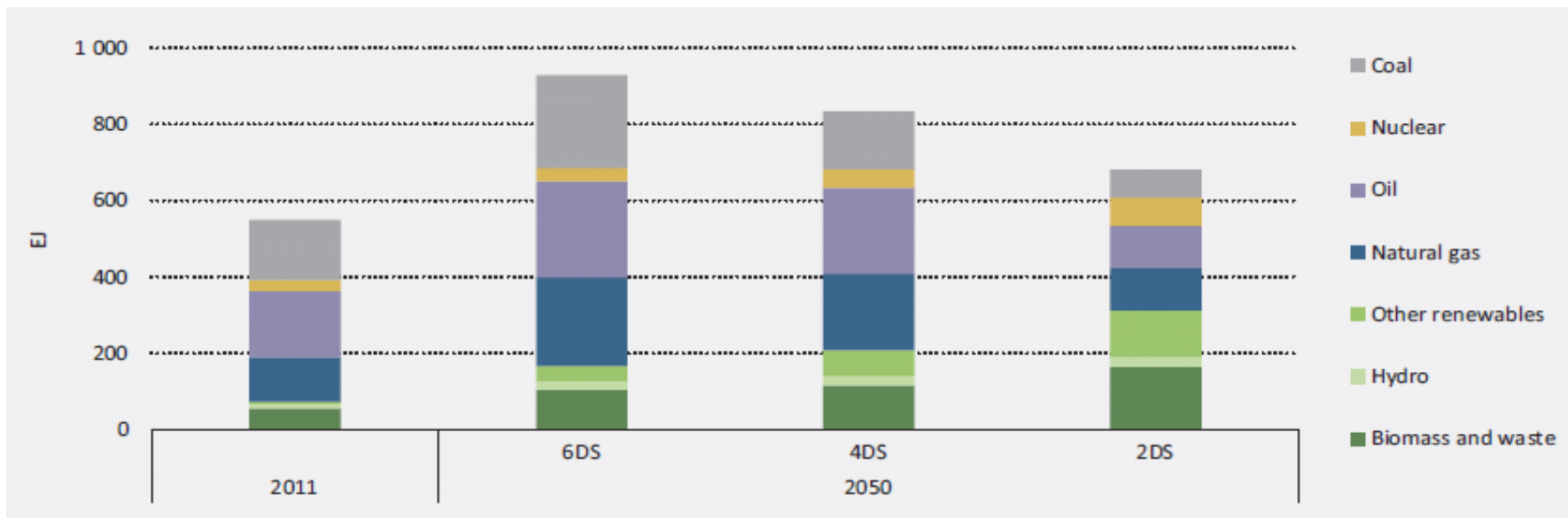


一、全球未來能源發展願景及趨勢

氣候變遷對全球環境影響日益加劇，近年來世界各國受極端天候及氣候災害事件衝擊，熱浪、嚴寒、暴雨、暴雪、洪水或乾旱等災害規模不斷擴大、發生頻率也急遽攀升，各國受影響人數及蒙受的經濟損失亦非常可觀，特別是開發中國家。根據聯合國政府間氣候變化專門委員會(IPCC) (IPCC, 2007)的評估，1970~2008年間，自然災害所導致的死亡有95%發生在開發中國家；2001~2006年間，中等收入國家蒙受的氣候災害損失占GDP達1%，至2050年可能高達某些高氣候風險國家GDP的10%。特別是台灣地處於太平洋西側的地震帶及西北太平洋地區颱風侵襲的主要路徑，屬於極易受到天然災害影響的區位。世界銀行發布之全球風險分析報告(World Bank, 2005)指出，台灣同時暴露於三項以上天然災害之土地面積與面臨災害威脅之人口為73%，而暴露於兩項以上天然災害之土地面積與面臨災害威脅之人口為99%，屬於全世界災害高風險的區域。因此若要建構一個永續發展的未來願景，除了推動完善的氣候變遷調適(adaptation)策略之外，如何透過降低溫室氣體排放(mitigation)、降低能源需求、擴大低碳能源使用等策略來控制碳排放以減緩暖化衝擊將會是關鍵性的課題。

近年來全球能源版圖正逐漸發生變化，日本福島核災之後各國核能政策逐漸轉變、全球風力發電和太陽能技術被廣泛利用、美國頁岩氣及頁岩油的開發與產量急遽攀升等趨勢正在重新建構全球能源版圖。根據國際能源總署(International Energy Agency, IEA)預測的新政策情境(New Policies Scenario)，到2035年全球的能源需求仍將較目前增加1/3以上，其中60%的需求成長來自中國、印度和中東等新興國家，2020年之後印度將可能取代中國成為主要的能源需求成長引擎 (IEA, 2013a)。過去美國是全球最大能源消費國，其中大約有20%的能源需透過進口來滿足需求。但在開發輕質緻密油藏(Light Tight Oil, LTO)和頁岩氣(shale gas)等新資源的技術推動下，這種情況在十年內就有可能發生根本性轉變。IEA預測2015年美國將超越俄羅斯成為全球最大天然氣生產國，到2020年左右將超越沙烏地阿拉伯成為全球最大原油生產國，到2035年美國不但將實現能源自給自足，甚至還會成為天然氣的淨出口國。低燃料成本不僅正刺激著美國經濟復甦，也改變了北美地區在全球能源貿易中的角色，世界能源貿易重心將從大西洋盆地向亞太地區轉移，促使從中東到亞洲各市場的戰略通道安全成為各國政府關注焦點，化石燃料市場價格長期變化趨勢亦將影響再生能源及新能源技術的成本競爭力。

