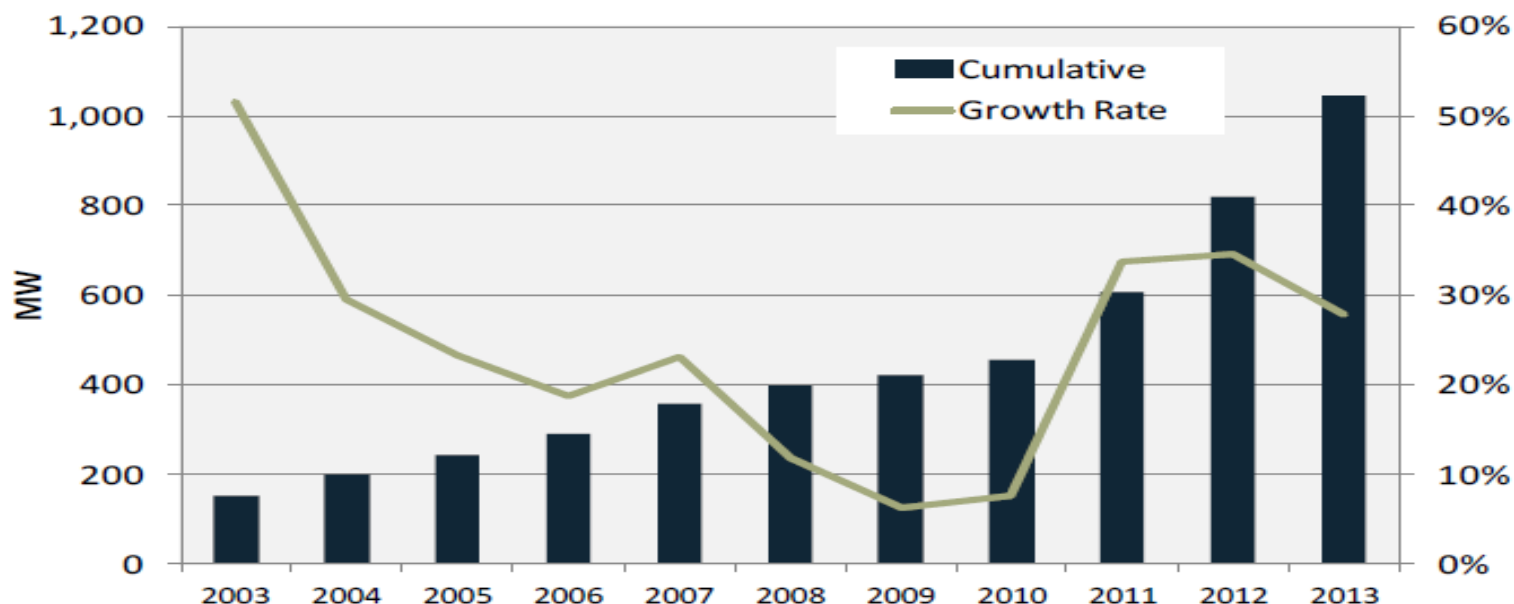
包括：新增運轉3.82GW、興建中6.12GW、簽約與宣告5.32GW。



全球先進儲能市場(1)

- 由於政府支持示範計畫，全球先進儲能市場過去10年呈穩定成長，2003-2013年市場年均成長率為**24%**。
- 2011年因**美國**政府支持數個電網型的大型儲能計畫，裝置量明顯增加。而此，也同時帶動其他國家相關計畫的發展，2011-2013年均成長率為**32%**。

GLOBAL ADVANCED ENERGY STORAGE CAPACITY AND MARKET GROWTH 2003-2013



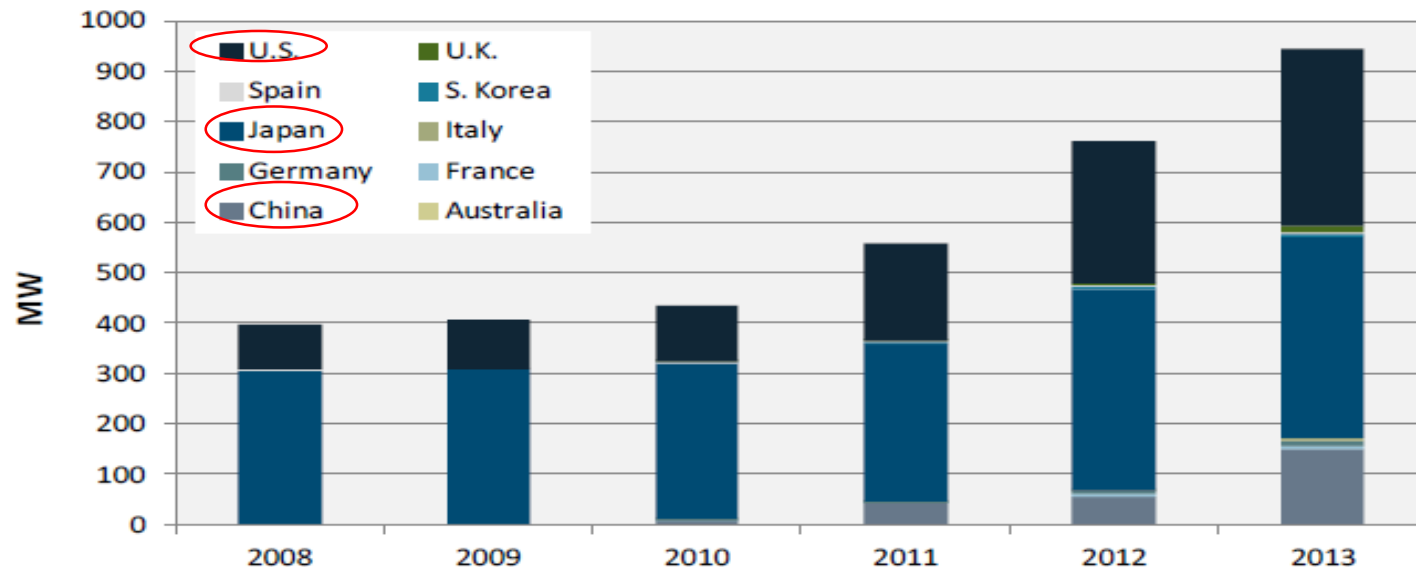
註：有別於US DOE的儲能資料庫，其至2014年3月共追蹤861個計畫，其中PHS占338個，145個是熱儲能、其餘378個是其他先進儲能計畫。反之，上圖是基於Azure的先進儲能計畫資料庫，其追蹤的先進儲能計畫超過700個，並排除10kW以下的、熱儲能與PHS及傳統的空氣壓縮儲能也都予以排除。

資料來源：Azure International, Energy Storage World Markets Report, 2017.

