

2021 日本能源白皮書

王穎達、林韋廷、黃莉婷
工業技術研究院綠能與環境研究所

中文摘要

日本於 2002 年 6 月制定「能源政策基本法」，指出能源政策以安全性(Safety)、穩定供應(Energy Security)、提升經濟效率(Economic Efficiency)以及符合環保要求(Environment)等為基本方針。但 2011 年的東日本大地震與福島核災事故，促使日本推動能源政策的轉型，以建構多元化的能源供需結構、降低對核能的依賴程度，與提高再生能源占比等。

2004 年起，日本內閣每年須向國會提出前一年度能源相關政策實施概況和國內外能源情勢變化之報告書，此次「能源白皮書 2021」係 2021 年 6 月 4 日核定 2020 年度的能源報告。其主題主要是三個部分，包括：(1)能源情勢與主要措施，(2)日本國內外能源趨勢和(3)日本 2020 年能源供需的主要政策和現狀。

在能源情勢與主要措施的部分，主要講述福島在災後復興的進度、2050 實現碳中和的挑戰與行動和能源安全轉型等三個主題。在日本國內外趨勢部分主要交代日本與全世界現在能源概況並著重在 Covid-19 的影響和全球碳中和的趨勢。在日本主要政策和現狀部分，則針對如何確保能源穩定、再生能源發展、節電行動、核能政策、火力發電和氫能等新能源發展進行討論，並也針對國際合作、戰略性投資和與民眾溝通政策。

從本次報告中，可觀察出日本因應首相在 2020 年 10 月提出的 2050 碳中和已開始許多討論和行動，除開始大量投資新技術的開發外，亦開始積極規劃與國外合作的各種可能性，並與民間開始密切合作討論如何創造公私部門攜手邁向碳中和的做法，值得我國納入未來政策推動參考。

關鍵字：能源白皮書、能源政策、碳中和

英文摘要(Abstract)

In June 2002, the Japanese government announced the Basic Law on Energy. It pointed out that the energy policy should aim at ensuring energy security, raising the economic efficiency, realizing low cost energy supply, raising the environment requirements, and ensuring safety, which is called the principle of 3E+S. However, the 2011 Great East Japan Earthquake and the Fukushima Daiichi nuclear disaster changed the energy policy above. Japanese government started to pay more attention on diversifying the energy supply structure, reducing the use of nuclear energy, and accelerating renewable energy.

Since 2004, the Japanese government published the Energy White Paper every year to present the achievements of energy policies last year to the congress. The Japanese government published the Energy White Paper of 2021 on June 4, 2021. There were three themes in Energy White Paper of 2021: the energy situation and their solutions, the global and domestic trend of energy, and the achievements of the main energy policies in 2020.

In the energy situation and their solutions part, it mainly described the recovery progress after Fukushima Daiichi nuclear disaster, the vision of 2050 carbon neutrality, and the transition of energy security. In the global and domestic trend of energy part, it focused on the impact of COVID-19 and the global trend of carbon neutrality. In the achievements in 2020 part, it explained how to accelerate kinds of renewable energy and communicate with citizens.

This report responded to the goal of 2050 carbon neutrality which was announced by the prime minister of Japan in October 2020. It released some details of carbon neutrality strategies, including investing new techniques, cooperating with other countries, and creating new method to realized carbon neutrality with the private sector, which is worthwhile for our government to take reference from.

Keywords: Energy Withe Paper, energy policy, carbon neutrality

一、前言

日本內閣於 2004 年起，須每年向國會提出前一年度能源相關政策實施概況和國內外能源情勢變化的報告書，其依據能源政策基本法第 11 條之規定。而每一年度的白皮書報告，主要的重點主題皆不同(詳如表 1 所示)，在 2018 年的報告著重日本周邊能源情勢變化和未來挑戰，以及檢視《能源基本計畫》內中長期能源政策實施方針、在 2019 年的報告則根據巴黎協定說明能源政策內容與其進展，為溫室氣體減量的目標努力、對全球暖化採取因應對策，並說明福島核災事故重建情形與處理措施。2020 年的報告包括三個部分：能源情勢與因應對策、國內外能源趨勢，以及 2019 年度能源供需政策施行的概況；而白皮書的年度重點主題以「能源情勢與因應對策」為主，內容為：(1)福島復興的進展，如福島第一核電廠的除役進度、污染水因應對策、重建與復興之情形、核災受害者的支援，以及相關損害的賠償；(2)基於災害與地緣政治風險因素以強化能源系統，受中東緊張情勢加劇，為強化能源供給的彈性和穩定性，提出應對策略與方向。另外，建置以再生能源為主力電源的電力系統，並改革電網結構以強化防災能力；(3)巴黎協定開始實行後之因應，依據巴黎協定制定的長期戰略與國家自定貢獻(Nationally Determined Contribution, NDC)，持續推動減碳政策，以達成 2030 年減碳量 26%之目標。

2021 年的白皮書主要結構分成三個部分，第一個部分講述目前日本面對的能源局勢和主要做了哪些政策，內容包含：福島復興進展、2050 碳中和的挑戰，以及能源要如何安全轉型；第二個部分主要敘述國內外的能源情勢；第三個部分則詳述日本能源政策的實施狀況，共分成 11 個小節進行詳述。

表 1、各年度能源白皮書之重點主題

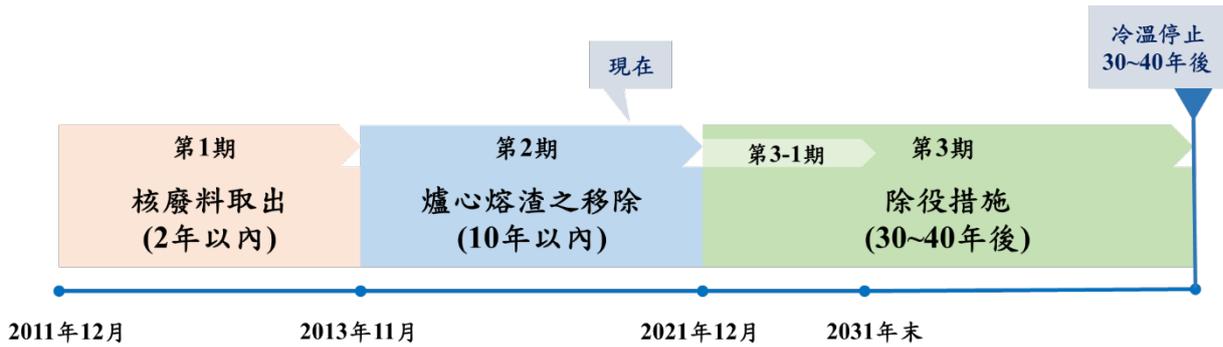
年度	重點主題		
2021	福島復興進展	2050 碳中和的挑戰	能源安全轉型
2020	福島復興進展	基於災害與地緣政治風險因素強化能源系	巴黎協定開始實行後之因應

年度	重點主題		
		統	
2019	福島復興	基於巴黎協定作為成長戰略的長期戰略	國內外能源情勢與問題變化
2018	日本明治維新後的能源史	福島復興的進展	能源面臨的內外情勢變化和課題
2017	福島復興的進展	新能源政策的進展	能源制度改革和強化能源產業的競爭力
2016	低油價時代對能源安全的貢獻	核能政策與福島核災的經驗與教訓	基於巴黎協定能源政策之變更
2015	「頁岩革命」與全球能源情勢變化	東日本大地震/福島第一核電廠事故之因應	能源成本之因應

二、 福島復興進展

(一)、 福島第一核電廠除役措施

日本能源政策的轉型，始於九年前的東日本大地震與福島核災事故，而災後相關重建與振興正逐步推進，如：污染水處理、核廢料池移除燃料棒、爐心熔渣之移除、福島創新海岸之產業藍圖之構想等。2020年3月福島縣的雙葉町、大熊町及富岡町內部分返回困難區域，因輻射量降低首次解除避難指示，目前僅剩整年累積輻射劑量超過50毫西弗(mSv)的返回困難區尚未解除。事故後，東京電力公司針對福島第一核電廠擬定中長期的除役路線圖，並於2019年12月修訂以確保低風險與安全性、重建和除役並行的原則進行，中長期除役路線圖有三大要點，包括：移除爐心熔渣、燃料棒移除與污染水處理措施。關於核電廠除役路線圖，詳如圖1所示。



