

IEA 中期再生能源市場報告_2016

—2015 年再生能源新增裝置容量占全球總新增裝置容量一半以上，且
首度超過燃煤的裝置容量

蕭國鑫

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

各國政府明確地支持再生能源發展，加上未來再生能源發電成本降低和全球對地球減緩升溫的努力，2015年再生能源新增裝置容量合計成長153GW(陸域風力與太陽光電分別成長63GW及49GW)，占全球總新增裝置容量一半以上，且再生能源累計裝置容量首度超過燃煤的裝置量。

IEA 中期再生能源市場報告(MTRMR_2016)，推估由 2016 年到 2021 年全球再生能源裝置容量成長 42%，並達到 825GW，全球總發電占比將從 23% 提高到 28%。其中 2015 年再生能源實際發電占比，水力發電 71%、生質能 8%、風力 15%、太陽光電 4%、其他 2%，推估 2021 年水力發電占比降至 59%、風力與太陽光電分別提升到 21% 與 9%；而再生能源總發電量將超過 7.6 兆度，約等於 2015 年歐盟與美國的發電量總合。

MTRMR_2016 預測到 2021 年陸域風力發電成本可再下降 15%，推估 2015-2021 年全球陸域風力機裝置容量，在主要情境下，年約增加 40GW-45GW，加速情境每年可再增加 10GW，推估年發電量可達 1.5 兆度。離岸風力機的設置在 2021 年前，預計歐洲地區將成長三倍，中國大陸的產能也會快速擴大；推估離岸風力發電量將由 2016 年的 400 億度增加到 2020 年的 800 億度，而在加速情境下會超過 900 億度。另太陽光電在設備成本持續下降及發電效率提升情況下，非常有利於太陽光電的發展；MTRMR_2016 推估 2016 年與 2021 年太陽光電的年發電量約為 3,000 億度與 5,000 億度，並以中國大陸及 OECD

歐洲地區占比最大(2021 年中國大陸約占全球太陽光電與陸域風力發電量的 1/3)。而陸域風力與太陽光電共占中期再生能源裝置容量成長的 75% (太陽光電約成長 40%)，合計發電量占再生能源總發電量的 73% (不含水力發電)。

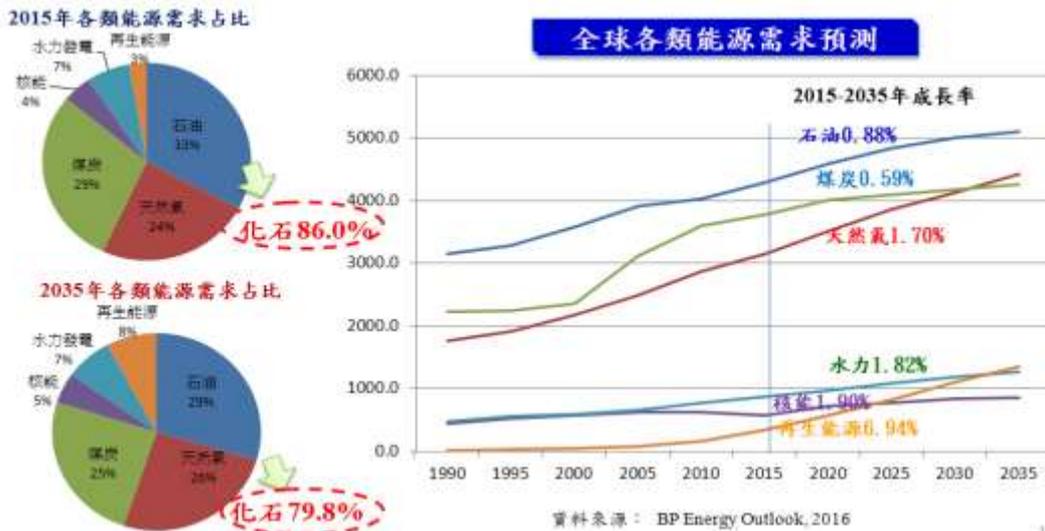
2015 年全球生質燃料發電量約 4,500 億度，MTRMR_2016 推估 2020 年生質能的年發電量可以增加到近 6,000 億度；主要成長地區將由 OECD 歐洲及美洲地區轉移到亞洲及巴西等地區。地熱發電裝置容量在 2012 年底為 11.4GW，年發電量不到 700 億度，其中占比最高的國家為冰島(占國家總電力需求 25%)；MTRMR_2016 推估到 2020 年，全球的地熱年發電量可以增加到 1,000 億度，並以亞洲地區及 OECD 美洲地區的占比較大。全球海洋能發電裝置容量在 2014 年為 0.53 GW，年發電量約 10 億度；推估 2020 年的年發電量可提升到 20 億度，並以 OECD 亞洲地區發展較快。

2015 年全球的水電發電量已超過 4 兆度(不含抽蓄水力)，約占全球總發電量 16% 以上(占全部再生能源發電量的 71%)；但中國大陸和巴西未來投入大型水電興建減少情況下，推估到 2020 年的水電年發電量將緩慢成長到 4.5 兆度；雖然如此，未來變動性再生能源占比大幅增加情況下，水電將可有效提供穩定電網的輔助作用。