全球先進儲能市場(2)

- 美、日、中等10國為在儲能發展上較具經驗，且持續增加儲能計畫的國家，其占全球先進儲能市場裝置量的**91%**。
- 2011年前以**日本**、**美國**為主要的發展國，占2011年裝置容量的83%。但2011-2013年間**中國**為成長最快的市場，在此區間市場占比由8.5%增加至14%，為目前**全球第三大**。儘管目標歐盟裝置容量僅占5%，但義大利與德國已開始實施MW級的示範計畫，將使其成為儲能發展的領先者。

CUMULATIVE INSTALLED CAPACITY FROM 2008 TO 2013 FOR COUNTRIES INCLUDED

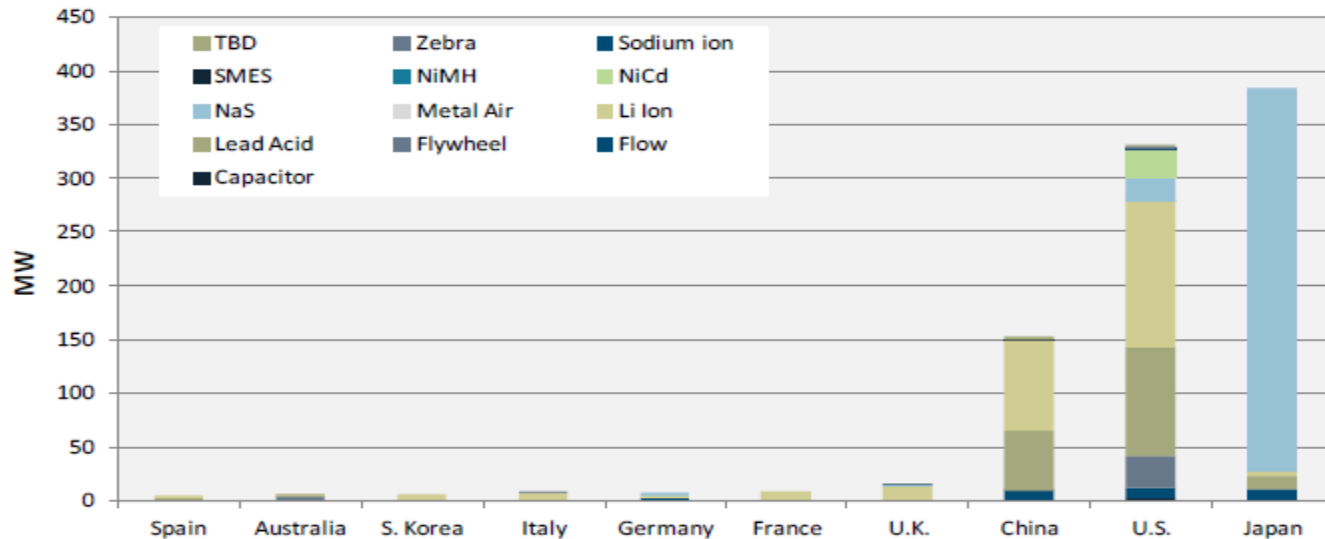


資料來源：Azure International, Energy Storage World Markets Report, 2017.

全球先進儲能市場(3)

- 各國發展的儲能技術均以國內製造商的技術優勢為主。
- 目前是以**日本**主導整體先進儲能市場的發展，自1974年起，日本就已經積極進行儲能技術的研發與推廣示範，主要的研發經費投入在**鈉硫與全鈮氧化還原液流電池**(Vanadium Redox Flow Battery; VRFB)技術，NGK為全球最大的鈉硫電池製造商。
- **美國**至1970年代起亦開始投入儲能，至2009年美國復甦及再投資法案(ARRA)，其中13億美元用於能源儲存示範計畫，使得美國開始增加儲能裝置。此外，美國是對外技術最為開放的國家。
- 中國相對是較新進入的國家，市場率提昇主要是2012-2014年。中國主要發展的儲能技術為，**鋰電池、先進鉛酸電池、及液流電池**，且主要都是由國內提供。