資料來源：日本 2021 能源白皮書

圖 1、福島第一核電廠中長期除役路線圖

(二)、福島第一核電廠污染水處理對策

為解決冷卻高溫燃料棒產生的污染廢水，與滲入核電廠房的地下水混合之問題，日本核能災害應對總部於 2013 年 9 月制定「污染水相關問題之基本方針」，包括三項對策，分別為：(1)將地下水遠離污染源：抽取反應爐廠房周圍的地下水，建造防滲牆以防止地下水滲入與爐內污水混合、(2)預防污水滲漏：於海岸側建置防滲牆並將儲水箱改為焊接式，提升防滲性與避免污水流入海洋、(3)移除污染源：建置多核種除去設備(Advanced Liquid Processing System, ALPS)之汙水處理設施，以處理儲水箱和地下道高濃度的污水。



資料來源：日本 2021 能源白皮書

圖 2、福島第一核電廠中長期除役路線圖

具體來說，除了從 2014 年 5 月開始將建築物山側抽取的地下水排

放到其他地下水渠道外，從 2015 年 9 月開始採取分流做法，開始抽取靠近建築物的地下水並管理建築物周圍的地下水位。另外，在 2016 年 3 月凍土型陸側防滲牆（凍土牆）也開始凍結，並在 2018 年 3 月由各領域專家組成的污水處理對策委員會認證具有防滲效果，2018 年 9 月完成所有凍結作業。最後，對於防止雨水滲入土壤的地面強化措施，90%以上的規劃工地業已完成施工。

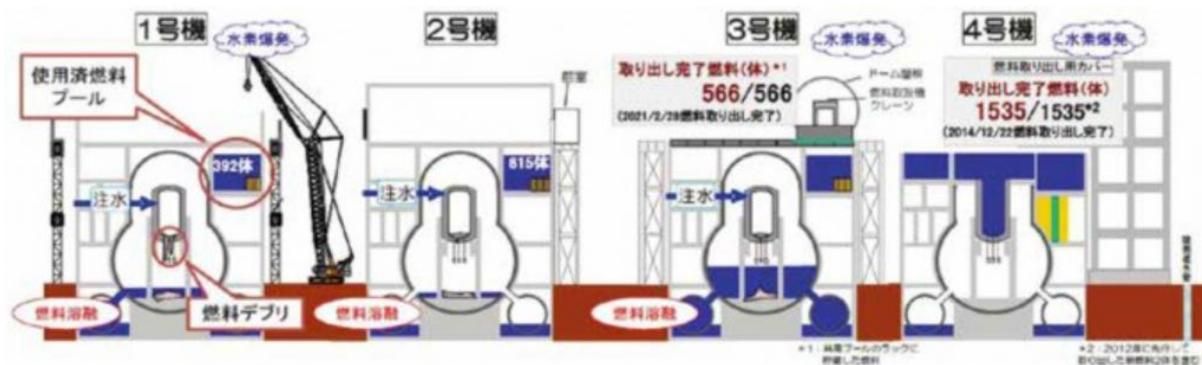
ALPS 小組委員會於 2020 年 2 月發布的報告重點是指出福島的重建和退役作為兩個軸線來進行。在針對排除污水的部分，委員會指出，從技術上講的海洋釋放是現實的選擇，並且認為海洋釋放比蒸汽釋放更可靠。根據這份報告，日本政府決定 ALPS 處理水的處理政策將與當地政府、農林水產業等交換意見，並通過書面徵求意見，在收到民間大量意見後，日本政府根據這些意見於 2020 年 10 月 23 日召開了退役／污染水對策小組會議，裁示東京電力公司應在嚴格遵守各國輻射防護標準中廣泛引用的符合 ICRP 建議的監管標準的前提下，對外發布哪些地點已通過評估可對海洋釋放處理過後的污染水。同時，東京電力公司被要求在未來兩年內開始將 ALPS 處理過的水排放到海洋中。由於中間民間與國際又有許多聲音，日本政府在 2021 年 4 月的第 5 次退役和污染會議中，表示未來可能受到影響的地方政府、漁民、企業、消費者等的聲音，都將會採納、梳理問題，並靈活考慮和實施必要的附加措施。

在「去除污染源」的措施部分，日本正透過 ALPS 等多種淨化設備對污染水進行淨化。此外，由於核電廠的地下隧道（海水管道溝）中積聚高濃度污水發生洩漏的可能性很高，故從 2014 年 11 月起，持續用泵抽走了污水。並在 2015 年 12 月完成高濃度污染水的清除和溝內填埋工作，大大降低了風險。但為了徹底杜絕受污染的水從建築物中洩漏的風險，必須要減少建築物內部積水中放射性物質的含量。為此，日本針對核電廠內積水進行清除和淨化工作，並於 2020 年 12 月完成了除 1 至 3 號反應堆建築物、主工藝樓和主廠房外的建築物積水的處理工作。採取相關污水措施後，其污水量從原本(2014 年 5 月)約產生 540 m³/日降至 2020 年度平均約 140 m³/日，持續朝 2025 年內污水濃度降至約 100 m³/日的目標前進。

為了防止 311 大海嘯的意外衝擊再一次發生，目前日本也在研究應對大規模自然災害的措施。目前的海嘯對策，除了設置千島海嘯防潮堤（2020 年 9 月竣工）外，日本內閣也宣布要成立日本海溝海嘯防潮堤的檢查辦公室，以抵禦與太平洋沿岸地震規模相同的海嘯。此外，為應對日本近年來發生的一系列大規模降雨，亦正進行淹水分析並考慮開發排水渠。最後，從 2019 年 8 月起，將進行 1/2 號排氣管上方約 60 米的拆除工作，以確保抗震能力。

（三）、從燃料池中去除燃料

東京電力公司 2011 年決定從 4 號機組燃料池中去掉燃料，這是當初《福島第一核電站有限公司 1 至 4 號機組退役中長期路線圖》中最優先考慮的問題。2014 年 12 月 22 日，所有 1,535 種燃料都轉移到公共池中。3 號機組於 2019 年 4 月開始燃料清除，2021 年 2 月完成全部 566 種燃料的清除。1 號機組正在準備清除地板上的瓦礫，2 號機組正在準備清除地板上的殘留物等燃料。



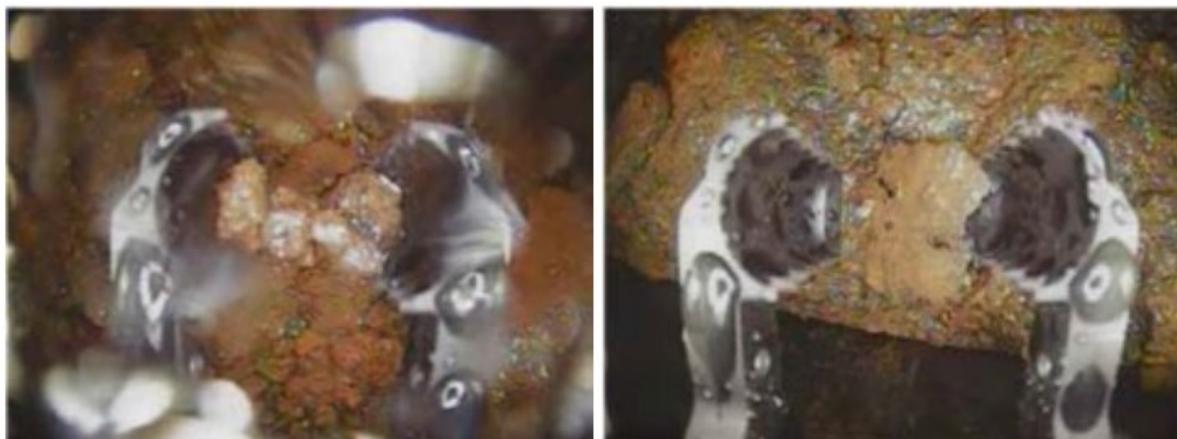
資料來源：日本 2021 能源白皮書

圖 3、福島第一核電廠 1~4 號機現狀

（四）、去除燃料碎片

由於存在燃料碎片的 1 至 3 號機組反應堆建築物內的輻射劑量很高，並非人們能直接進入的環境，故日本使用遠程控制設備和裝置進行去污和調查。在 2019 年 12 月修訂的中長期路線圖中，確定了 1 號機組燃料碎片清除方法，並規劃在 2021 年內於 2 號機組開始試清除作業，之後再逐步