雖然OECD國家能源供應由石油、煤炭等化石燃料逐漸轉向天然氣和再生能源等低碳能源，但IEA預測到2050年，不論是依照現況發展的6DS情境(代表全球升溫6度)、各國依其意願採取減排及提升能源效率措施的4DS情境、或可為全球帶來永續能源系統願景的2DS情境，將來化石燃料依然主導全球能源供應結構(見圖1)，且值得注意的是為達積極的4DS和2DS減排情境目標，核能的占比必須顯著提升。然而，實際上化石燃料的主導地位乃透過對其高額的消費補貼來支撐，2012年全球GDP達83兆美金，但全球對消費化石燃料的補貼已高達5,540億美金，比對再生能源的補貼高近6倍，短期內這樣的情況不易改善。若要達成未來永續能源願景的目標，透過推動積極的政策措施來平衡能源、經濟及環境的需求，各國決策者必須審慎思考如何系統性整合多元能源來源、為潔淨能源建構公平的競爭環境、加速能源創新與公共研究開發與示範、有效利用低碳能源來源並釋放能源效率的潛能，來促使能源系統朝向低碳及高效率轉型，其中目標明確的政策推動及技術發展扮演不可或缺的角色。



[
←1/a>]

註：2DS代表有80%的機會將長期全球氣溫升高控制在2°C的技術方案和政策途徑，到2035年其排放軌跡和IEA在World Energy Outlook中提出的450情境是一致的。根據IPCC第四次評估報告指出，2°C是人類社會所能忍受的最高升溫限度，否將導致生態機制失去控制

圖1、在不同升溫情境之下之發電燃料結構(Fuel mix)
l

資料來源：IEA (2014), Energy Technology Perspectives 2014

在部門別減碳貢獻及技術選項方面，2012年全球CO₂ 排放超過300億噸，根據IEA的預測(見圖2)，若到2050年期望將CO₂排放從近600億噸(若未導入減碳措施，6DS情境預測的排放量)減少至150億噸(2DS情境)，須在各部門積極推動並部署各種節能減碳的技術組合方能達成。其中各部門的減碳貢獻比例預估為發電部門占41%、運輸部門19%、工業部門19%、建築物占13%、其他轉換占8%；各種能源技術對減碳貢獻之占比分別為提升終端能源使用(燃料及電力)效率占33%、再生能源占34%、CCS (二氧化碳捕捉與封存)占14%、終端能源使用燃料轉換占10%、核能占7%。由此可見在技術選項當中提高能源效率具有重要性，相對於再生能源技術選項而言，提高能效整體投入的成本較低、效益較高，且可降低工業成本、減輕能源價格對家庭預算的影響，同時降低進口能源支出的資金壓力。雖然各國積極推動提高能源效率的措施，但根據IEA評估，能源效率的潛能有2/3尚待開發，但前提是須要採取具體行動消除影響能效投資的各種障礙，包括逐步取消對化石燃料消費的補貼，以提高使用高效能產品及製程技術的誘因。