INSTALLED CAPACITY BY ES TECHNOLOGY IN 10 COUNTRIES



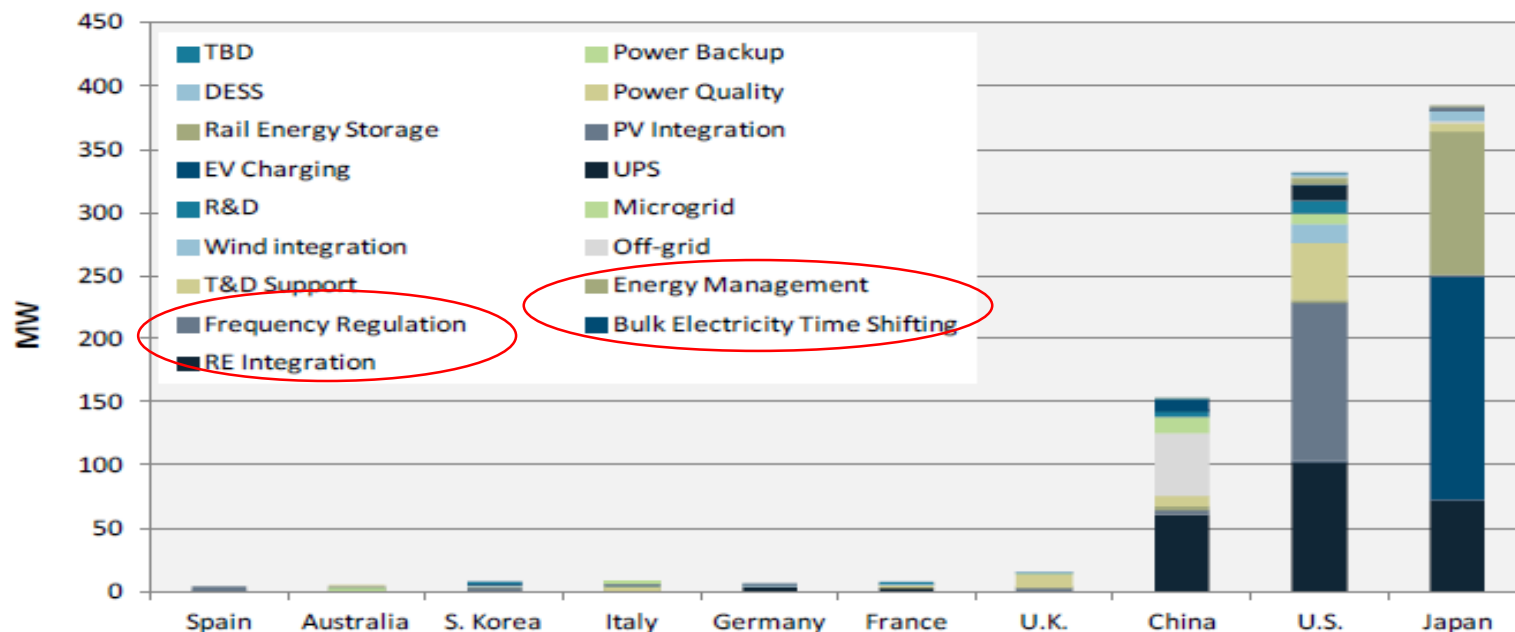
Source: Azure International

資料來源：Azure International, Energy Storage World Markets Report, 2017.

全球先進儲能市場(4)

- 應用面非常的廣且多元，顯示初期儲能發展仍在探索階段，發展者仍試圖尋找儲能最佳利用方式，但整體看來，仍是以RE整合、大容量電力移轉、調頻及終端能源管理為主要應用，2013年占總裝置的74%。
- 調頻服務為儲能初期商業化應用的市場，尤其是在美國。目前歐洲、南韓、日本等國也積極發展相關的計畫。

INSTALLED CAPACITY BY ES PRIMARY APPLICATION IN 10 COUNTRIES



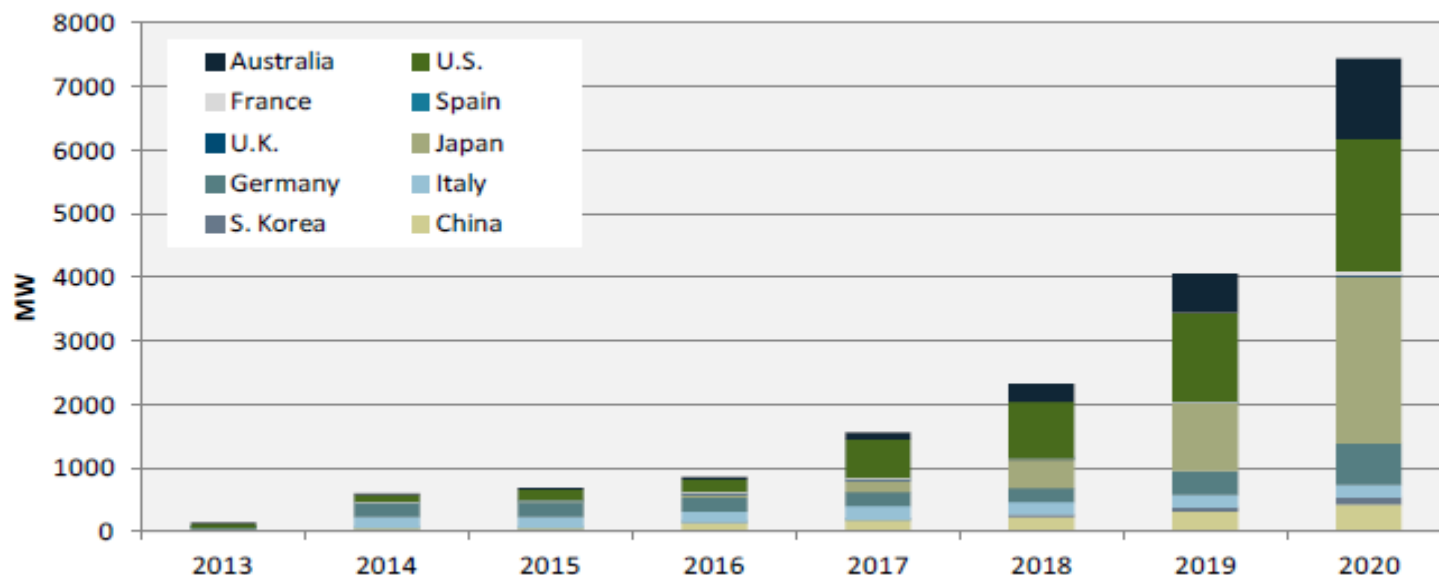
Source: Azure International

資料來源：Azure International, Energy Storage World Markets Report, 2017.

全球先進儲能市場展望(5)

- 預測未來各國的儲能市場經濟潛力，考量未來各國的尖峰負載、負載成長率、適合的市場結構、儲能系統規模、經濟效益與政策等。
- 結果顯示，**日本**因儲能補貼政策與分時電價影響，預計至2020年成長最為快速，總新增裝置量可達2.5GW。其次為**美國**，尤其是**加州**，住宅與商業化的能源管理在SGIP補貼與高電費帶動下，預期在初期市場發展將較具吸引力。

10 COUNTRY CUMULATIVE MARKET PROJECTION 2013-2020 FOR APPLICATIONS SURVEYED



Source: Azure International

資料來源：Azure International, Energy Storage World Markets Report, 2017.