關鍵字：再生能源、裝置容量、風力發電、太陽光電、生質能

一、前言

英國石油公司(BP)推估 2015-2035 年全球能源需求年均成長 1.41% [1]。能源需求仍以化石能源為主，但低碳能源的年成長率遠高於化石能源，例如風力與太陽能...等不包含水力之再生能源，推估年成長率達 6.94% (圖 1)。



資料來源: [1]; 工研院整理

圖 1、BP 推估 2015-2035 年全球能源需求

儘管 2014 年中期後的化石燃料價格相對較低，但各國政府的政策支持，以及再生能源技術成熟後大幅降低成本，未來再生能源的快速普及將是全球邁向低碳能源轉型關鍵。2015 年全球再生能源發電量即以最快的速度成長，且新增的裝置容量占全球新增電力裝置容量的一半以上[2]。國際能源總署(IEA)推估全球再生能源發電量占比，將由 2013 年的 5.1% 提升到 2020 年的 9.9%，2040 年甚至可達到 18.4% (不含水力發電 15.7%，如圖 2)[3]。而美國能源資訊局(EIA)亦推估，2040 年再生能源發電量達 18%[4]。



圖 2、IEA 與 EIA 推估 2040 年前全球各類別能源發電量

截至 2015 年底，全球再生能源累計裝置容量達 1,985GW，其中以水力發電裝置容量 1,209GW(占 61%)最多(如圖 3)。而近五年新增的再生能源裝置容量則以風力與太陽光電成長最快(累計裝置容量分別為 432GW 與 227GW；其中 2015 年風力增加 63GW，年成長 17%，太陽光電增加 47GW，年成長 26%)。其他再生能源之生質能、地熱能及海洋能的累計裝置容量分別為 104GW、13GW 及 500MW [7]。

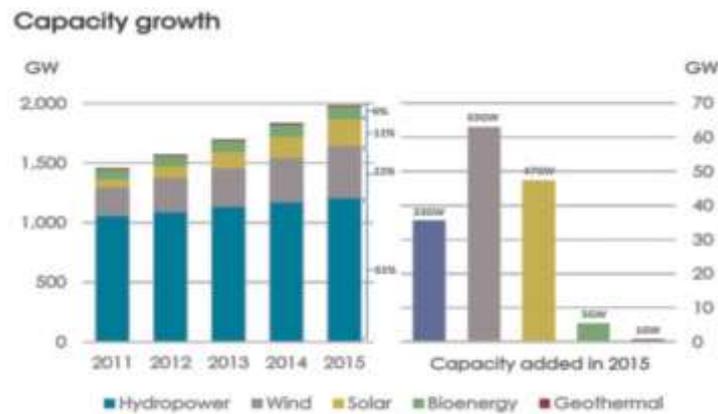


圖 3、近五年全球的再生能源成長趨勢[7]

二、2016 年-2021 年全球再生能源發展趨勢

IEA 中期再生能源市場報告(MTRMR_2016)，主要針對 2016-2021 年全球再生能源發展情形提出預估說明。由於 2015 年世界各國的能源政策多數明確地支持再生能源發展，所以 MTRMR_2016 推估的全球中期再生能源發展比 MTRMR_2015 樂觀，包括裝置容量增加了 13% (2021 年全球達 825GW)；而中國大陸仍是再生能源的關鍵成長者，美國的再生能源發展也已超過歐盟(圖 4)。另 2015-2021 年全球再生能源發電量成長接近 2/5，占全球總發電量比例將從 23% 提高到 28%(如圖 5)[2]。

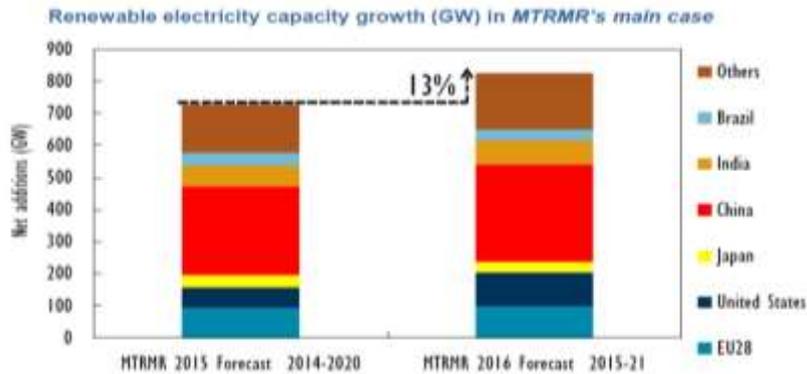


圖 4、NTRMR_2015 與 MTRMR_2016 預估全球各區再生能源發展情形[2]