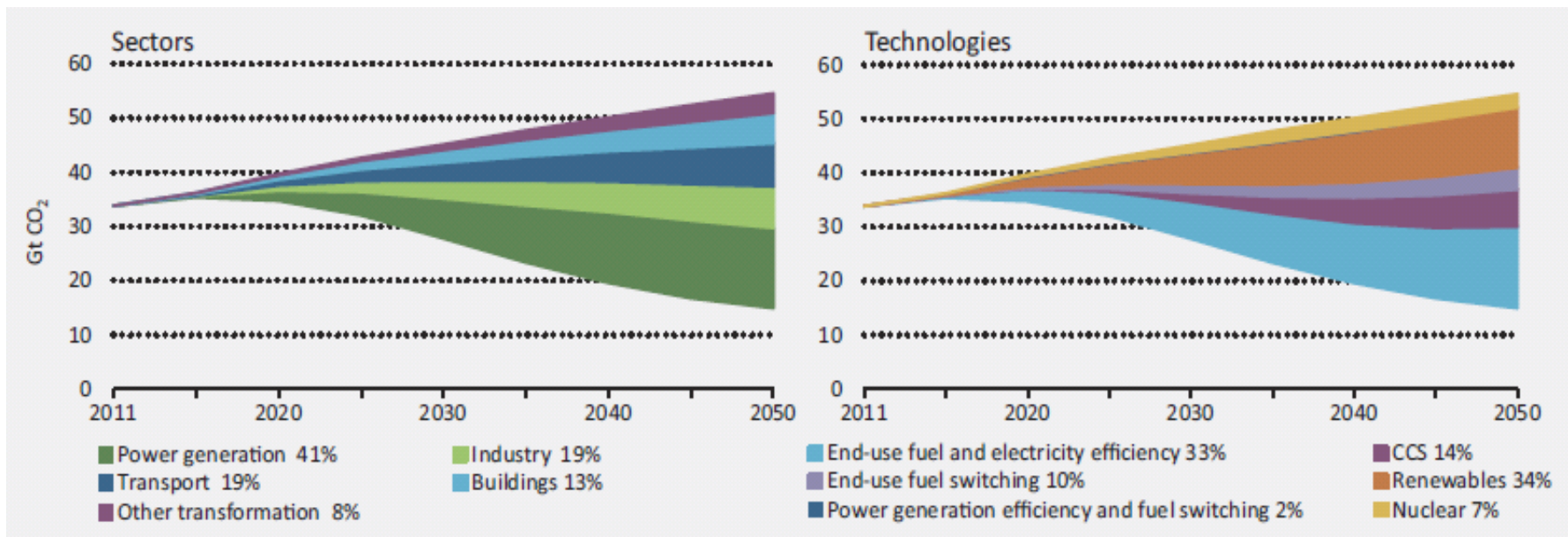


圖2、達到溫升兩度情境(2DS)目標下各部門及各技術項之貢獻程度

資料來源：IEA (2014), Energy Technology Perspectives 2014

全球的減碳邊際成本將隨時間的推延而逐漸升高，若能提早導入這些低碳能源技術，可望透過學習過程與規模擴大在未來達到成本效益(cost-effective)；而技術是否能夠成功導入與發展，除了成本因素之外，環境影響與社會民眾接受度亦為主要的挑戰因素，例如生質燃料的料源取得必須考慮與土地糧食的競爭關係，及擴張核能發電必須仔細評估公眾接受度及對環境的衝擊等。綜觀目前全球潔淨能源技術的發展進程，具有節能減排潛力的技術選項中，大部分都尚未達到向低碳能源系統推進所需達到的推廣目標。根據REN21的統計，即使全球各國挹注大筆資金積極發展再生能源，中國也在多項再生能源新增裝置量居於全球首位，但在2012年全球能源消費結構中，化石燃料仍提供近八成的能源消費量，多年來累積的再生能源裝置僅能提供不到兩成的能源需求(如圖3) (REN21, 2014)，但各國政府為保持再生能源的市場競爭力，2012年投入的再生能源補貼已達1,000億美金，預計2035年將擴大到2,200億美金，再加上非傳統天然氣、非傳統石油、輕質緻密油藏和超深海油田等新資源的開發及進入市場，更為再生能源的未來發展帶來不小的變數。