日本儲能現況與政策

日本儲能市場發展的誘因

- 具有多樣的分時電價(TOU)，且對儲能應用於energy arbitrage以減少電費有吸引力；
- 部分電力批發市場可透過日本電力交易所以實時電價買賣，提高儲能的經濟效益。
- 2012年後日本快速擴張風力與PV發電，但因受限於電網併網容量限制，2014年12月施行再生能源電力不補償的輸出控制(500瓩以上)，此有利於儲能應用於變動性再生能源的整合。
- 政府與產業長期投資於儲能的發展與應用，日本在儲能技術發展的領先地位。

Contract category		Unit	Rate (tax included), applicable from June 1, 2016(¥)
Energy charge	Peak time	1kWh	54.77
	Day time	Same as above	29.08
	Night time	Same as above	12.25

尖離峰價差4.48倍
(台灣約2.3倍)

資料來源：TPECO

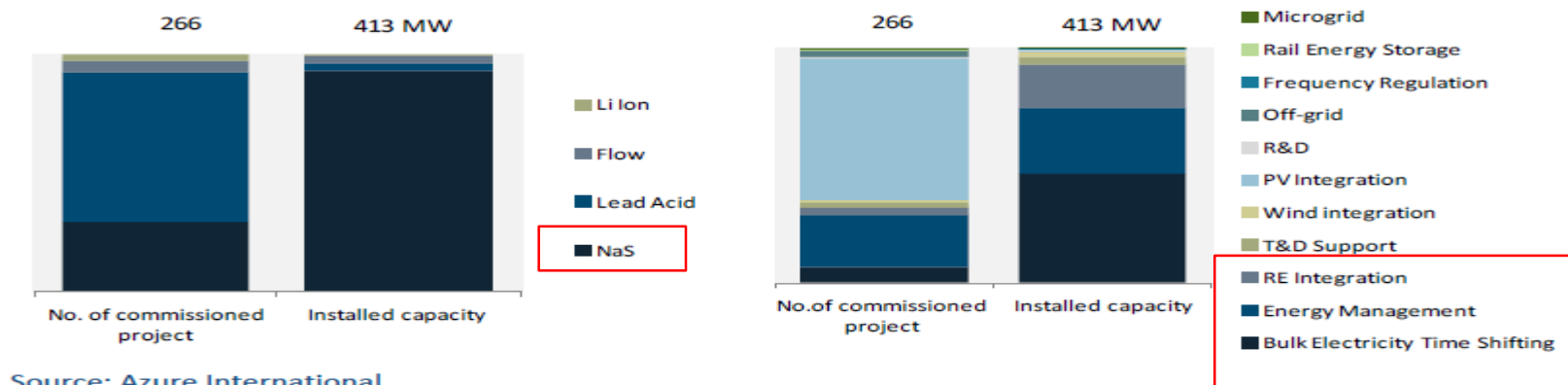
日本儲能現況與政策

日本發展儲能的關鍵政策

- 1970-1990年代：1980年月光計畫(Moonlight Project)、1993年新陽光計畫『(New Sunshine Project)』，日本經濟產業省(MITI)與新能源產業技術綜合開發機構(NEDO)都提出儲能研發計畫，主要發展**燃料電池與電池儲能(鈉流、液流及鋰離子電池)**技術。
- 21世紀：因福島核災，政府提高再生能源發電占比，而為解決再生能源占比增加，電網不穩定的問題，日本政府積極發展電網儲能，NEDO於2011年4月啟動為期五年的「安全・低成本大型儲能技術開發」計畫。METI於2014年投入100億日圓補貼**鋰電池儲能系統**，其中，家庭用戶的補貼上限為100萬日元，商業用戶的補貼上限則為1億日元。2015年1月，日本經濟產業省再次提供8億美元用於支持工業、商用和住宅用戶儲能系統建設。2016年4月，日本政府發布的《能源環境技術創新戰略2050》，將儲能列入其中，旨在研究低成本、安全可靠的快速充放電**先進蓄電池技術**。

Japan energy storage graphs

NO. OF COMMISSIONED PROJECTS & INSTALLED CAPACITY BY TECH (LEFT) & BY APPLICATION (RIGHT)

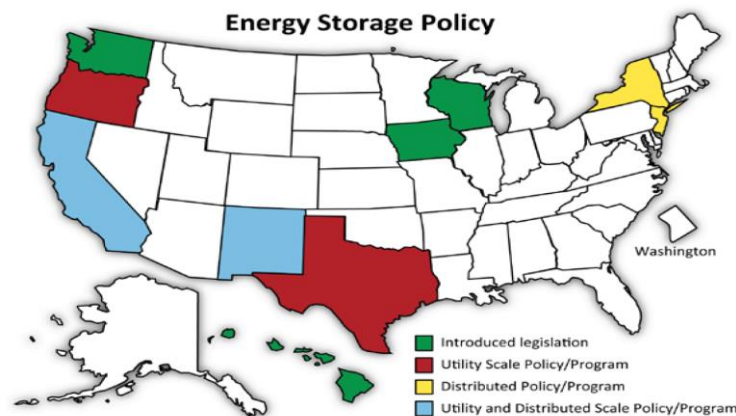
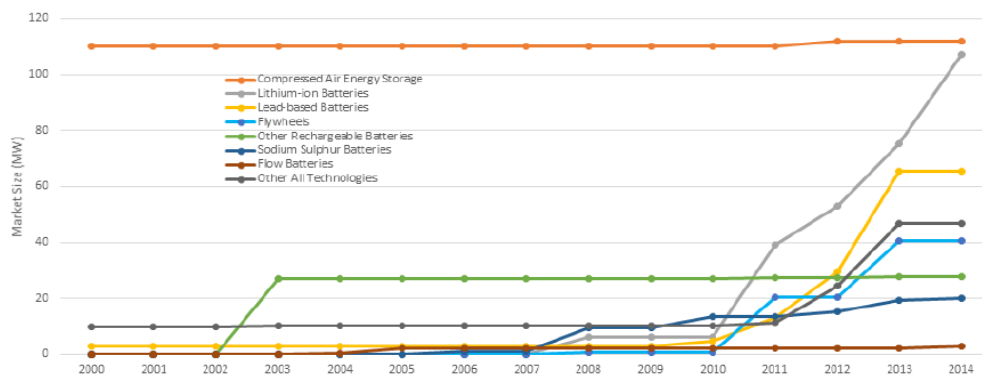