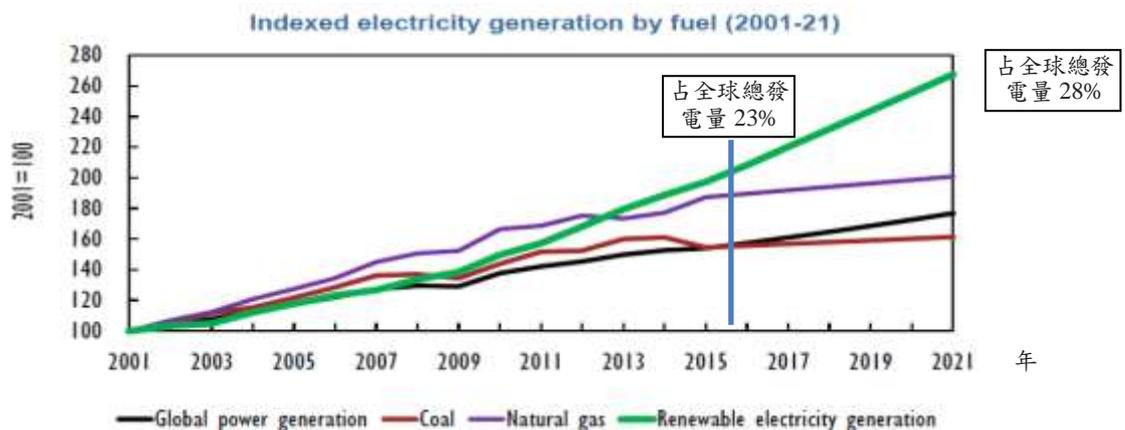


圖 5、2001 年~2021 年全球各類別能源發電成長情形[2]

2015-2021 年再生能源發電量成長占全球電力產量成長的 60%；但各地區的發展前景略有不同，例如新興國家除了推展再生能源外，亦配合化石能源的發展；而如歐盟、美國及日本等已開發國家新增的發電量則以再生能源為主，如圖 6 所示。

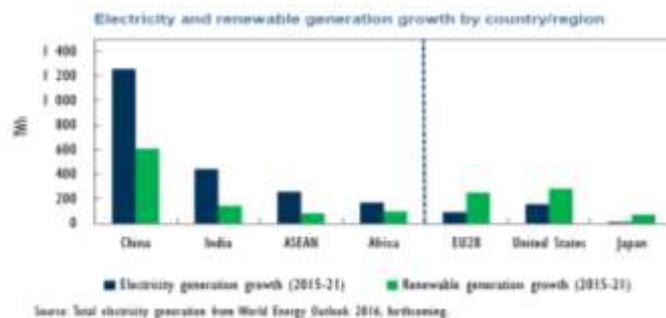


圖 6、MTRMR_2016 推估全球各地區/國家再生能源發電量成長情形[2]

為達到本世紀末全球平均溫度控制在較工業革命前升高 2°C 內的目標，且儘快實現溫室氣體排放在 2030 年達到尖峰，於是需要再加速推展再生能源應用，以達到各國在 2015 年底聯合國氣候變化綱要公約第 21 屆締約國大會(COP21)中提出國家自主貢獻(Nationally Determined Contributions, NDC)的目標；但重要關鍵仍需要減少各國能源政策的不確定性，以及克服融資和電網整合挑戰等問題。MTRMR_2016 提出再生能源裝置容量加速情境(Accelerated case)，就是希望能在 2016-2021 年間再加快全球再生能源的推展，即在 2021 年以前，全球的再生能源裝置容量每年能以大於 150GW 的速度成長(圖 7)。

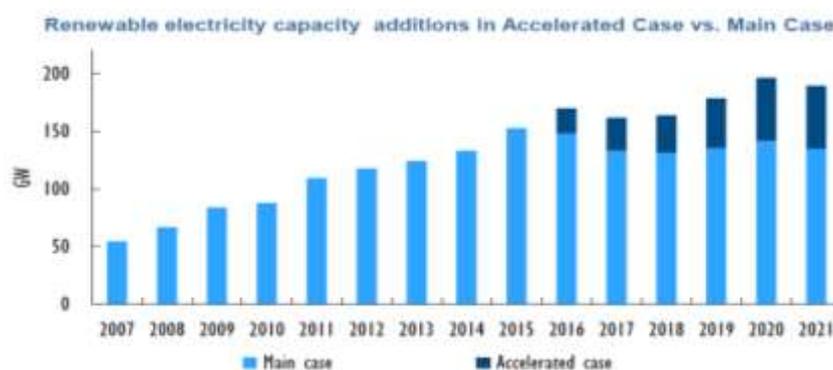
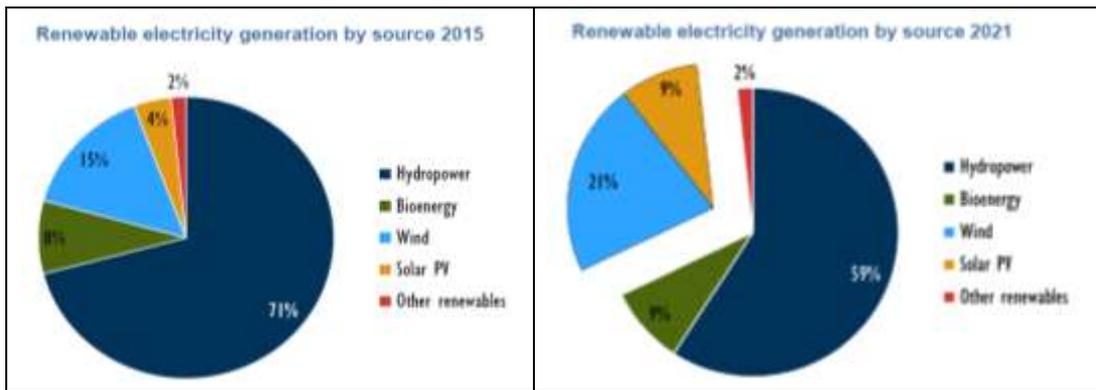