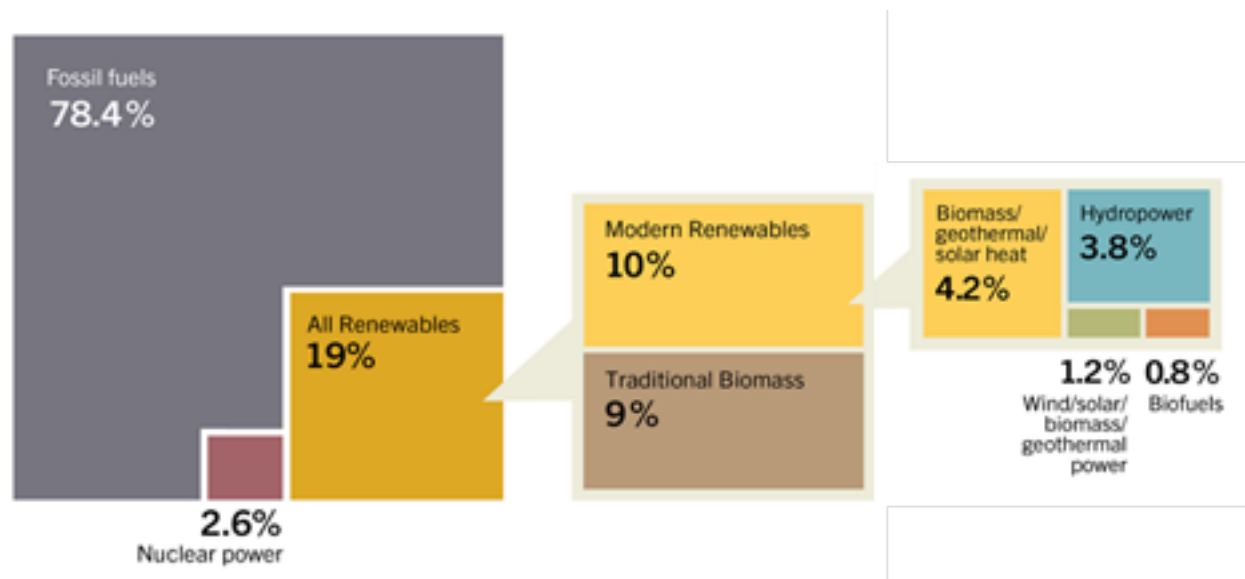


圖3、2012年全球能源消費結構

資料來源: REN21(2014), Renewables 2014 Global Status Report

在IEA發表的Energy Technology Perspectives 2014 (IEA, 2014)中指出，發展較成熟的水力發電、生質能、陸基風力發電和太陽光電是當前發展最蓬勃的技術，其他技術如二氧化碳捕捉和封存(CCS)、離岸風電和聚熱式太陽能發電(CSP)進展相對緩慢，特別是能源效率技術雖然減碳的潛能很高，但發展緩慢令人擔憂，未來十年擴大發展與部署這些能源技術至關重要。未來的能源系統將須整合多元化的能源來源，並提升各種能源的轉換效率，雖然複雜度(complexity)將愈來愈高，但藉此得以更有效率地利用珍貴的能源資源，也預期了系統性思維的技術推展架構有助於優化跨業整合。

二、台灣能源發展現況及面臨的挑戰

台灣為自產能源匱乏的海島型國家，將近98%的能源均仰賴進口，近年來每年進口能源資金總額占GDP的13~15%，平均每人負擔的能源進口值亦已達8.8萬元/人年。細觀國內能源供給結構及各部門別的能源消費情況(見圖4及圖5)，我國能源供給快速成長，過去20年來年平均成長率約3.84%，至2013年已達14,314萬公秉油當量，其中近九成的能源供給來自石油、煤炭及天然氣等化石燃料；以能源消費結構而言，近五成的能源為工業部門及能源部門所用，其次為運輸部門、住宅部門及服務業部門各占約10%。化石燃料密集的能源供給結構使台灣的CO₂排放量節節攀升，根據IEA統計，2011年台灣CO₂總排放量達到2.65億公噸，占全球排放量0.84%，每人的平均排放量則達到11.31噸/人，略低於韓國(11.81噸/人)，遠高於全球平均(4.5噸/人)(IEA, 2013b)。

- 太陽熱能 Solar Thermal
- 太陽光電及風力發電 Solar Photovoltaic and Wind Power
- 核能發電 Nuclear Power
- 慣常水力發電 Conventional Hydro Power
- 生質能及廢棄物 Biomass and Waste
- 天然氣（含LNG） Natural Gas (LNG included)
- 原油及石油產品 Crude Oil & Petrol. Products
- 煤及煤產品 Coal & Coal Products