美國儲能現況與政策

從全球儲能市場發展，美國一直是居於領先地位，一方面由於政策支持，另一方面也與國內電力市場革新、設備商應用儲能經驗等有關策

- **美國聯邦能源監管委員會**：2011年FERC Order 755法案與2013年784法案，提出調頻服務的計費方式、並鼓勵廠商採取儲能技術。
- **美國能源部**：2016年宣布投入1,800萬美元，補助與太陽能儲能技術相關的六項計畫，改善美國國內電力運輸的靈活性、可靠性與安全性，為美國能源部射日倡議 (SunShot Initiative) 中電網現代化倡議 (Grid Modernization Initiative) 的重點項目之一。
- **加州公共事業委員會(CPUC)**：推動自營發電獎勵計畫(SGIP)，該計畫2001年就開始實施，推動住宅、工商等自行建置發電與儲能設備，其後經過多次修訂，最新修訂於2016年7月發布，將未來三年SGIP的75%的項目預算都將分配給儲能。
- **紐約州**：紐約能源研究和發展管理局(NYSERDA)與ConEdison能源公司創立儲能補助計畫，提供電池儲能2100美元/kW、熱儲能2600美元/kW的補助金。
- 其他包括德州、華盛頓州、紐澤西、新墨西哥、奧草岡州等都有推動儲能補助計畫。

U.S. Energy Storage Market Size by Technology (2000-2014, MW)



中國儲能現況與政策

中國發展儲能的主要誘因為

- 全球風力裝置量最大
- 以煤發電為主，且可作為彈性調度的燃氣機組因天然氣資源有限、以及輸配電基礎設施的限制，隨VRE占比逐漸增加，系統穩定性將面臨挑戰
- 近年開始推動**農村電氣化政策**，提昇離網PV與儲能系統的需求
- 中國持續投入儲能技術的發展與示範計畫，依中關村儲能產業技術聯盟資料，至2015年中國營運中的儲能計畫共118個(不包括抽蓄、CAES與熱儲能)、總裝置量為105.5MW，占全球11%，而過去5年(2010-2015年)年成長率為**110%**，是全球的**6倍**。目前中國的儲能**主要是鋰電池、鉛酸電池及液流電池**，其中鋰電池占市場的2/3。而80%以上的計畫會裝置量是**應用在分散式發電、微電網與再生能源整合**上。其中分散式發電、微電網就占了總capacity的56%，占計畫項目的77%。

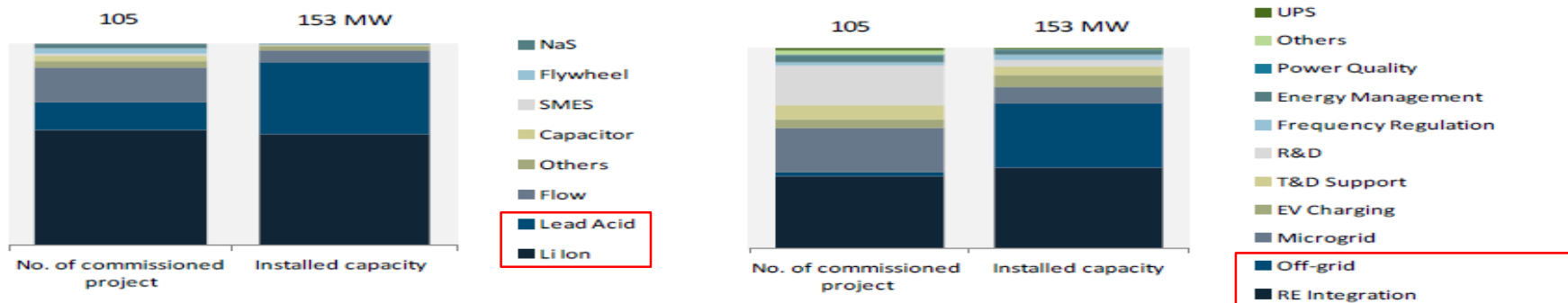
中國儲能現況與政策

中國雖支持儲能發展，但沒有具體的目標或補貼政策

- 2011年「國家能源科技**十二五計畫**」將開發儲能技術列為能源發展項目，並提出多項研發與MW級示範計畫，儲能技術研發主要是**先進電池技術、壓縮儲能、液流電池材料**等。
- 2014年「**能源發展戰略行動計畫**（2014-2020）」，儲能首次被明確為「9個重點創新領域」，要求研究儲能配套能力，以解決棄風、棄光問題。
- 「**十三五**」規劃期間，儲能亦列入了十三五規劃的百大工程項目。
- 2016年國家發改委、國家能源局共同發表「**能源技術革命創新行動計畫**（2016-2030年）」，訂定能源技術的中長期目標，其中儲能技術被列為中國未來15年的關鍵創新技術之一。

China energy storage graphs

NO. OF COMMISSIONED PROJECT & INSTALLED CAPACITY BY TECH (LEFT) & BY APPLICATION (RIGHT)



Source: Azure International

報告大綱

- 前言
- 儲能簡介
- 儲能應用範疇與應用案例
- 全球儲能市場與相關政策
- 儲能成本分析與未來趨勢
- 結論與建議

Lazard儲能成本分析

儲能系統以兩種型式定價

- 依瞬時功率：為在特定操作與物理限制下，inverter最大輸出量，單位為MW或kW，因此投資成本除瞬時功率；
- 依能源輸出潛力(usable energy)：為某一時間內儲能可儲存的最大能源量，單位為MWh/kWh。因此投資成本除輸出潛力，目的是能捕捉儲能系統存續時間的影響。