圖 7、MTRMR_2016 推估加速推廣中期再生能源裝置容量成長情形[2]

三、2016-2021 年各類別再生能源發展

MTRMR_2016 推估全球各地區再生能源發展情形如圖 8 所示。2015 年全球再生能源發電實際占比，水力發電 71%、生質能 8%、風力 15%、太陽光電 4%、其他 2%；推估到 2021 年水力發電降低至 59%、生質能 9%、風力與太陽光電分別提升到 21%與 9%、其他 2%，風力與太陽光電發電量合計增加 11%，以彌補水力發電占比的減少。而到 2021 年，風力與太陽光電幾乎占再生能源發電量的 73%(不含水力發電)；年總發電量推估將超過 7.6 兆度，約相當於 2015 年歐盟與美國發電量總合。



資料來源: [2]

圖 8、2015 年及 MTRMR_2016 推估 2021 年全球再生能源占比

(一)風能

IEA 2013 技術路線圖說明，因為風力發電成本逐漸降低，到 2050 年合計的風力發電量相對於全球總發電量占比，將由 2013 年的 2.6% 增加到 2050 年的 18%[5]。而 MTRMR_2016 推估到 2021 年，陸域風力發電成本可再下降 15%，且陸域風力機的裝設在主要情境(Main case)下，裝置容量年約增加 40GW-45GW，加速情境下每年可再增加 10GW(圖 9)，且以中國大陸的陸域風力機裝設貢獻量最大。另離岸風力機的裝設也大量增加，預計歐洲地區在 2021 年前將成長三倍，中國大陸的裝置量也會快速擴充；預估離岸風力發電量將由 2016 年的 400 億度增加到 2020 年約 800 億度，而在加速情境下的發電量，推估年發電量會超過 900 億度(圖 10)。

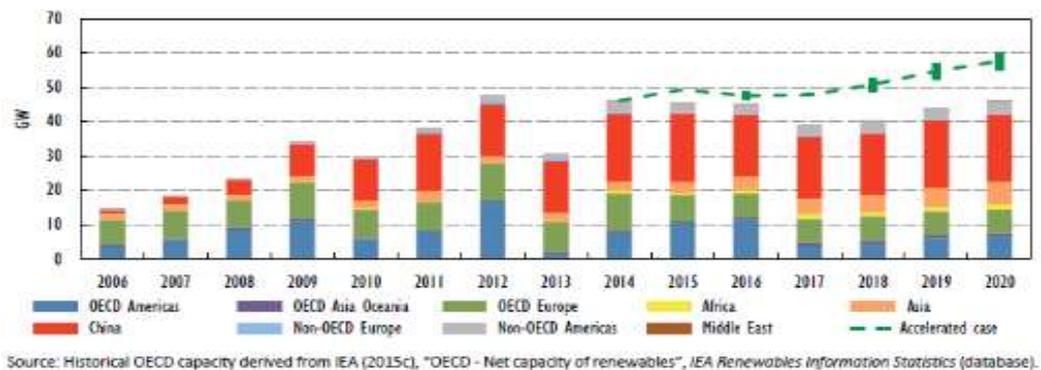
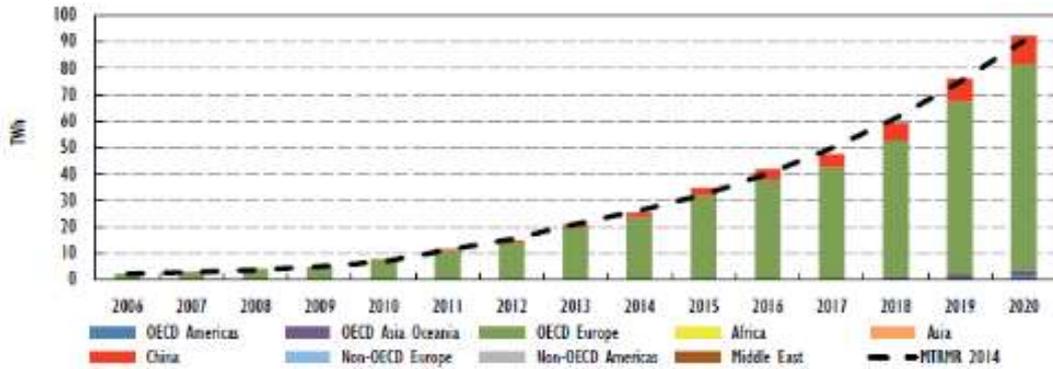