擴大清除規模。在每次調查中，周圍環境都會受到影響，但輻射監測數據未見明顯波動。



資料來源：日本 2021 能源白皮書

圖 4、福島第一核電廠反應堆安全殼及調查設備內部調查情況

(五)、 改善工作環境

2017 年 4 月，核電廠退役國際聯合研究中心（福島縣雙葉區富岡町）的國際聯合研究大樓開始運營，作為核電廠退役基礎研究開發和人力資源開發的基地。在研發方面，自 2015 年以來，日本讓法國和俄羅斯企業參與燃料碎片回收基礎技術的研發和了解燃料碎片特性。

此外，為了長期順利進行東京電力福島第一核電站的退役工作，東京電力努力改善福島第一核電站的工作環境。例如，將不需要全面罩和防護服的區域擴大到場所面積的 96%。此外，日本已經開始運營，可以在不戴口罩的情況下檢查俯瞰 1 至 4 號機組的鳥瞰台。同時安裝直升機場，縮短運輸時間。

不僅如此，日本也強化了健康管理措施，例如加強緊急情況下的醫療系統。並建立一個可同時容納約 1200 人的大型休息區，內含餐廳、商店和淋浴間。為了長期的除役作業，日本政府期待創造一個更安全、更好的工作環境，以便在長期內穩步推進退役工作。最後，有鑑於新型冠狀病毒感染在日本蔓延，從 2020 年 2 月起，東京電力福島第一核電站將進行抵達前測溫，徹底佩戴口罩，並通過使用錯開休息區來避開群聚。

(六)、 處理環境污染

東日本大地震後東京電力福島第一核電站事故釋放的放射性物質造成環境污染，迅速降低其對人類健康或生活環境的影響是當務之急。基於前述情況，《2011 年東北太平洋沿岸地震相關核電站事故釋放的放射性物質污染環境對策特別措施法》於 2011 年 8 月 30 日通過並同時通過了《放射性物質污染特別措施法》。

國家政府在聽取福島周圍直轄市的意見後，指定了污染狀況優先調查區，並在每個直轄市進行了去污工作。2017 年 3 月，完成設定特殊去污區（不包括難返區）和污染狀況優先調查區；2018 年 3 月，完成了基於去污實施方案的區域去污工作。此外，日本已建立一個臨時儲存設施，來收納福島縣淨化產生的含有放射性物質的土壤和福島縣儲存的超過 100,000 貝克勒爾/公斤的廢棄物。到 2021 年 3 月底，共有約 1,055 萬立方米的土壤被運輸到臨時儲存設施（約佔 1,400 萬立方米運輸目標的 75%）。臨時倉儲設施開發所需用地規劃約 1600 公頃，截至 2021 年 3 月，承包面積約 1,235 公頃。根據 2021 年 3 月內閣決定的「東日本大地震重建基本方針」，明確指出要確保清除土壤等的安全措施，除了較困難的地區之外，要爭取在 2021 年底前完成任務。

(七)、 福島創新海岸

日本在 2017 年 5 月修訂了《福島特別措施法》，將福島創新海岸框架納入法律，以處理福島縣未來重建和發展議題。首相於 2018 年 4 月 25 日通過福島縣優先推進計畫，並在同日舉行第 2 次福島創新海岸框架部長級會議。在會議上「福島創新海岸計畫」已有雛型架構。2019 年 12 月，以「福島創新海岸概念」為基礎，由振興廳、經濟產業省、福島縣共同製定《產業發展藍圖》。並在 2020 年 5 月 1 日由首相批准了根據藍圖修訂優先推進計畫；至 2021 年 4 月 9 日，首相批准整合了優先推進計畫的福島重建和振興計畫。

在福島縣地方的部分，於 2017 年 7 月成立了福島創新海岸概念推進

機構，作為推進福島創新海岸概念的核心組織。該組織自 2018 年 4 月起逐步加強建設，並於 2019 年 1 月 1 日成為公益法人基金會。

為了打造福島創新海岸，日本政府在福島縣由國家研究開發公司新能源產業技術開發機構成立了福島機器人試驗場，可以在此處進行基礎設施檢查、災難響應的機器人和無人機的研發，並能驗證測試和性能評估。2020 年 3 月底全面開業。福島創新海岸倡議的實現路徑不僅限於基地的建立和重大項目的實施。在利用這些基地和項目的同時，當地企業和從濱通地區以外擴展的企業需要共同努力，促進優先領域和私營部門的實用技術的發展，實現產業自主可持續發展。

除創新產業推動外，福島縣 2012 年 3 月修訂了《福島縣可再生能源推進願景》，目的是創造一個不依賴核電的社會並將推廣可再生能源作為災後重建的支柱之一，積極推進擴大可再生能源發電設備引進、集聚相關產業、開展示範工程和技術發展。福島縣預計在 2040 年左右，再生能源將可達到福島縣能源需求的 100% 以上。

國家政府也在 2014 年 4 月制定的「第四個能源基本計畫」旨在使福島成為可再生能源產業基地，並將發展成為福島再生和重建的能源產業和技術基地。為了進一步加強從能源領域對福島重建的支持，日本公私部門協力成立了「福島新能源社會概念實現大會」，並於 2016 年 9 月制定了《福島新能源社會構想》，內容指出福島將成為開闢可再生能源和未來氫能社會的先行者，該概念將成為創造新能源社會模型的基礎。該概念於 2021 年 2 月進行了修訂，目前該計畫已進入社會實施階段，此階段將執行至 2030 年，主要目的是在擴大目前以再生能源和氫能為支柱的成果外，同時充分考慮 2050 年碳中和宣言、綠色成長戰略等社會重大變化，以及新型冠狀病毒感染的影響。

三、 能源形勢變化

(一)、 加速中的脫碳潮

《巴黎協定》是在 2015 年 12 月舉行的聯合國氣候變化框架公約第 21 次締約方會議 (COP21) 上通過的，作為 2020 年後減少溫室氣體排放

的新國際框架，各國都建立了溫室氣體減排國家自主貢獻（《巴黎協定》第三條）。除國家自主貢獻外，還制定了長期低排放溫室氣體發展戰略（以下簡稱「長期戰略」），每個國家都在實施基於國家自主貢獻和長期戰略的各種策略來努力減少溫室氣體排放，這是國家層面的承諾，但不只是公部門，也越來越多的私部門表達因應減碳的長期策略。

日本的 2050 目標，是菅義偉首相在 2020 年 10 月 26 日的信念聲明中宣布的，日本的目標是到 2050 年實現碳中和。此外，菅義偉總理在 2021 年 4 月由全球變暖對策推進本部和美國共同主辦的氣候峰會上表示，「作為與 2050 年目標一致的雄心勃勃的目標，我們 2030 年的目標是比 2013 財政年度減少 46%。」

（二）、 其他國家的脫碳趨勢

截至 2021 年 4 月，已有 125 個國家和地區宣佈到 2050 年實現碳中和，這些國家的二氧化碳排放量佔世界總量的 37.7%。中國的部分，習主席於 2020 年 9 月在聯合國大會上宣布，中國將在 2060 年實現碳中和。儘管每個國家都有不同的聲明，但沒有一個國家致力於單一的碳中和道路，而是將多種情景作為願景。