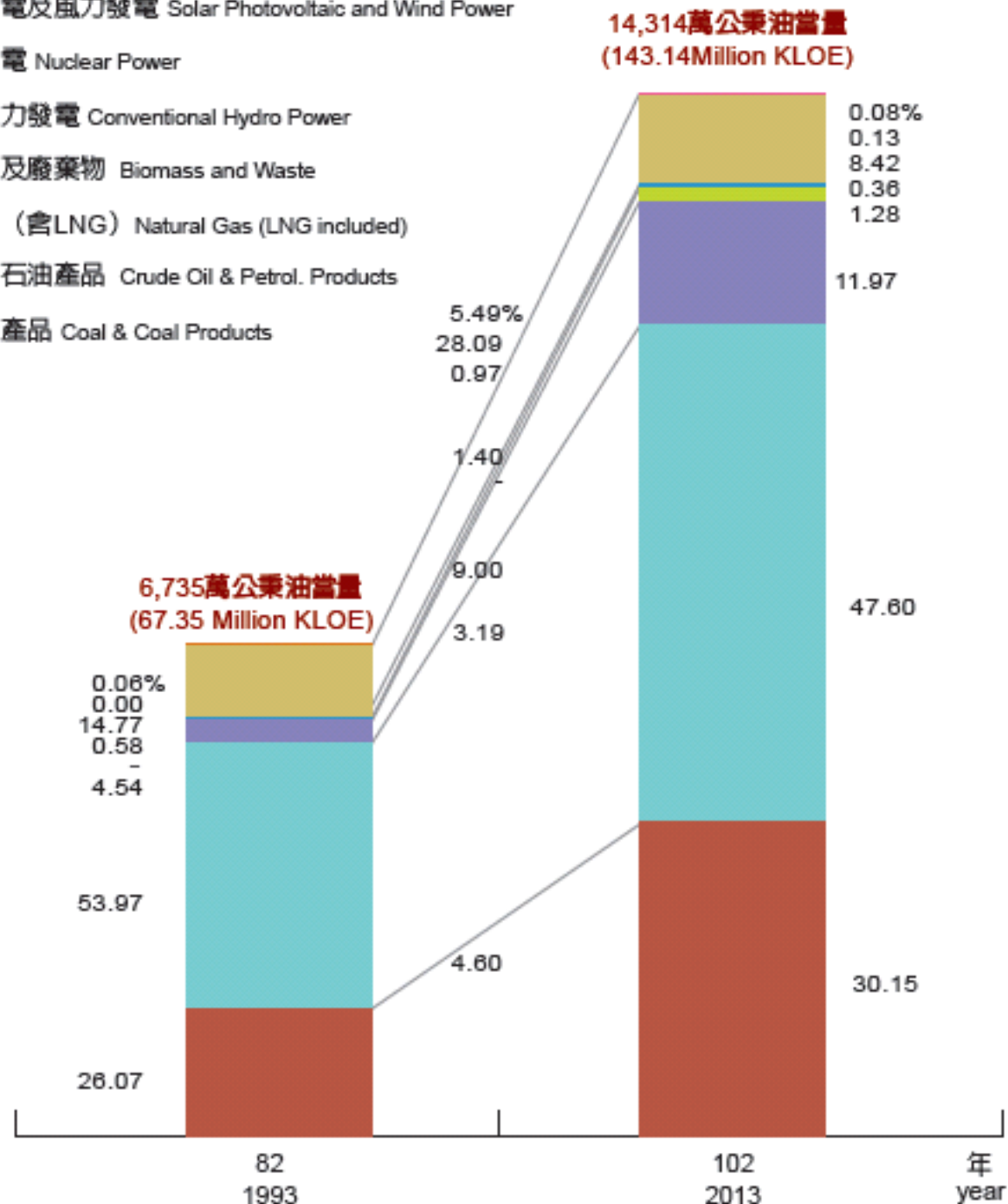


圖4、1993及2013年台灣能源供給結構(依能源別)

資料來源：經濟部能源局(2013)，中華民國102年能源統計手冊

■ 非能源消費 Non-Energy Use

■ 住宅部門 Residential

■ 服務業部門 Services

■ 農業部門 Agricultural

■ 運輸部門 Transportation

■ 工業部門 Industrial

■ 能源部門自用 Eenergy Sector Own Use

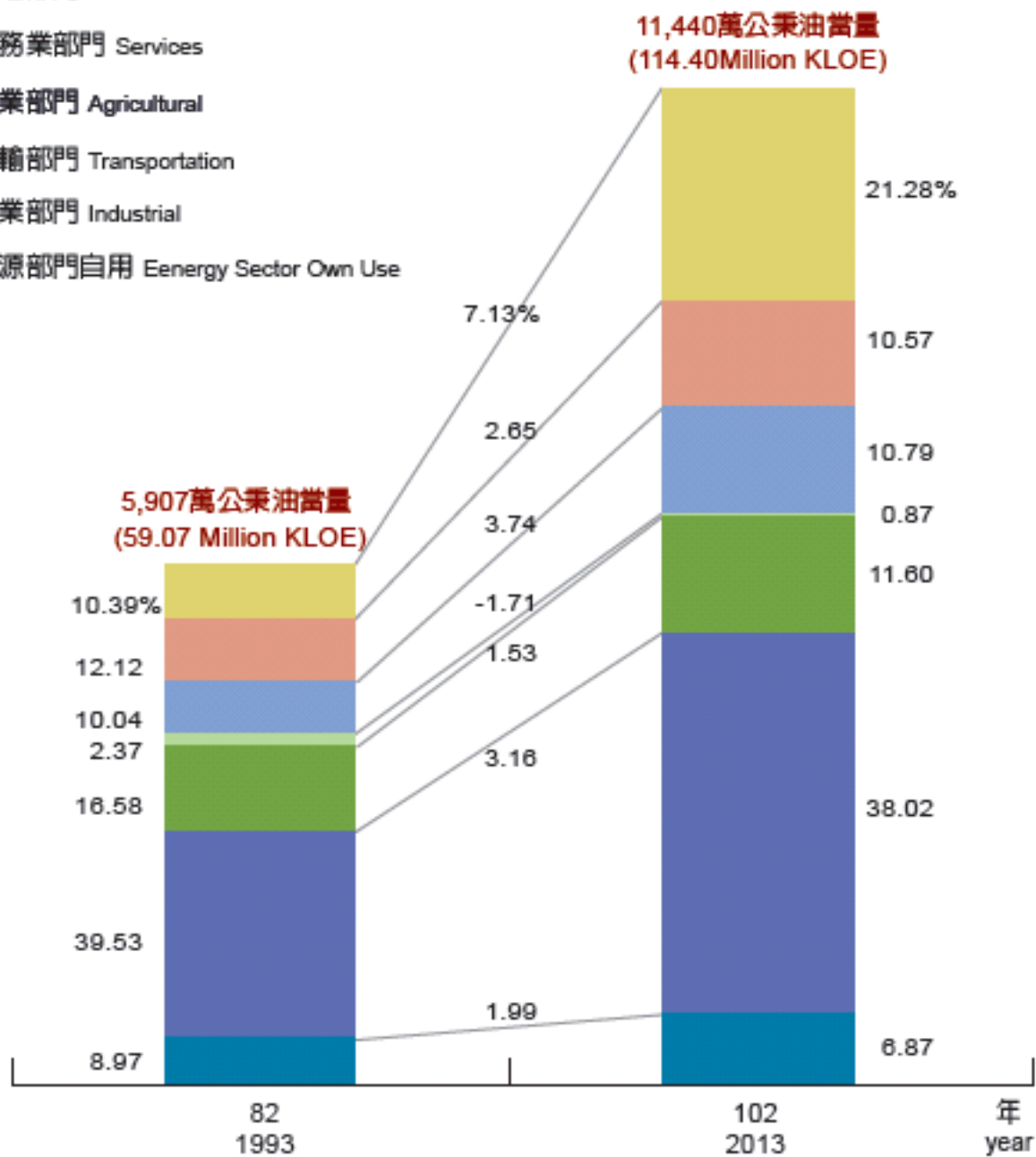


圖5、1993及2013年台灣能源消費結構(依部門別)