	PROJECT LIFE (YEARS)	MW ^(a)	MWh OF CAPACITY ^(b)	100% DOD CYCLES/ DAY ^(c)	DAYS / YEAR ^(d)	ANNUAL MWh	PROJECT MWh
TRANSMISSION SYSTEM	20	100	800	1	350	280,000	5,600,000
PEAKER REPLACEMENT	20	100	400	1	350	140,000	2,800,000
FREQUENCY REGULATION	10	10	5	4.8	350	8,400	84,000
DISTRIBUTION SUBSTATION	20	4	16	1	300	4,800	96,000
DISTRIBUTION FEEDER	20	0.5	1.5	1	200	300	6,000
MICROGRID	20	2	2	2	350	1,400	28,000
ISLAND GRID	20	1	8	1	350	2,800	56,000
COMMERCIAL & INDUSTRIAL	10	0.5	2	1	250	500	5,000
COMMERCIAL APPLIANCE	10	0.1	0.2	1	250	50	500
RESIDENTIAL	10	0.005	0.01	1	250	2.5	25

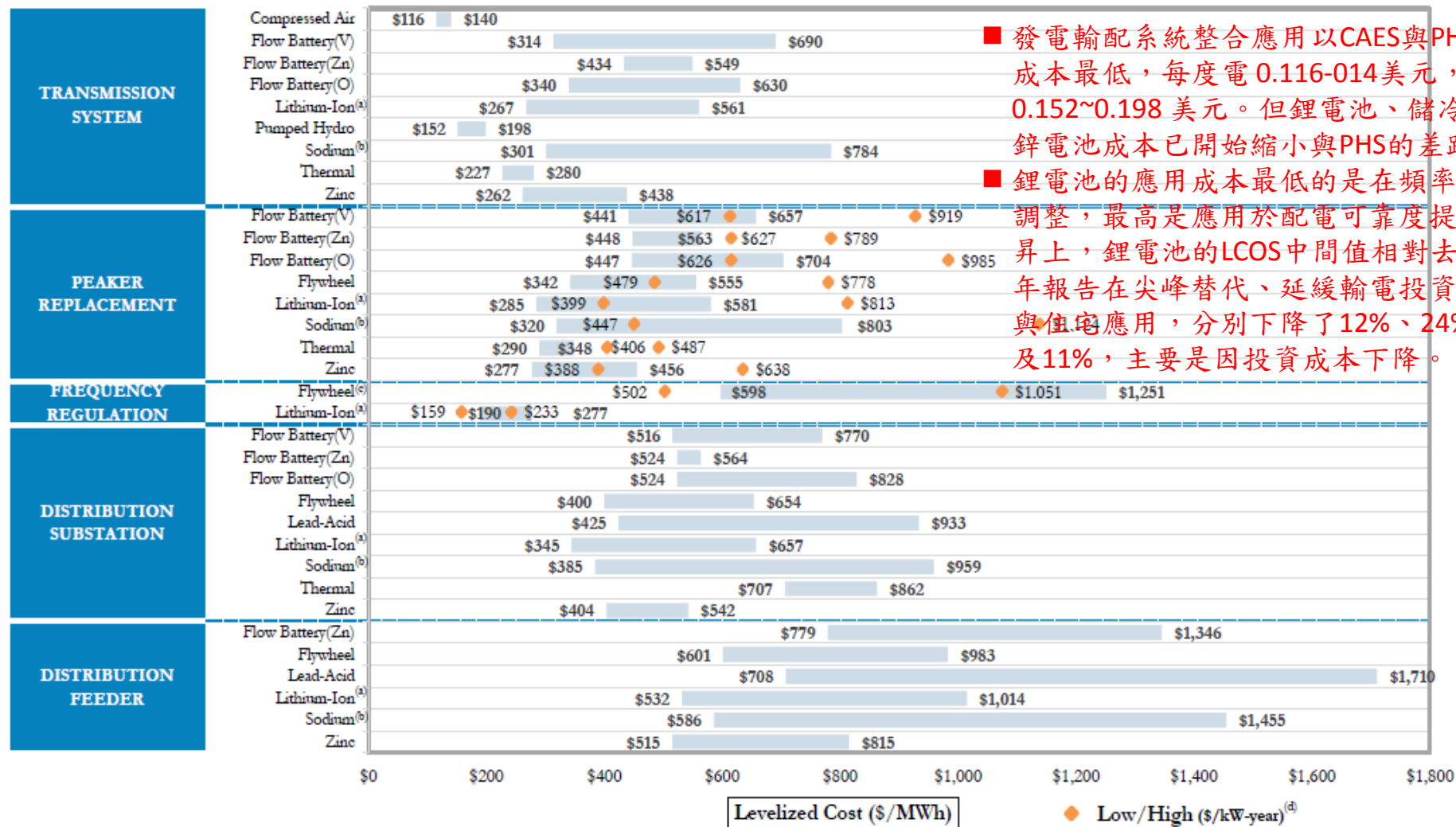
= "Usable Energy"^(e)

註：DoD: Depth of discharge為電池儲能放電占總energy的比例，DoD 100%即指將電池充滿並完全放電，因此上圖4.8表示電池一天的cycle共48次，每次DoD為10%，故記為4.8 100% DoD per day

資料來源：Lazard, Lazard' s Levelized cost of Storage-version 2.0, 2016.