2018 年 11 月，歐盟委員會宣布了一項名為「人人享有清潔地球」的「願景」，旨在於 2050 年實現碳中和經濟。隨後，在 2020 年 3 月提交巴黎協定的長期戰略給聯合國，但在這個願景中，沒有確定具體的能源結構目標，減排路徑可以有各種選擇。

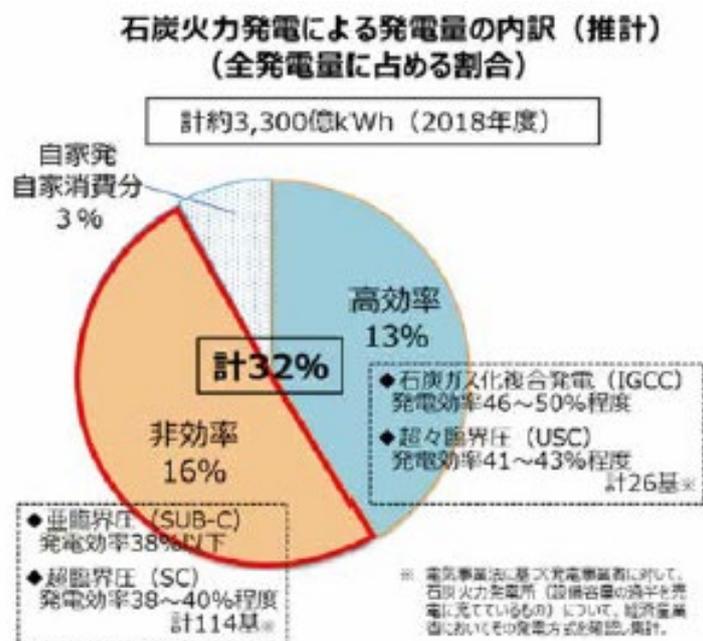
在英國的部分，英國商業、能源和工業戰略部（BEIS）於 2020 年 12 月 14 日發布英國的能源白皮書，白皮書顯示電力部門在實現淨零（100% 削減）方面的戰略地位，並描繪了電力產業在 2050 年的未來想像。在實現淨零的電力需求情景中，由於電動汽車的普及和熱需求的電氣化，電力需求將從目前的 3,000 億 kWh 增加至 2050 年的 5,700 億至 6,700 億 kWh。電力在最終能源消費中的份額可能會從 2019 年的 17% 增加到 2050 年的 50% 以上。因此，為了滿足日益增長的電力需求，需要將脫碳電源的發電量增加四倍。非電力需求在內的總排放淨零情景中，農業和航

空部門的排放將在 2050 年保持不變，需要通過 BECCS 等負排放來抵消。此外，在電力需求情景中，其他部門可能需要進行比預期更多的電氣化才有可能達成碳中和。

(三)、 2050 年碳中和宣言和當前評估

日本碳中和的路上，最需要努力的部分是電力部門的部分，其中日本電力部門的排碳主要來自火力發電廠，故為了實現 2050 碳中和，必須要想辦法減少火力發電，但另一方面，因再生能源的不穩定性需要穩定的電力供應來源彼此搭配，故火力發電又扮演支持太陽能發電跟風力發電發展的角色。

此外，再生能源的本質問題也是碳中和要極力克服的部分，如(1) 出力受天氣等自然條件影響；(2) 日照量和風力條件等適宜土地並不總是與電力需求區域相匹配，電網調度跟過去狀態不同；(3) 不具備在因災害等原因切斷電源時維持系統穩定的功能（慣性力等）；(4) 自然限制：如適合風力發電的平地和淺海（日本很少）和社會限制（與農業和漁業等其他用途的協調以及與地區的協調），需要繼續克服；(5) 為了以上的挑戰而進行的投資，存在因缺乏合適的場地而導致未來成本增加的可能性的問題。



資料來源：日本 2021 能源白皮書

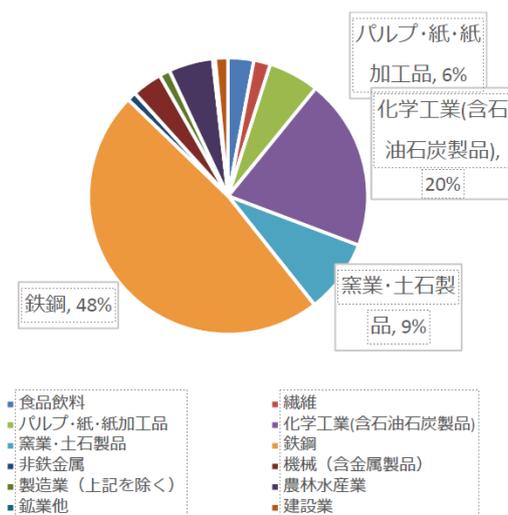
圖 5、日本燃煤發電發電量占比（依電廠效率區分）

針對上述這些問題，火力發電具有(1)穩定且大的供給能力，以及(2)與因太陽能發電和風力發電而波動的電力供給相匹配的電力需求。日本 2018 財年時，燃煤發電占總發電量的 32%，其中高效燃煤發電占總發電量的 13% 低效燃煤火力發電占總發電量的 16%（共 114 台），自發自用電力占總發電量的 3%。在這種情況下，日本經產省將燃煤發電的發電效率目標設定為節能法規定的最新 USC（超超臨界）水準，以穩步淘汰低效燃煤發電。

2020 年 7 月，日本經濟產業大臣梶山宣布將開始研究第五個基本能源計畫中規定的低效燃煤發電的淘汰問題，以引入一種新的更有效的機制。能源研究小組 電力/燃氣小組委員會 電力/燃氣基本政策小組委員會帶頭進行這項研究。

為了實現碳中和，非電力部門二氧化碳排放量也要繼續節能減排，可行作法如：(1) 電氣化，(2) 使用氫氣來滿足熱量需求，(3) 需要 CCUS，但電氣化不能涵蓋製造過程中需要大量熱能的行業（例如紙漿、造紙、造紙加工業）和化學反應中產生二氧化碳的行業（例如：紙漿、造紙、紙加工業）。例如：鋼鐵工業、化學工業、水泥工業）。

(四)、 2050 年碳中和宣言下日本排碳高的產業因應



資料來源：日本 2021 能源白皮書

圖 6、日本產業別排碳量

1. 鋼鐵產業

鋼鐵行業是最大的排放行業，約佔工業部門二氧化碳排放量的 50%。在使用高爐煉鋼時，通過使用煤的還原反應從鐵礦石中提煉鐵，並且在該還原反應中產生大量的二氧化碳。為了使鋼鐵生產實現碳中和，有必要開發氫還原煉鋼等技術，通過使用氫代替煤的還原反應提取鐵。

2. 化學

在化學工業中，作為原料的石腦油在高溫下熱解以生產乙烯和丙烯等基礎化學品。目前，燃燒化石燃料以獲取熱能，並在此過程中產生二氧化碳。另一方面，由於化學工業也是一個可以使用碳作為原料的行業，因此有必要開發碳循環技術。

3. 水泥

水泥的主要原料是石灰岩，含有碳酸鈣。水泥製程中首先會將碳酸鈣 (CaCO_3) 煅燒加工成為熟料 (CaO)，再通過添加石膏等製成水泥。但在石灰石的煅燒過程中，會通過脫羧反應產生二氧化碳。在水泥製程中，二氧化碳是通過加熱和化學反應排放的，因此需要開發技術來回收製造過程中產生的二氧化碳。