資料來源：經濟部能源局(2013)，中華民國102年能源統計手冊

進一步分析國內電力供需結構，2013年化石燃料發電占整體發電量71.8%（燃煤發電38.4%、燃氣發電31.1%，燃油發電2.3%），核能則提供了18.8%的發電量，再生能源僅提供3.4%的電力，水力發電2.5%（台灣電力公司，2014a）。2013年國內尖峰負載達33.96 GW，創歷年來新高，且有持續攀升的趨勢。供電配比方面，核能及燃煤火力發電由於具有可長時間穩定運轉及發電成本較低的特性，提供占整體負載約五成的基載電力；燃油及燃氣汽力機組、複循環機組等則具可供調度特性，可配合每日負載進行升載/降載及併聯/解聯，提供中載電力；抽蓄水力、氣渦輪機及水庫式電力等則需快速起停，提供尖峰負載隨時滿足尖峰用電需求，而風力、太陽光電及川流電力等再生能源由於受到天候、季節、日夜的影響，發電不穩定且無法配合調度，屬於間歇性能源，若欲將此類再生能源作為基載電源，則必須投資興建相對發電量的火力發電廠及儲能設施，目前國內再生能源尚無此配套作法（台灣電力公司，2014b）。就電力需求面而言，2013年國內電力消費達2,451億度，過去40年平均成長率為4.12%，其中能源及工業部門占61.41%，服務業占19.17%，住宅部門占17.78%，運輸部門占0.52%。我國產品外銷占GDP的七成，工業部門為電力消費的主要部門，因此穩定的電力供應及合理且具競爭力的電價為經濟發展的重要支柱。

綜上所述，我國未來能源發展面臨多重挑戰，包括：

一、我國能源供應高度仰賴化石燃料進口，能源供應短缺或中斷將危及國家安全，但新興國家競逐全球能源，能源價格的波動及攀升對國內經濟產生衝擊且影響能源供應安全。

台灣屬於獨立的孤島型電網系統，且電網為集中單向式供電系統，電力必須即發即用無法大量儲存，尖峰負載及間歇性能源均須透過備載容量自行支應，緊急時無法由鄰近國家購電輸入支援。

二、化石燃料密集型的供電結構導致高碳排放，且台灣處於天然災害的高風險區域，能源設施易因地震、颱風、水災等災害因素必須承擔更高的風險，環境災害脆弱度及風險使各項能源技術發展更需重視生態及環境的保護。

三、商品出口為驅動我國經濟發展重要的動能，我國須遵守國際溫室氣體的管制規範以維持產品競爭力，並善盡世界公民職責。

為面對這些挑戰，再加上國際能源情勢動盪，國內能源及電力需求逐年成長，CO₂排放量也隨之節節高升的趨勢，為使能源政策及能源科技發展有共通性之推動依據及發展目標，行政院於2008年6月核定經濟部研提之「永續能源政策綱領」（經濟部能源局，2008），揭櫫永續能源發展應兼顧「能源安全」、「經濟發展」與「環境保護」三贏，永續能源政策的基本原則將建構「高效率」、「高價值」、「低排放」及「低依賴」二高二低的能源消費型態與能源供應系統，綱領中以促進能源多元化，提高低碳能源比重為策略，並將核能作為無碳能源的選項。

行政院奉總統指示於2010年成立「行政院節能減碳推動會」，著手整合各部會節能減碳相關計畫，以達成永續能源政策綱領所揭櫫之政策目標，其提出之「國家節能減碳總計畫」（經濟部能源局，2010）訂定國家節能減碳目標如下，為目前國內節能及減碳兩面向主要依循的量化指標。