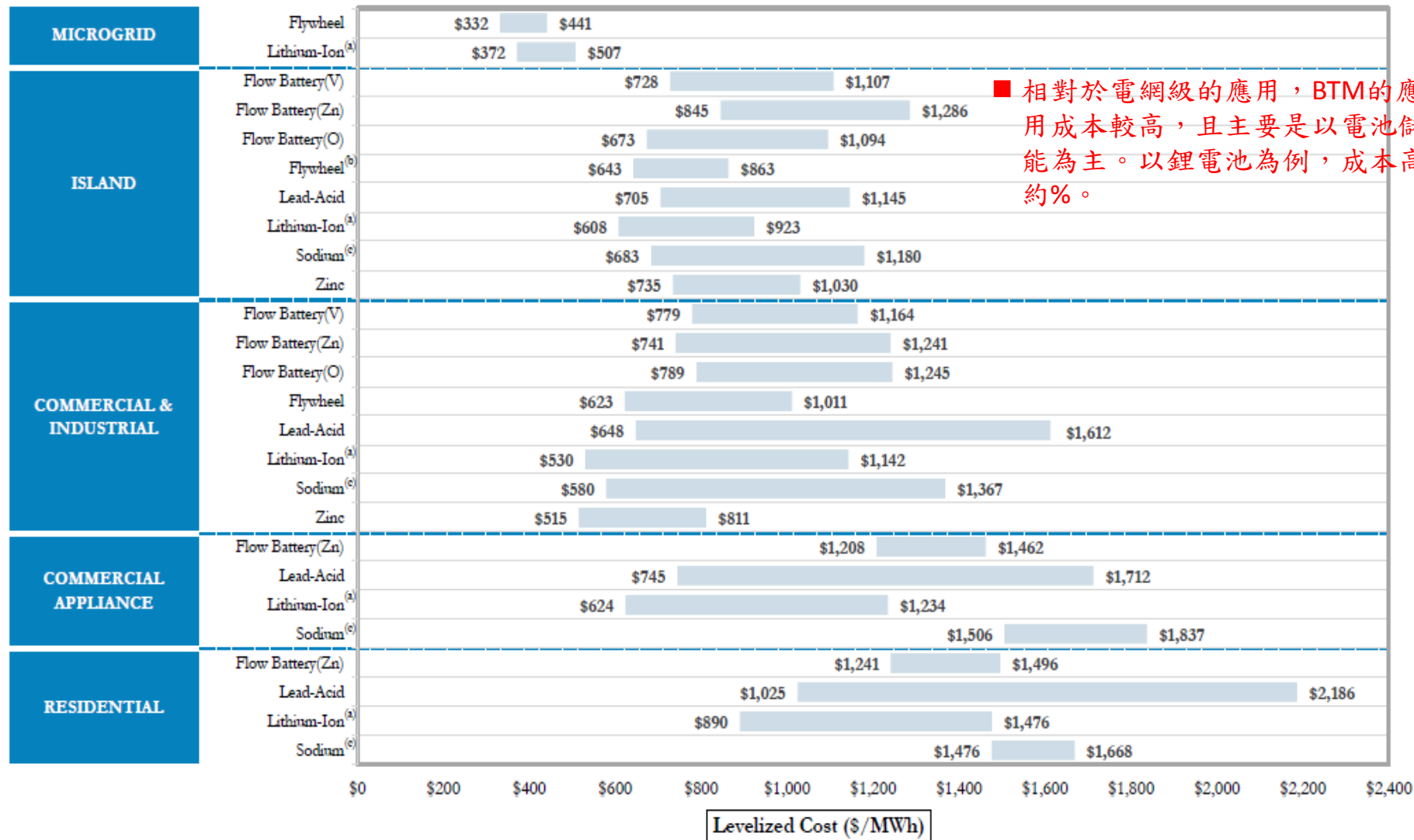
Lazard儲能成本分析

Unsubsidized Levelized Cost of Storage Comparison



資料來源：Lazard, Lazard' s Levelized cost of Storage-version 2.0, 2016.

Lazard儲能成本分析



資料來源：Lazard, Lazard's Levelized cost of Storage-version 2.0, 2016.

Lazard儲能成本分析_未來五年

CAPITAL COST (\$/KWH)		AVG ^(b)	AVG ^(b)		AVG ^(b)	
FLOW BATTERY-VANADIUM	CAGR	(7%)	LITHIUM-ENERGY	(11%)	LEAD	(15%)
	5 Year	(24%)		(38%)		(49%)
FLOW BATTERY-ZINC-BROMINE	CAGR	(5%)	LITHIUM-POWER	(7%)	COMPRESSED AIR	(1%)
	5 Year	(19%)		(24%)		(5%)
FLOW BATTERY-OTHER	CAGR	(7%)	SODIUM	(11%)	PUMPED HYDRO	(1%)
	5 Year	(24%)		(37%)		(5%)
FLYWHEEL-SHORT DURATION	CAGR	(6%)	ZINC	(8%)	THERMAL	(1%)
	5 Year	(23%)		(28%)		(4%)
FLYWHEEL-LONG DURATION	CAGR	(11%)				
	5 Year	(37%)				

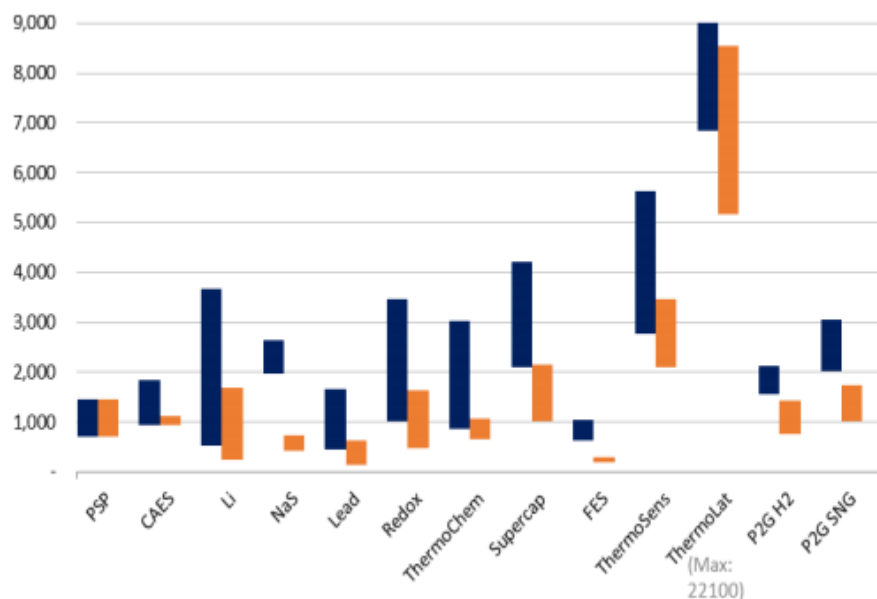
1. 預期儲能成本在未來五年會有顯著的下降，主因是**規模化**與相關成本節省、**技術標準化**的改善與**技術進步**、因**政策**(法規、補助、研發與訂價創新)導致儲能增加、**再生能源**占比增加、面臨傳統技術與電網革新的壓力等
2. 儲能業者對各項技術成本下降的預期有明顯的差異，有些業者預期**鋰電池成本**在未來5年可以下降**40%**，同時液流與鉛酸電池未來5年也會相當程度的下降
3. 未來成本的下降主要是因**電池製造的改善**，而非是系統成本的原因(如裝置、電力控制系統)。因此，應用案例若以電池為導向且相對小型的系統成本，預期均化成本會下降的更快速。