4. 紙漿、紙、加工紙製品

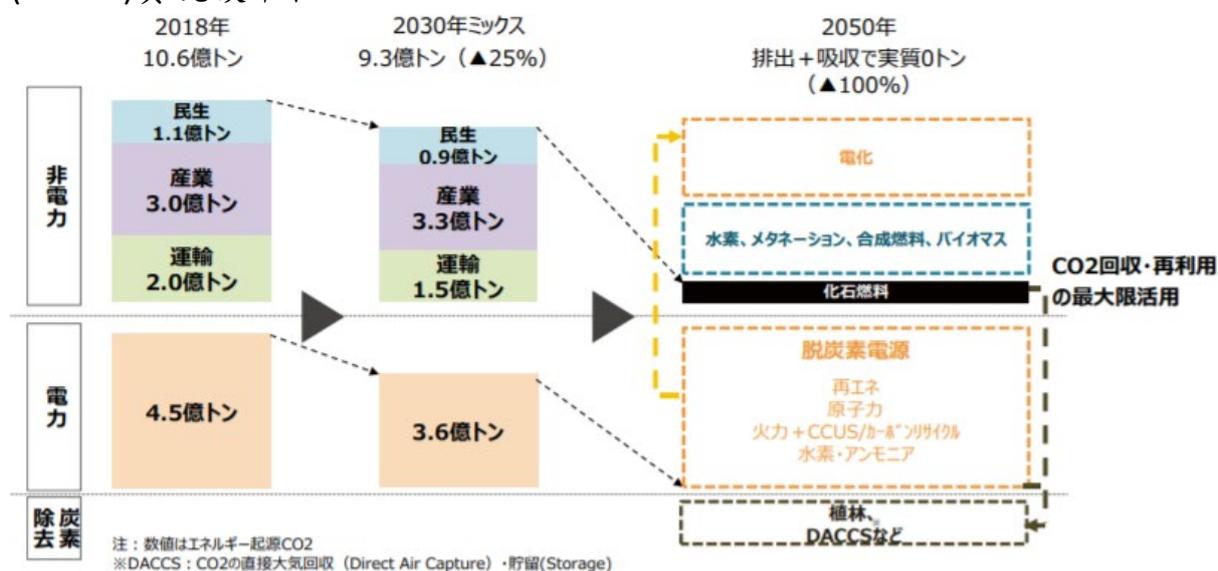
木屑和廢紙是造紙的主要原料，將它們製成紙漿，再從分散在水中的紙漿中蒸發水分製成紙。目前，通過燃燒化石燃料和部分生物燃料獲得熱能進行乾燥，但需要大量的熱能，目前該過程電氣化難度較大。為實現碳中和，通過將節能和技術發展相結合以提高生物燃料的混燒率，以及通過植樹和廢物利用相結合，努力減少生命週期中的二氧化碳排放。

除了上述的四大排碳產業，對於佔日本企業總數 99.7% 的中小企業來說，採取脫碳措施也很重要。因此，未來還需要創造一個環境，使投資能力低於大型企業的中小企業可以繼續努力去碳化。

(五)、 2050 年碳中和之路

日本在 2020 年 12 月發布了《2050 年碳中和綠色成長戰略》(以下簡稱《綠色成長戰略》)，目標是提供盡可能具體的前景，設定高目標，支持私營部門公司的積極挑戰，並創造鼓勵大膽投資和創新的環境。

在《綠色成長戰略》中，電力部門、工業/消費/交通(非電力)部門(燃料利用)擴大減碳效果，如透過電氣化、加氫、合成燃料等方式促進脫碳，以作為 2050 年實現碳中和的路徑。對於即使在脫碳電源和燃料轉換後仍然排放的二氧化碳，我們將通過植樹和直接空氣碳捕獲和儲存(DACCS)實現碳中和。



資料來源：日本 2021 能源白皮書

圖 7、日本綠色成長戰略路徑

在《綠色成長戰略》中，對於實現 2050 年碳中和日本列下了技術要有(1) 明確成熟度的目標和(2) 實際的研究和開發。日本政府制定了執行方案，包括論證、監管改革、標準化等制度機制，以及國際合作，



資料來源：日本 2021 能源白皮書

圖 8、日本綠色成長戰略十四個主要領域

日本的綠色成長戰略中涵蓋的 14 個領域，並將知識產權競爭力與主要國家進行了比較。

地域	国	1. 洋上風力発電	2. 燃料アンモニア	3. 水素	4. 原子力	5. 自動車・蓄電池	6. 半導体・情報通信	7. 船舶
北米	米国	111,695	188,071	4,446,582	339,254	17,888,117	8,126,236	231,415
	日本	117,766	110,725	10,408,492	66,092	41,031,435	8,374,314	207,923
アジア	中国	395,799	132,596	7,189,022	220,847	19,664,237	7,798,931	205,020
	韓国	72,335	11,248	4,084,474	27,257	16,487,746	2,238,312	331,374
	台湾	7,645	882	198,865	3,165	748,283	1,953,732	7,337
欧州	ドイツ	96,045	103,181	1,850,588	15,001	7,398,661	1,898,786	196,053
	フランス	62,831	8,393	1,133,446	28,364	2,998,717	730,967	32,060
	イギリス	35,046	21,324	770,201	66,596	493,248	243,323	51,966

地域	国	8. 物流・人流・土木インフラ	9. 食料・農林水産	10. 航空機	11. カーボンリサイクル	12. 住宅・建築物/次世代型太陽光	13. 資源循環関連	14. ライフスタイル
北米	米国	1,771,988	140,671	155,096	1,727,312	401,992	1,636,011	167,744
	日本	645,048	252,610	23,981	1,136,507	487,430	441,670	38,253
アジア	中国	4,146,451	108,493	36,852	1,729,685	1,418,341	3,563,366	254,570
	韓国	922,864	129,503	5,427	489,824	301,729	456,702	23,241
	台湾	61,268	4,889	0	35,739	9,081	21,847	2,807
欧州	ドイツ	354,831	11,656	5,642	333,691	69,882	158,333	29,821
	フランス	170,935	19,903	68,515	387,132	16,217	173,150	35,548
	イギリス	65,059	13,239	8,940	68,923	5,404	69,784	8,563

資料來源：日本 2021 能源白皮書

圖 9、日本綠色成長戰略主要知識產權競爭力比較

該分析涵蓋了過去 10 年 (2010-2019 年) 在八個國家/地區提交的專利：日本、美國、中國、韓國、台灣、英國、德國和法國。日本在氫能、

汽車/電池、半導體/資訊通信、食品/農業/林業/漁業等四個領域排名第一，其他六個領域（海上風電、燃料氫、船舶、碳循環、住房。建築/下一代太陽能、生活方式）也位居世界第二或第三位，可以說具有較高的知識產權競爭力。

縱觀日本領先的領域，氫能和車/蓄電池可以說是日本相對於其他國家的強勢領域，且日本汽車製造商和汽車零部件在這兩個領域也有較強的競爭力。這是由於日本製造商具有很高的知識產權競爭力，其他國家的公司與日本相距甚遠。在半導體和資通訊方面，50 強企業中有 19 家是日本企業，從半導體材料到製造設備、資通訊設備及系統等眾多企業均名列前茅。在糧農林漁業中，日本農機專利實力雄厚，競爭力十分強。

值得注意的是，在本報告中的分析僅是評價知識產權競爭力的一個方式，但仍對於未來日本要把知識產權競爭力轉變為產業競爭力具有重要意義。例如從基礎設施方面支持社會邁向碳中和，或者在推進氫能和燃料氫國際標準化等國際規則的形成方面，為了擁有國際標準話語權，這些知識產權的競爭力非常重要。

四、能源安全轉型

在 2011 年之後的時代，除了 3E（穩定能源供應、提高經濟效率、適應環境）之外，日本還面臨著 S（安全）的挑戰，且在 2020 年，世界經濟受新冠病毒嚴重影響，世界都在努力共同建設包括能源供需穩定在內的永續社會。日本認為須完善能源供應來源，否則永遠無法確保能源安全。

確保能源安全不僅在日本而且在國際上都被定位為一個重要問題。在兩次石油危機之後成立的國際能源總署（IEA），自成立以來就將能源安全定位為重大問題，並向各國提出政策建議。並根據情況持續擴大國際能源總署涵蓋的安全議題，從其成立時的石油擴展到包括天然氣和再生能源電力等。此外，隨著數位化進程的推進，新時代能源安全因素，如大規模引入太陽能、風電等自然波動電源所需的靈活性、保障網絡安全等，都將變得更為重要。最後，為了實現碳中和所需採行的替代燃料，目前業已經開始研究氫和氨等新燃料，這些燃料是使無法完全電氣化的產業面對脫碳時