1. 節能目標：未來8年每年提高能源效率2%以上，使能源密集度於2015年較2005年下降20%以上；並藉由技術突破及配套措施，2025年下降50%以上。

2. 減碳目標：全國二氧化碳排放減量，於2020年回到2005年排放量，於2025年回到2000年排放量。

2011年3月福島核災事件之後，政府全面檢討能源政策，於2011年11月總統公布「新能源政策」，以「確保核安、穩健減核、打造綠能低碳環境、

逐步邁向非核家園」作為總體能源發展願景與推動主軸，且在確保不限電、維持合理電價、達成國際減碳承諾等3大原則下，積極實踐各項節能減碳與穩定電力供應兩大配套措施，並依據新能源政策研擬節能減碳措施重點推動項目共43項，作法包括：核電方面全面進行核安總體檢，既有核電廠不延役，核四在確保安全的前提下才進行商轉；再生能源方面擴大再生能源推廣目標，推動「千架海陸風力機」計畫及「陽光屋頂百萬座」計畫；電力方面建構低碳高效率的智慧電網系統，促進天然氣合理使用並保障供電安全。就台灣未來是否保留核能選項的後續政策走向而言，2013年2月行政院長宣布核四安檢完成之後，核四商轉與否由「核四公投」決定；但為回應社會反核聲浪，2014年4月行政院宣布核四封存/停工，商轉與否由公投決定，責成經濟部召開全國能源會議，儘快決定因應核四延宕的能源供給規劃，找出兼顧穩定供電及環保的方案。為維持能源供需的平衡與穩定，確保能源安全與滿足民生基本需求，並兼顧環境保護與促進經濟發展，達成永續經營的目標，經濟部能源局於2012年10月依據「能源管理法」第1條第2項規定訂定能源發展綱領(經濟部能源局，2012)，定位為國家能源發展之上位綱要原則。其中揭櫫能源發展願景為建構安全穩定、效率運用、潔淨環境之能源供需系統，營造有助節能減碳之發展環境，以達成國家節能減碳目標，實現臺灣永續能源發展。為達成上述願景，訂立「安全」、「效率」、「潔淨」等三面向的目標與政策原則，以作為我國能源發展之核心思維。能源發展綱領之政策方針如表1所示。

表1、能源發展綱領之政策方針

需求端	供給端	系統端
分期總量管理	多元自主來源	均衡供需規劃
提升能源效率	優化能源結構	促進整體效能

資料來源：經濟部能源局，2012

在擘劃能源政策的架構及過程中能源科技及能源產業的發展扮演重要的角色，在新及再生能源技術與產業發展方面，政府持續推動「能源國家型科技計畫」、「新能源兆元產業旗艦計畫」、「綠色能源產業旭升方案」等重大計畫，能源研發經費由2008年近50 億元至2012年已達137 億元，藉由重點項目投入以提升科技研發能量，支援達到永續能源政策目標，同時獎勵推廣節能減碳及再生能源等綠色能源產業。此外並挹注4年5,000億元推動「振興經濟擴大公共建設投資計畫」，規劃10%經費用於裝置綠能概念設施，包括太陽光電系統等，期望透過擴大內需市場提供國內產業發展之市場需求，幫助廠商渡過金融海嘯後的蕭條時期。

為落實與推動能源與環境政策，政府亦積極推動能源與環境的相關法案立法。我國現階段已完成立法的法案為能源管理法及再生能源發展條例，能源稅條例（草案）及溫室氣體減量法（草案）已送審立法院多年，而行政院賦稅改革委員會亦將能源稅納入我國賦稅改革的研究議題。經濟部根據行政院於2002年頒行之「再生能源發展方案」擬定之「再生能源發展條例」，在立法院經過七年的反覆協商與折衝，終於在2009年三讀通過，該條例運用再生能源電能收購機制、獎勵示範及法令鬆綁等措施提供民間設置再生能源的誘因。未來以太陽能、生質能、風力、水力等再生能源發電，政府均保證收購、獲利及成本回收，以鼓勵業者發展再生能源，為再生能源技術及產業的發展帶來更遠大的願景。

三、因應對策及發展建議— 高效低碳建構永續未來

能源的發展除了須兼顧能源供需及經濟效益之外，對環境的保護及影響評估亦至關重要。根據各國發展經驗，能源及環境災害事件的發生可能大幅影響到能源政策的走向，譬如於2006年訂定核能立國計畫的日本，原預計2030年底前新建14座以上的核電廠，核能佔比目標為30~40%，以確保能源供應穩定。但2011年發生福島核災之後，2012年9月提出「革新能源環境戰略」，目標於2030年代核電歸零；但後因大量進口天然氣及燃油替代核能發電造成為2012年日本貿易逆差高達6.9兆日圓(相當2.1 兆新臺幣)，同期電價也上漲10%-20%，首相安倍晉三遂重新檢討核電歸零政策，宣布政府會在安全無虞的情況下再啟動核能發電，並提出減核而不廢核的政策方向（杜紫軍，2013）。此外，近年來大量開發頁岩氣及頁岩油的美國，雖使原本高度依賴中東進口能源的供給結構穩步邁向能源自主的願景，連帶改變產業結構和社會架構，更進一步影響到國家的外交地位與國際政治情勢，但其採用的水平鑽探和水力壓裂(hydraulic fracturing)開採技術對地層造成的不可逆破壞，使得幾乎沒有地震的德州和奧克拉荷馬州的地震次數大幅提升，2011 年11 月奧克拉荷馬州發生芮氏規模5.6的地震，是近60 年來規模最大的地震（張心紘，2014）。雖然美國政策性決定開採頁岩油氣蘊藏的同時透過基金給予居民補助，短期來自社會面的抗爭力量不大，但若沒有考慮長期影響，便可能會是犧牲國民的長期權利來換取短期的經濟利益與競爭力，難以達成永續發展的目標。