資料來源：Lazard, Lazard' s Levelized cost of Storage-version 2.0, 2016.

WEC儲能成本分析

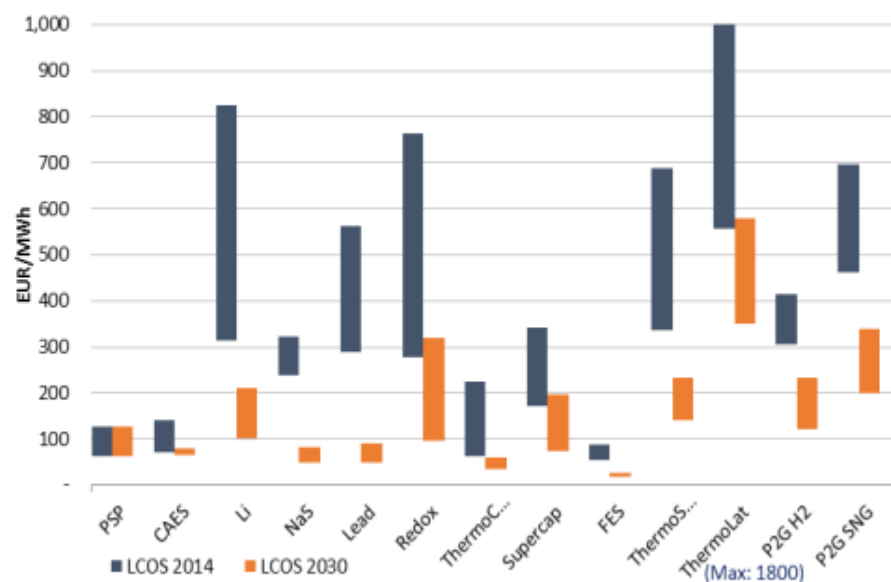
1. 以SIC分析結果，目前抽蓄儲能PSP、空氣壓縮儲能CAES、鉛酸電池Lead、飛輪能量儲能FES成本最低。而至2030年，其他**電池儲能技術**將相對較其他技術有較低的成本。成本的下降幅度主要是因**技術愈發成熟與協同效應，及跨行業的應用**。
2. LCOS以最適應用為主進行成本估算，由結果可知目前LCOS較低的是抽蓄儲能PSP、空氣壓縮儲能CAES、飛輪能量儲能FES，而未來至2030年各技術都有明顯的下降，其中以**鋰電池、鈉流、液流電池**下降最為明顯。

FIGURE 5: SPECIFIC INVESTMENT COSTS, STUDY PERIOD 2015 AND 2030 (€2014/KW)



Source: PwC (2016) (PSP = pumped storage hydro, FES = flywheel)

FIGURE 6: LEVELISED COST OF STORAGE STUDY PERIOD 2015 AND 2030 (€ 2014)



Source: PwC (2016)

報告大綱

- 前言
- 儲能簡介
- 儲能應用範疇與應用案例
- 全球儲能市場與相關政策
- 儲能成本分析與未來趨勢
- 結論與建議

結論與建議

- 為實現2025年非核家園目標，政府提出2025年再生能源占比達**20%**的目標，其中又以**變動性再生能源為主**，因此在能源轉型過程中，儲能系統的發展應為提昇我國電力系統彈性的關鍵策略。
- 儘管儲能成本未來呈下降趨勢，但大量商業化應用前成本仍是貴的，需政府**政策支持**，並持續研發以降低成本，才能擴大應用。目前國內僅2座抽蓄儲能，台電正評估是否增建抽蓄水力電廠，然我國研發電池儲能技術也已長達數十年，建議政府應加強相關的研發與補助(目前在智慧電網總體規劃方案核定本有將儲能列入)。
- **儲能價值**以現階段來說是難以衡量，其牽涉到設置區域(當地的環境、電價、輸配電現況)、電力市場、應用領域等。整體來說，BTM的價值若都可以被實現，BTM儲能的淨效益是較好的。但要實現儲能同時提供多樣的服務，建議修訂**法規面**，以移除防礙BTM資源如電池儲能提供多樣服務的障礙；**發電商**應提出新的商業模式與費率改革，以反應儲能提供至電網、分時、分區、分功能性的價值；**研發單位**應發展一套可被廣為認同的模型工具或一致性的評估方法，以分析比較儲能提供服務與既有技術間的淨成本。

參考文獻

1. WEC, World Energy Resources- E-Storage 2016, 2017.
2. WEC, World Energy Resources- E-Storage : Shifting from cost to value Wind and Solar Applications, 2016.
3. IEA, Next Generation Wind and Solar Power – From cost to value, 2016.
4. Azure International, Energy Storage World Markets Report, 2017.
5. Rocky Mountain Institute, The Economics of Battery Energy Storage, 2015.
6. Lazard, Lazard's Levelized cost of Storage-version 2.0, 2016.
7. Lazard, Lazard's Levelized cost of Storage-version 1.0, 2015.
8. DOE, Global Energy Storage Database, 2017.