所必需的，討論國際趨勢和潮流亦有助於日本考慮未來的能源安全。

(一)、 與化石能源相關的能源安全

目前，日本大部分能源依賴從海外進口，存在一個根本性弱點，即一旦海外能源供應出現問題，日本難以自主保障資源。這些薄弱環節僅靠控制能源消耗無法解決，故日本努力替代核心能源（石油），以分散風險並保障國內能源安全。

1973 年和 1979 年的兩次石油危機暴露了大部分能源依賴從政局不穩的中東進口的風險，而從去石油依賴的角度來看，核電、煤炭和天然氣的發展得到了推進。日本的能源自給率自 1980 年代以來一直在增加，2010 年達到 20.3%，但 2011 年東日本大地震發生後，隨著核電發電量的減少，能源自己率下降到 6% 左右。雖然在推動 FIT、核電站的重啟以及再生能源發電量增加的情況下，能源自給率已恢復到 2018 年的 11.8%，但仍與東日本大地震之前的水準相差甚遠。

對能源依賴進口的日本來說，確保廉價和穩定的化石燃料是能源安全的一個重要主題。為了提高能源安全，需要採取燃料種類多樣化、供應商多樣化、降低阻塞點風險等措施。比如在原油方面，進口俄羅斯產品可以減少對中東的依賴，在天然氣方面，日本將向俄羅斯、非洲、東南亞擴散，並持續尋找澳大利亞、北美和世界其他地區的供應商。

(二)、 天然氣/液化天然氣市場價格變化

天然氣/液化天然氣在化石燃料中排放的二氧化碳相對較少，並且提供電網在因應再生能源間歇性時的調度靈活性，此外，其作為支持邁向碳中和過渡時期的技術也很重要。

天然氣和液化天然氣的市場價格經常根據亞洲市場的供需情況和原油價格水準發生變化，價格波動幅度較大。但從提高能源安全的角度來看，即使出現明顯的價格上漲，也要採取財政措施防止零售價格上漲

2020 年 12 月中旬以來，日本電力供需因間歇性寒潮和電力需求增加而趨緊趨緊，故火力發電運行需求增加，致使 LNG 燃料消耗量增加、庫存

減少。12月下旬，雖然電力需求相對平穩，供應能力有所改善，但由於燃煤電廠停運和限制LNG電廠燃料使用，市場價格變得相當高。

對此，自然資源和能源局理事會以及電力和天然氣市場監督委員會調查並核實了原因。2020年冬季電力供需偏緊，可能主要是寒流導致電力需求大幅增加，以及LNG庫存減少導致LNG火力發電運行受限。由於燃煤發電問題暫停運轉、乾旱導致水電利用率下降、太陽能發電量波動等因素綜合作用，對LNG發電的依賴度增加，導致在供需緊張的情況。在這種供需緊張的背後，是燃油電廠被淘汰、運轉中的核電廠減少等結構性事件。因應這次的問題，未來將採取災害發生時的應對、安全網對策等預警/應急措施，以及確保供應能力和鼓勵新投資的措施，並改變電網結構，以實現穩定供應和碳中和。

(三)、 氣候變化與韌性視角下的能源安全

隨著再生能源的規模在全球持續增長，為確保電力系統的穩定，可分散能源系統、智慧電網、儲能系統變得越來越重要。此外，在極端氣候愈發劇烈的情況下，因應颱風、地震等自然災害的加劇趨勢，採取措施將災害造成的損失降到最低，在最短的時間內恢復重建很重要，亦有越來越多國家針對此議題進行討論。

1. 輸配電部門的應對

在電力系統中，尤其是在輸配電領域，IEA確定了電力安全的三個關鍵要素：充裕性（Adequacy）、營運安全性（Operational Security）和韌性（Resilience）。首先，充裕性是指在正常情況下有適當的供應儲備，也有適當的供應儲備，即輸電能力得到保障，所有電力需求都可以正常供應。其次，營運安全性是指電力系統在發生雷擊等各種災難性事件時，能夠繼續正常運行並儘快恢復正常的的能力。最後，韌性是指電力系統及其部件能夠承受短期負荷波動和電源成分長期變化的狀態。

2. 儲能系統

隨著太陽能、風能等再生能源在整個電力系統中所佔比例的增加，電網的彈性調度需求將急劇增加。目前是利用燃氣發電和抽水蓄能發電來做應急調度，中長期要通過加強電網建設促進區域間電力互換來達成電網的穩定。

為進一步增強儲能能力，下一代電池和利用合成燃料、氫、氨等的電力儲存技術都將是發展重點，但在技術目前仍然成本高昂的情況下，為使新技術在社會上能早點被應用，需要推進行研發和示範的進程，以期具備市場競爭力。

3. 因應天然災害

隨著自然災害的加劇，需要擁有機制和能力來最大限度地減少災害造成的破壞，並促進復原和重建，即提高所謂的復原力（Build Back Better）。尤其是能源是一切產業活動和人們生活的基礎，因此，提高電力、天然氣、石油、水等公共基礎設施的健全性，以及在發生災害時進行早期恢復和重建的機制，對居民的生活和企業的發展都很重要。

日本在應對颱風引發的風暴、洪水和地震等各種災害方面具有經驗和知識。例如，主要的非壽險公司正在利用大數據和人工智慧來準確預測各地區自然災害造成的損失，並鼓勵地方政府和企業做好準備。此外，電力、天然氣、石油等能源企業在建構抗風、抗洪災和抗地震的供應網絡方面，以及與地方政府和其他企業在災害應對方面已順暢合作建立了初步框架。

但是，為了盡量減少自然災害造成的損失，以及確保早日恢復/重建，僅靠能源供應方面的努力是不夠的，需要進一步落實並加強個別公司的應變能力，日本有許多公司一直在制定自己的業務連續性計畫（BCP），但這些 BCP 還有很大的改進空間，比如在實際發生災難時不一定能有效運作。一個好的 BCP 應該要完整的包括該地區每次災害的發生頻率，企業活動中的電力、天然氣、石油等的使用情況，以確保災害發生時企業還能維持運作。

(四)、 脫碳和能源安全的平衡

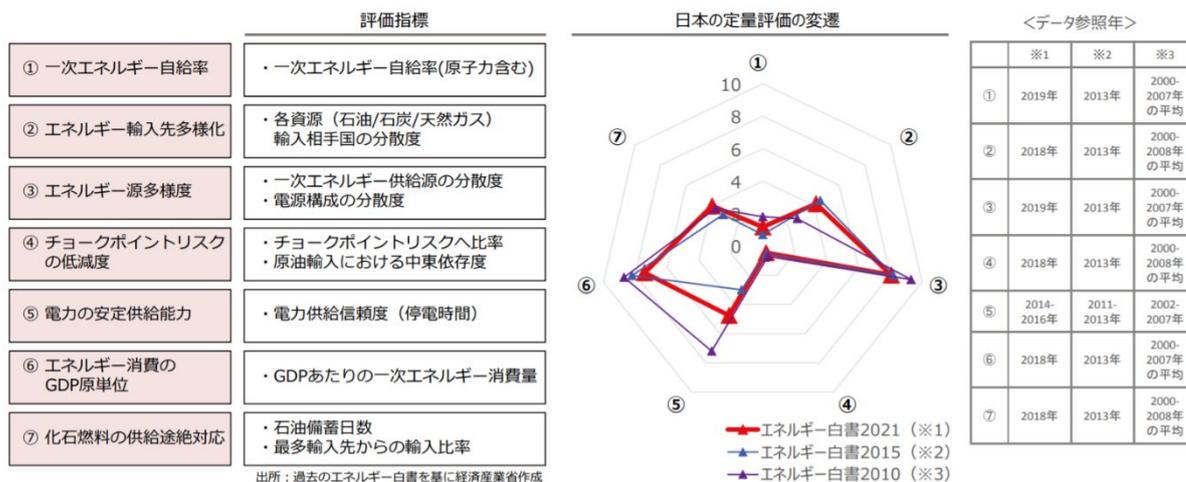
實現碳中和後，能源供需結構存在多種可能性，但 IEA 預測，即使在實現碳中和階段，全球電氣化率仍將保持在 47%，其餘 53% 用於供熱。鋼鐵、化工等工業部門的高溫熱需求佔熱需求的比重特別大，故氫和氨等下一代低碳燃料有望為這種熱需求的脫碳做出貢獻，但生產時須透過再生能源對水進行電解和轉化。因此，在國內電網可能供應不足的情況下，就要考慮從海外進口綠氫，目前不僅日本有意朝進口綠氫發展，目前擁有豐富再生能源的德國也有興趣從海外進口氫。在此情況下，日本在早期研究和未來商業化製低碳氫的技術就變得非常重要，且低碳氫有助於增強日本工業競爭力。