面對能源安全及全球暖化的多重挑戰，如何能夠保護能源供應安全與環境永續，同時促進經濟與能源產業發展為決策者必須審慎思考的關鍵課題，「開源」和「節流」為最重要的兩項主軸，其中開源需著重於開發低碳能源來源，節流則是需要提高各項能源使用或轉換的效率。在開源方面，台灣的自產能源不足，開發再生能源雖為提高能源自主性的選項之一，但再生能源能量密度低、發電成本高，且多數再生能源屬於間歇性能源，在無鄰國電網支援的條件之下，必須投資興建相對發電量的火力發電廠及儲能設施方能顧及供電穩定性，使得整體發電成本更無市場競爭力。此外，台灣的能源價格及電價偏低，在全面推動能源價格合理化之前，又要顧及供電穩定性，化石燃料或核能仍是不可避免的供給來源。在減核的政策走向之下，未來低碳的頁岩氣或合成燃料將是可能的新選項，而各項能源或儲能設備的發展亦須檢視相對於此二類能源的競爭力。在節流方面，國內主要能源消費部門為工業及能源部門，次為住宅、服務業及運輸部門，透過發展推廣各項節能技術或節能產品及調整民眾能源使用模式來提高能源使用效率並降低能源需求，且應發展智慧電網技術以提高電網效率，透過智慧型調度及需量反應來使發電量得以被有效運用，同時因應未來多元能源來源併網時對電網可能發生的衝擊，此二領域是在節流框架下需特別著重的推動方向。

就能源技術發展的策略主軸及推動時程而言，未來推動能源科技發展的策略主軸應以提升能源使用效率、強化能源自給、及降低環境污染為核心思維；技術選項方面，短期以高效率節能技術、智慧電網技術、開發替代能源(如太陽能、離岸風力發電、生質能及儲能技術)等為主，中長期可著眼於地熱及海洋能開發、減碳淨煤技術發展及投資發掘天然氣水合物。在技術開發過程中應配合未來情境、應用場域/系統與使用者習慣，進行目標導向研發，且須注重介面整合性及國內可應用性，避免因技術與系統無法介接而造成技術應用障礙。我國能源政策推動應平衡國際情勢及國內發展利基，集中資源投入優勢技術項目，並仿照國際組織做法，建立檢討機制針對能源科技發展進程、減核減碳配套措施落實成效、能源供需結構優化、及碳排放控制情況進行實際檢視，通盤檢討推動措施有效性及執行進度合理性據以調整資源配置及政策方向。透過推動高效能低碳排放的技術及政策架構，將可使台灣穩步邁向永續發展的未來願景。

參考文獻

1. IPCC (2007), IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)
2. IEA (2013)a, World Energy Outlook 2013

3. IEA (2013)b, Key World Energy Statistics 2013.
4. IEA (2014), Energy Technology Perspectives 2014
5. REN21 (2014) - Renewables 2014 Global Status Report
6. World Bank (2005), Natural Disaster Hotspots - A Global Risk Analysis
7. 台灣電力公司(2014)a, 歷年發電量占比, 上網日期: 2014年8月21日, 網址: http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-c37.aspx?LinkID=13
8. 台灣電力公司(2014)b, 負載特性與機型配比, 上網日期: 2014年8月21日, 網址: http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-c32.aspx?LinkID=13
9. 杜紫軍(2013), 全球能源發展趨勢與台灣未來能源的選擇
10. 張心紘(2014), 石頭變黃金, 能源報導, 上網日期: 2014年8月25日, 網址: <http://energymonthly.tier.org.tw/outdatecontent.asp?ReportIssue=201407&Page=9>
11. 經濟部能源局(2008), 永續能源政策綱領(核定本), 上網日期: 2014年7月28日, 網址: http://web3.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/wHandMenuFile.ashx?menu_id=2154
12. 經濟部能源局(2010), 國家節能減碳總計畫, 上網日期: 2014年7月15日, 網址: https://www.google.com.tw/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=OCBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fweb3.moeaboe.gov.tw%2FECW%2Freduceco2%2Fcontent%2FwHandMenuFile.ashx%3Fmenu_id%3D784&ei=UGgJVOG1I1rW8gX3mYLQCA&usg=AFQjCNHRCsBa_hKd8oILOYg-4uoOB1WVxg
13. 經濟部能源局(2012), 能源發展綱領(核定本), 上網日期: 2014年8月14日, 網址: https://www.google.com.tw/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=OCBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fweb3.moeaboe.gov.tw%2Fecw%2Fpopulace%2Fcontent%2FwHandMenuFile.ashx%3Fmenu_id%3D61&ei=A2oJVJmOKtHq8AWmk4CgCg&usg=AFQjCNFS2JHOLxD7WQ9QswIBOH0Ch8UnTw
14. 經濟部能源局(2013), 中華民國102年能源統計手冊
備註

能源