圖 9、MTRMR_2016 推估陸域風力機在主要情境與加速情境年增加情況

[2]



資料來源: [2,6]

圖 10、MTRMR_2016 推估 2016-2020 年離岸風機在不同地區年發電量 [2,6]

(二) 太陽能

依據國際太陽能技術路徑圖(ITRPV)研究報告，太陽光電製造技術仍遵循過往的學習曲線 21% 的降幅；即除了再生能源的設備資本不斷下降外，太陽光電單位安裝面積會逐漸縮小，周邊設施成本也隨之減少，加上發電效率的提升，所以未來太陽光電的發電成本仍呈現逐年下降趨勢[8,9]。最後可能趨於市電同價，甚至低於市電價格。MTRMR_2016 亦推估太陽光電的發電成本在 2016-2021 年間仍是持續下降[2]，如圖 11，且利用競爭性公開招標的方式可能導致成本下降的更快；甚至會低於化石能源發電成本，對於未來的太陽光電發展形成有利的條件。

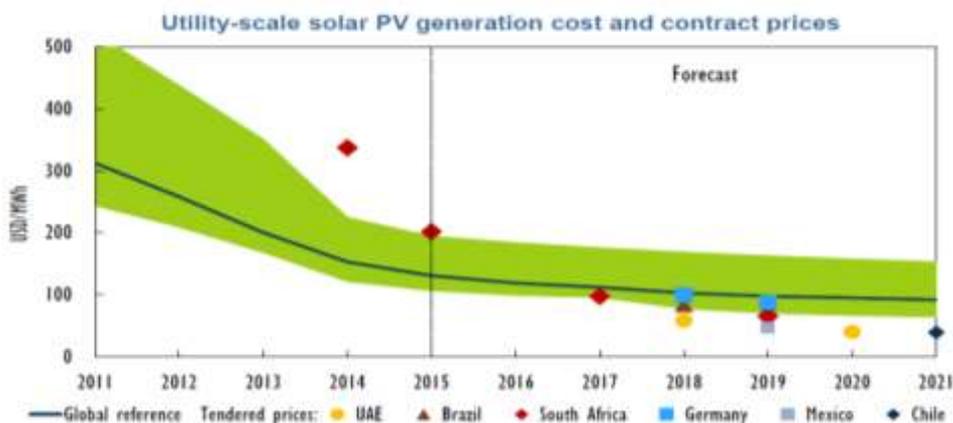


圖 11、MTRMR_2016 推估 2016-2021 年太陽光電的發電成本[2]

MTRMR_2016 推估 2016 年與 2021 年太陽光電的年發電量分別為 3,000 億度與 5,000 億度(圖 12)，並以中國大陸及經濟合作暨發展組織(OECD)歐洲地區占比最大，OECD 亞洲太平洋周圍國家次之。

陸域風力與太陽光電合計占中期再生能源裝置容量成長的 75% (太陽光電成長 40%)；且合計發電量占再生能源總發電量 73% (不含水力發電)。到 2021 年時，中國大陸約占全球太陽光電與陸域風力發電量的 1/3。但是中國大陸電網一體化仍將是中期再生能源發展的重要挑戰，雖然有政策的支持與預期的電力部門改革，但中國大陸的電力需求成長推估將減緩，加上能源效率的提高，未來中國大陸在大力推展再生能源發電時，將會面臨電力生產可能過剩的問題。

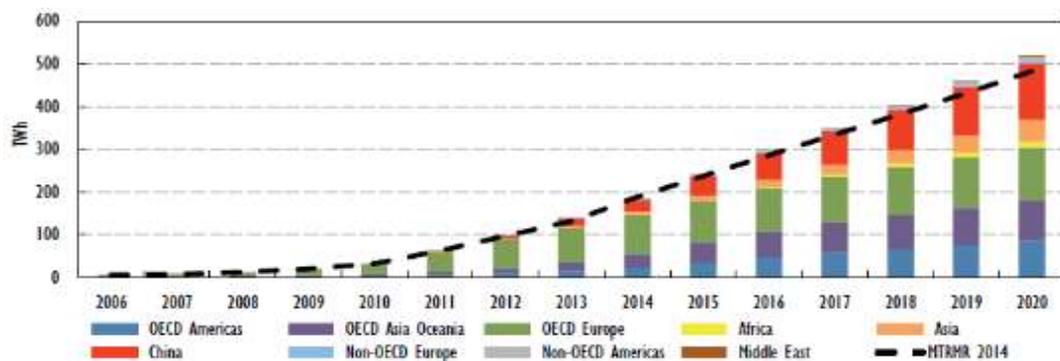


圖 12、MTRMR_2016 推估 2016-2020 年太陽光電在不同地區年發電量 [2,6]

(三) 生質能(Bioenergy)

2012 年全球的生質燃料發電量約 3,700 億度(占當年度全球總發電量 1.5%)，2015 年發電量約達 4,500 億度。MTRMR_2016 推估到 2020 年時，全球的生質能年發電量可以增加到約 6,000 億度；主要分布地區在 OECD 歐洲地區(應用煤生物質轉化技術)，其次為 OECD 美洲及中國大陸地區(圖 13)。推估未來的成長地區將轉移到亞洲及巴西(2021 年美國和巴西仍是全球最大的生質燃料生產國)，特別是中國大陸沼氣的發展深具潛力；而 OECD 歐洲及美洲地區的成長已明顯減緩(圖 14)。