(五)、 嘗試評估日本的能源安全狀態

過去日本在《2010 年能源白皮書》將能源安全定義為「人民生活、經濟社會活動、國防等方面所需的能源，能夠以可接受的價格得到保障」，是獨創的量化評價指標。在能源安全量化評價指標中，構成能源安全的要素分為海外資源採購、國內供應、國內消費三個階段，日本還對「供應中斷對策」進行了評價。在《2015 年能源白皮書》中，基於美國所謂的頁岩油革命導致世界能源形勢發生重大變化進行評估。

2020 年是全球全面邁向脫碳的一年，世界能源形勢再次發生重大變化。為此，在使用能源安全量化評價指標對一些指標進行審查後，日本嘗試對其他國家的能源安全進行量化評價。

評價項目包括一次能源自給率（外部因素）、能源進口目的地多元化（進口夥伴國多元化）（外部因素）、能源來源多樣化（外部因素）、減少阻塞點風險（依賴中東）（外部因素）、穩定的供電能力（停電時間）（內在要素）、能源密集度（內在要素）、應對化石燃料供應中斷的能力（石油儲備）（外部要素）等七項指標，並將日本、美國、英國、法國、德國、中國和韓國 7 個國家作為調查對象國。



資料來源：日本 2021 能源白皮書

圖 10、日本能源安全指標歷年比較

在歷年安全指標的評比中，日本能源自給率一直比較低，尤其在近年因核電站關閉而大幅下降，雖然再生能源的引進有所改善，但化石燃料的穩定採購對日本的能源安全仍然很重要。此外，若與《2010 年能源白皮書》和《2015 年能源白皮書》的評價相比，能源進口多元化和供電能力穩定（停電時間短）指標發生了顯著變化。在能源進口多元化方面，LNG 進口來源多元化導致進口中斷風險下降，因此有了大幅改善。另一方面，受東日本大地震影響，穩定供電能力（短停電時間）從《能源白皮書 2010》到《能源白皮書 2015》大幅下降。儘管該指數的數據在今年的白皮書有所改善，但還沒有回到《2010 年能源白皮書》標準。未來能源電氣化率將進一步上升，穩定的供電能力（短停電時間）將繼續發揮重要作用。有必要進一步做好防災準備。

在能源多元化方面，日本的評價與其他國家不相上下。從其他國家的分析結果可以發現，由於美國的天然氣發電量逐漸增加，且佔比越來越高，故得分越來越差。而英國的煤炭使用比例正在下降，但由於集中於其他能源，故得分亦正在惡化。

減少能源消耗也可以有效地加強能源安全，因為它也減少了所需的能源量。然而，單純的減少能源支出可能會破壞經濟活動和人民的生活水準。因此，若是透過提高設備的能源使用效率或通過產業和人們行為的改變來

提高能源使用效率，就能實現能源消費減少，但經濟可保持增長且人民生活水準可獲得維持甚至更好。從能源密集度的指標來看，日本的能源密集度雖然低於英國、德國和法國，但仍保持高於美國、中國和韓國的評級，說明能源效率提升仍有許多空間。

五、2020 年能源供需措施現狀

(一)、推動綜合能源政策確保能源供應穩定

誠如上述，2020 年國際能源供需結構改變產生轉變，就供給面而言，2020 年中東情勢緊張、石油輸出一度緊縮，但美國頁岩油革命則持續增加石油與天然氣供應量。就需求面而言，中東與印度預期成為國際能源需求中心，日本在全球能源需求的佔比將會持續下降。

面對國際形勢變化，為確保石油、天然氣資源穩定供應，日本將與美國、俄羅斯、中東等能源輸出國建立密切合作關係，同時與其他能源進口依賴度越來越高的亞洲國家建立合作關係。除此之外，日本將積極發展碳循環技術，作為達成 2050 碳中和目標的關鍵解決方案之一。

此外，日本絕大部分的礦物資源亦高度仰賴進口，包含發展蓄電池、電動車、再生能源設備等重要產業的必要原物料，而稀土、稀有金屬在國際上屬於寡頭市場，預期全球需求將持續攀升，資源競奪將更加劇烈。鑑此，日本將根據各礦種分布、需求情況進評估、增加儲備量。

有鑑於上述國際情勢轉變，經產省設定「3E+S」能源政策指導方針，未來日本將透過日本石油、天然氣、金屬和礦產資源組織（JOGMEC）積極展開資源外交與風險管理，以確保資源供應穩定。與此同時，將加強推動日本周邊海域石油、天然氣、海底熱能的開發，並持續採購穩定的 LNG，以綜合政策確保資源穩定供應。

1. 加強與國際能源輸出國的關係

由於日本約有 90% 的石油、20% 的天然氣從中東進口，此外，自東日本大地震以來，日本即以天然氣為火力發電的主要化石燃料，故確保能源進口供應與價格穩定、開拓能源供應來源多元化、深化與中東石油輸出國的良好關係，皆與日本能源安全息息相關。

具體政策包括日本投資油田探勘及資產收購、投資金屬礦產探勘與債務擔保、推動貿易保險，以及海外投資損失準備金制度、強化與能源輸出國的合作與投資、投資稀有金屬資源與相關基礎設施開發、開展採煤礦技術海外培訓項目等。

2. 改善能源採購條件以降低能源成本

日本是世界上液化天然氣最大的消費國，日本將重新審視 2016 年訂立的《LNG 市場戰略》，並積極推動液化天然氣消費國之間的合作，以建立一個高度流通性的市場，使得液化天然氣國際貿易能夠更加透明。

3. 改善能源採購條件以降低能源成本

海洋資源開發是日本開拓能源的重要策略，日本於 2019 年 2 月修訂的《海洋能源礦產資源開發規劃》，明訂發展目標與路徑、各省廳機關與公私部門的合作方式，並注重人力資源培育、國際合作、海洋環境保護與公民認知溝通。具體政策包含委託廠商執行國內石油與天然氣的地質調查、海洋礦產資源開發評價與技術研究等。

4. 推動循環利用、強化儲備制度，確保礦產資源穩定供應

由於日本高度依賴能源進口，除加強資源外交、積極開發國內資源之外，回收稀有金屬相關設備與技術發展亦相當重要，以此降低稀有金屬的進口量。具體政策包含設立稀有金屬儲備制度、推動零組件與材料的循環利用技術開發等。

(二)、 實現節能社會與靈活的消費活動

日本於 1979 年頒布《節能法》推動節能政策，透過公私部門的合作與努力，至今日本的能源消耗效率提高約 40%，已達到世界最高的節能水準。日本的目標是 2030 年的能源消費效率相較於 2013 年提高 35%，此目標相當具挑戰性。

1. 各部門節能減排工作

企業與家庭部門和工業部門相較之下，能源成本佔總支出的比例較低，因此消費者的節能動機較弱。目前日本將繼續推動「領跑者制度」，要求製造商和進口商提高家電的節能效率，以及隔熱材料、雙層玻璃、窗扇等建築材料的效能，並通過預算補助建設節能建築。