IEA 曾預測未來生質能提供交通運輸燃料占比，將由 2011 年的 2% 提升到 2050 年的 27% [10]，而 2014 年的生質燃料已提供全球約 4% 的燃料使用。另 2014 年全球生質能發電裝置容量為 90.2GW，實際發電量已接近 4,200 億度 [2]。

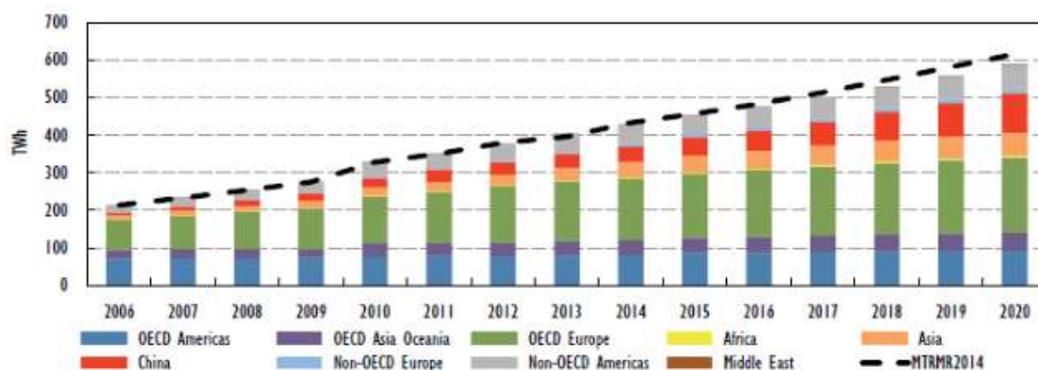


圖 13、MTRMR_2016 推估 2020 年前全球不同地區生質能年發電量 [2,6]

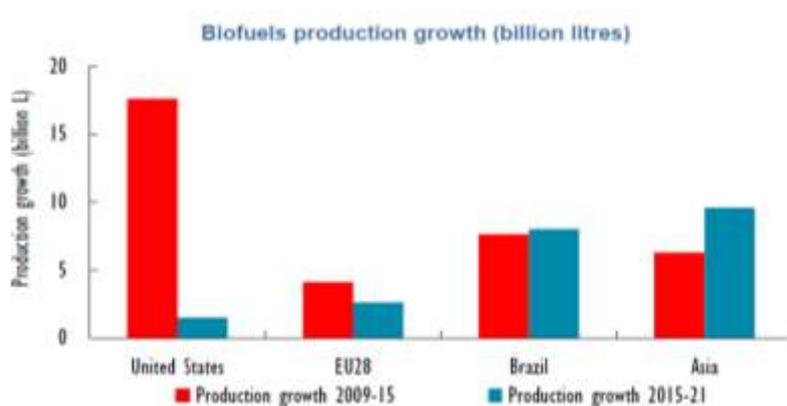


圖 14、MTRMR_2016 推估 2015-2021 年全球生質能發電成長趨勢 [2]

(四)地熱能(Geothermal energy)

國際上具有地熱能發電的國家並不多，到 2012 年底，全球地熱發電裝置容量 11.4GW，年發電量不到 700 億度；地熱發電占比最高的國家為冰島，占其國家總電力需求的 25%。MTRMR_2016 推估到 2020 年，全球的地熱年發電量可以增加到約 1,000 億度，並以亞洲地區及 OECD 美洲地區的地熱發電量較多(圖 15)。



圖 15、MTRMR_2016 推估 2020 年前全球不同地區地熱能年發電量 [2,6]

(五) 海洋能(Ocean power)

海洋能的發電來源，可歸類為潮汐能(tidal power)、潮汐流及洋流(tidal & marine currents)、波浪能(wave power)、溫度梯度(temperature gradients)及鹽度梯度(salinity gradients)等 5 種。主要發電原理為利用海水的流動來帶動發電機發電。IEA 曾在 2013 年中期再生能源市場報告，預估實驗性海洋能源技術將增加安裝量，到 2018 年約可提供全球 22 億度電力[11]。

潮汐能為在河口建造攔水壩、或以其他形式的建築，將潮汐流進河口或海灣的海水阻擋後，進而利用此被阻擋的海水進行發電。目前全球主要應用潮汐發電的國家是韓國自 2011 年運轉的 254MW Sihwa 大壩，以及法國自 1996 年就已運轉的 240 MW La Rance 大壩；其他尚有中國大陸、加拿大和俄羅斯投入小型壩的發電使用。另潮汐流或洋流為藉由海水的流動能，通過以模塊化系統來進行發電，目前許多設計理念仍在研究中，而領先達 MW 規模設計理念與陣列的設備安裝正在展示中，特別是英國的研發成果，此外美國的新英格蘭地區和加拿大的新斯科舍省也有不錯的研發成果。

波浪能的產生取決於海水上下振動，通常需要大量裝置發電設備進行發電，工程與環境上的限制較多。溫度梯度為藉由海面和深水之間的溫度梯度(溫度差)，利用不同的海洋熱能轉換(OTEC)過程來發

電；鹽度梯度為藉由河口處的淡水與鹽水混合，利用鹽度梯度相關的能量，使用壓力延遲的反滲透方法和相關的轉化技術來發電。目前涉及 OTEC 項目僅限於相對小規模的應用，而鹽度梯度發電技術仍在研發和試驗階段。

截至 2014 年，全球海洋能發電裝置容量 0.53 GW，年發電量約 10 億度；MTRMR_2016 推估到 2020 年的海洋能年發電量，約可提升到 20 億度，並以 OECD 亞洲地區發展較快(圖 16)。



圖 16、MTRMR_2016 推估 2020 年前全球不同地區海洋能年發電量 [2,6]

(六)水力(Hydropower)

水力發電是成熟和具有成本競爭力的再生能源。2015 年全球電力發電組合中，水力發電量(不含抽蓄水力)約占全球再生能源發電量 71%(全球發電量 16% 以上)。而未來幾十年的變動性再生能源(主要為風力和太陽光電)占比大幅增加情況下，水電將有助於穩定電力需求和供應作用。

水力的應用可提供洪水和乾旱控制、供水、灌溉及水力發電等。其中水電對於能源組合脫碳的貢獻，包括發電過程乾淨不會造成環境汙染，且具有促進其他再生能源對電網穩定的貢獻。依據 IEA 2012 年水電技術路線圖報告指出[12]，新興經濟體可能在 2050 年前，水電產量將成長一倍，每年可減少約 30 億噸 CO₂ 排放。

全球已有 159 個國家投入水力發電行業，2015 年的年發電量超過 4 兆度；而 MTRMR_2016 推估全球的水電成長將減緩，主要因素為中國大陸和巴西投入大型水壩建設減少，而部份發展中國家亦延緩推出，推估到 2020 年，全球的水電年發電量將緩慢成長到約 4.5 兆度(圖 17)。

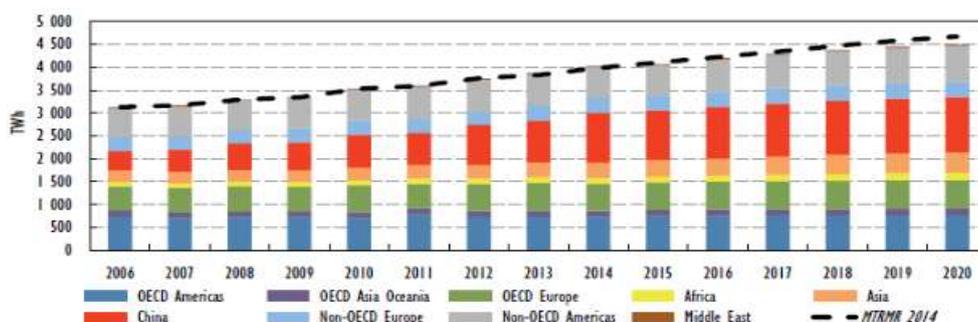


圖 17、MTRMR_2016 推估 2020 年以前全球不同地區水電年發電量 [2,6]

再生能源利用在所有部門的占比都有所提升，但主要仍為提供發電使用，相對於熱能與交通運輸方面的成長較少(圖 18)。而未來五年內須面臨較低的化石燃料價格衝擊[2]，所以再生能源在熱能和運輸方面的應用將持續面臨挑戰。因此，各國的再生能源部署和政策，將會牽動該國再生能源的發展，特別是風能和太陽光電發電成本的持續下降，以及能源效率提升及再生能源發展之間的相互關係，將變得至關重要。

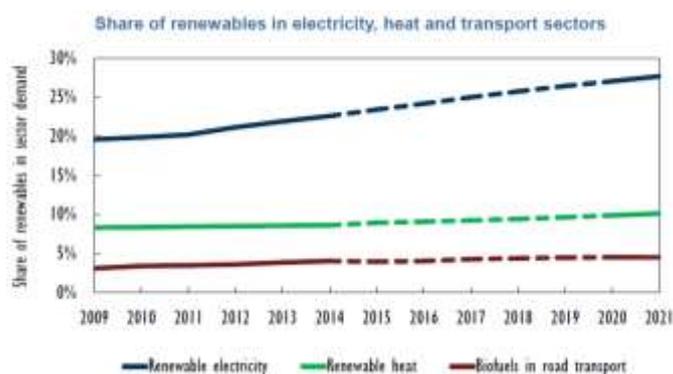


圖 18、MTRMR_2016 推估再生能源於發電、熱能和運輸之發展趨勢 [2]

四、結論

由於各國政府明確地支持再生能源發展，加上未來發電成本降低和全球對地球減緩升溫的努力，MTRMR_2016 推估全球中期再生能源發展較 MTRMR_2015 樂觀，包括裝置容量增加了 13%，以及到 2021 年裝置容量達 825GW。另 2015-2021 年全球再生能源發電量成長近 2/5(全球電力生產成長量的 60%)，占全球總發電量比例將從 23% 提高到 28%。

2015 年全球再生能源發電占比，水力發電 71%、生質能 8%、風力 15%、太陽光電 4%、其他 2%；MTRMR_2016 推估到 2021 年，水力發電降低至 59%、風力與太陽光電分別提升到 21%與 9%，合計約占再生能源發電量的 73% (不含水力發電)；總發電量將超過 7.6 兆度，約等於 2015 年的歐盟與美國的發電量總合。

2020 年前全球的陸域風力機裝設，在主要情境下裝置容量每年約增加 40GW-45GW，加速情境下每年可再增加約 10GW，推估年發電量可達 1.5 兆度。另離岸風力機的裝置量也大為增加，預計歐洲地區在 2021 年前裝置容量將成長三倍，而中國大陸也會快速擴充，離岸風力發電量將由 2016 年的 400 億度增加到 2020 年約 800 億度，在加速情境下的年發電量推估會超過 900 億度。

未來太陽光電的投資，在設備成本持續下降及發電效率提升情況下，發電成本仍將呈現下降趨勢，甚至可能會低於化石能源發電成本，對於太陽光電大量擴展形成有利條件。MTRMR_2016 推估 2016 年與 2021 年太陽光電的年發電量分別約為 3,000 億度與 5,000 億度，並以中國大陸及 OECD 歐洲地區占比最大，OECD 亞洲太平洋周圍國家次之。

陸域風力與太陽光電共占全球中期再生能源裝置容量成長的 75% (太陽光電成長 40%)；兩者合計的發電量占再生能源總發電量的 73% (不含水力發電)。而到 2021 年中國大陸的太陽光電與陸域風力

的合計占全球發電量的1/3，但受到中國大陸電力需求成長可能減緩，加上能源效率提升及全國電網一體化有待解決，未來中國大陸可能會出現電力產能過剩的問題。

2014年生質燃料約提供全球4%的交通燃料，而當年度的發電裝置容量為90.2GW，實際發電量接近4,200億度，2015年全球生質燃料發電量約4,500億度。MTRMR_2016推估2020年生質燃料的年發電量可以增加到接近6,000億度；主要成長地區將由OECD歐洲及美洲地區轉移到亞洲及巴西等地區，特別是中國大陸沼氣能源的推展。

2012年底全球地熱發電裝置容量11.4GW，年發電量不到700億度，占比最高的國家為冰島(占國家總電力需求25%)。而MTRMR_2016推估到2020年，全球的地熱年發電量可以增加到1,000億度，並以亞洲地區及OECD美洲地區的地熱發電量占比較大。

截至2014年，全球海洋能發電裝置容量0.53GW，年發電量約10億度；MTRMR_2016推估到2020年的海洋能年發電量約可提升到20億度，並以OECD亞洲地區發展較快。

2015年國際上已有159個國家投入水力發電行業；而在全球的發電組合中，水力發電量已超過4兆度(不含抽蓄水力)，約占全球再生能源發電量的71%(占全球總發電量16%以上)。MTRMR_2016推估中期的水力發電成長減緩，主要為中國大陸和巴西投入大型水電興建減少，部份發展中國家亦延緩推出，推估到2020年全球的水力年發電量將緩慢成長到約4.5兆度。儘管如此，在未來變動性再生能源(主要是風力和太陽光電)占比大幅增加情況下，水電將有助於電網電力需求和供應的穩定作用。

再生能源主要是提供發電使用，相對於熱能與交通運輸方面的成長較少。而推估未來五年內相對較低的化石燃料價格，各國的再生能源部署和政策將會牽動該國再生能源的發展；特別是風能和太陽光電發電成本的持續下降、能源效率提升、適當的市場規則和法規、以及

投資基金的取得等，對於再生能源的發展將變得極為重要。

參考文獻

- [1] BP Energy Outlook, 2016
- [2] Medium-Term Renewable Energy Market Report 2016,
<https://www.iea.org/topics/renewables/>
- [3] IEA World Energy Outlook, 2015
- [4] International Energy Outlook 2016, EIA, May 11, 2016
- [5] IEA Technology Roadmap 2013, IEA
- [6] *Medium-Term Renewable Energy Market Report 2015*, OECD/IEA, Paris.
- [7] Renewable capacity highlights,
http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_stats_highlights_2016.pdf
- [8] 21% solar PV learning curve to continue, report projects.
<https://cleantechnica.com/2016/03/26/21-solar-pv-learning-curve-to-continue-report-projects/>
- [9] 7th ITRPV: PV tracks 21 percent learning curve. 200GW cumulative landmark passed in 2015.
http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/7th-itrpv--pv-tracks-21-percent-learning-curve--200-gw-cumulative-landmark-passed-in-2015_100023778/#axzz439YkQUGZ
- [10] IEA Roadmap Biofuels for Transport, IEA, 2011
- [11] *Medium-Term Renewable Energy Market Report 2013*, OECD/IEA, Paris.
- [12] The 2012 IEA Technology Roadmap for Hydropower, IEA, 2012