日本 2015 年的節能規劃中，預計運輸部門是節能幅度最大的部門。具體措施包含補助日本將提升客／貨車的能源消耗效率、補貼潔淨能源汽車、推動交通需求管理、推動大幅減輕運輸設備的新型結構材料技術等。

工業部門的節能進程則較為落後，日本預計投入節能資金，並與多個企業合作提出多樣化的創新節能手法。具體措施包含建立工業部門節能標準與審查機制、提供節能補貼與優惠稅制、中小企業節能診斷項目費用補貼、化工業的節能技術開發等。

除各部門節能措施外，日本亦積極推動跨部門節能措施，包含委託民間辦理節能公關廣宣業務、推動脫碳社區發展、研議全球變暖對策稅等。

2. 消費端的能源效率提升

日本積極發展從消費端提升能源效率，包含發展需量反應、虛擬電廠示範案，希望更準確控制能源供需，並致力於發展分散式能源系統。除此之外，日本於 2020 年開始推廣智慧電錶，規劃於 2024 年全國電錶皆改設置智慧電錶。

(三)、 再生能源大量引入，規劃成為主要電力來源

日本自 2012 年 7 月以來實行 FIT 制度，再生能源設置容量已增長約 4 倍，2018 年的第五次能源基本計畫將再生能源定位為主要能源，足見日本對發展再生能源的重視。

當前日本發展再生能源的最大挑戰是擔心造成人民過度負擔，目前日本的再生能源發電成本與國際水準相比仍偏高，因此加速降低再生能源發電成本勢在必行。

此外，隨著以太陽光電為中心發展再生能源，在安全、防災、景觀環境、未來設備處置方式皆引起地方的擔憂，故重要的是建立與在共存的再

生能源。

1. 發展具競爭力的再生能源產業

為降低 FIT 帶給人民的負擔，日本預計於 2022 年推行 FIP 制度，並持續研議調整 FIT 制度的收購價格，且由於引進離岸風力有望大幅提高再生能源設置容量、降低成本，故日本亦積極提升相關產業的競爭力。

為了實現 2050 碳中和願景，日本修改 FIT 制度的投標制度，包含公告最高價格、增加參與投標機會，且投標廠商的資格審查時間從 3 個月縮短為 2 周，並減少沒收保證金的可能性，以提高太陽光電廠商投入市場的誘因。

除此之外，日本亦相當重視離岸風力的發展，並認為離岸風力在實現 2050 碳中和的願景扮演不可或缺的角色，但是過往日本由於以下兩個問題，故離岸風力尚未有重大進展：

- (1) 沒有統一的海域使用規則：過往地方政府通常僅頒發 3-5 年的海域佔用許可證，但相比於 FIT 需要 20 年的使用時間，並不具可行性。
- (2) 離岸風力產業、航運業、漁業之間對於海域利用的協調尚未明朗。

為解決上述問題，2019 年 4 月日本通過《海洋可再生能源發電設施開發相關海洋區域利用法》，根據該法，在不干涉漁業與航運業的前提下，日本得指定海域為推廣區域，公開遴選離岸風力廠商，獲選廠商將可獲得 30 年的海域使用權。自 2019 年 7 月，日本已經選定 11 個區域作為推廣海域，例如長崎縣五島市於 2019 年 11 月被指定為推廣海域，並於 2020 年間公開招募廠商、審查計畫，預計於 2021 年結束審查。

日本預計 2021-2030 年間，離岸風力每年約增加 1 GW 裝置容量，到 2040 年時則達到 30 GW~45 GW 裝置容量，此目標也反應在《綠色成長戰略》之中。

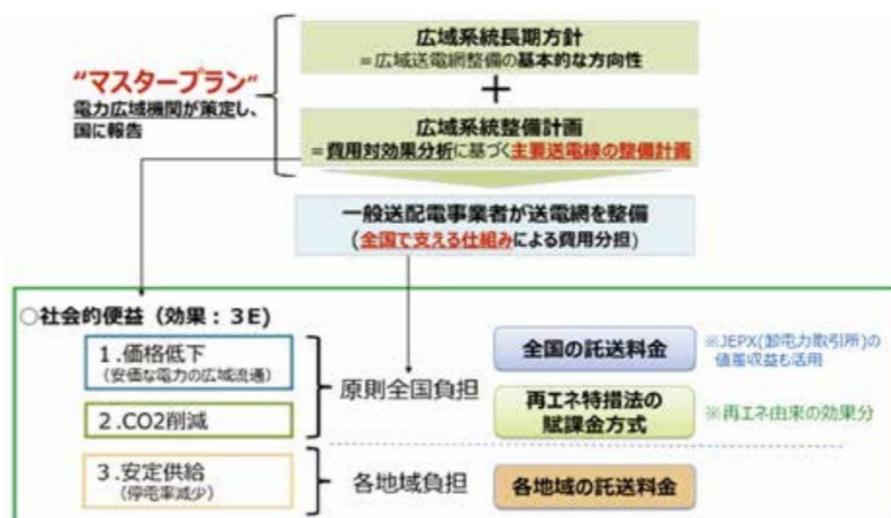
2. 規範再生能源產業

為達到再生能源與當地共存共榮的目標，日本建立許多再生能源相關的規範，包含太陽能發電設備專業技術標準、20~500kW 以下的風力發電

設備自我確認制度等。另外，日本要求獲得 FIT 認證的發電設備皆須於設備上放置標誌與架設圍欄，現地勘查後如有違反者將要求改正。除此之外，日本鼓勵太陽能廠商執行防災準備，投保項目須包含火災險、地震險，且未來將考慮要求太陽光電廠商披露公司的獨立準備金、保險範圍等。

3. 下一代電網的形成

當前日本的輸配電網絡主要是連接大型發電廠與需求地區，但並不一定與具再生能源潛力地區匹配，如欲提升再生能源設置容量，消弭此限制相當重要。此外，要短時間內接收大量再生能源電力進入電網，亦是對電力系統的一大挑戰。為面對上述挑戰，日本執行的具體措施包含積極透過披露出力資料增加出力值的預測性、調整並控制出力手法、電網頻率調整、風力發電電網發展示範工程補助等政策。



資料來源：日本 2021 能源白皮書

圖 11、日本電網加強計畫架構

4. 其他政策、預算、稅收制度等

日本積極運用《關於促進再生能源與農林漁業健康發展協調法》，中央與地方政府、發電業、農林漁業將密切合作，除引入再生能源外，也須同時健全當地農林漁業發展。

就太陽光電補貼政策而言，日本補助建立營農型太陽光電模式，將太

陽光電與精密的農業管理相互結合，並持續補助太陽光電技術產業，以期能透過創新技術突破傳統技術無法安裝地區的限制。在風力方面，日本投入資源擴大離岸風電研發業務、補助開發離岸風電的設備的費用、推動浮動式風力發電示範案。其他再生能源亦同步推動，例如建立生質能示範案場、補貼水力發電產業、地熱資源調查等。其他補助政策包含促進學校使用環境友善設施、脫碳創新區域循環共生建設案等。

在稅制部分，日本透過優惠稅制，建立經濟誘因，使民間廠商願意投入節能、再生能源產業。例如：制定節能再生能源高度化投資促進稅制，而再生能源發電設備通過 FIT 認證後的 3 年內得減免財產稅等。

就其他政策面向而言，為達到 2050 碳中和的目標，2020 年 11 月日本內閣府成立再生能源監管綜合檢查工作小組，迄今已進行 8 次監管會議，會議主題內容包含農地活化規範、風力發電的環境影響評估、如何有效利用森林以擴大風力與地熱發展、電力系統改革等。

此外，日本將縮短風力與地熱發電設備的環境影響評估審查時間，但增加審查項目，除此之外，大規模太陽光電設施於 2020 年 4 月起需執行環境影響評估。

就生質能面向而言，日本於 2012 年制定促進生質能的商業化戰略，決定推動生質能產業城市，創造區域綠色產業循環體系，2020 年共選出 94 個市町為生質能產業城市。此外，日本持續研議生質能的生命週期溫室氣體排放相關問題，由於生質能的原料大量依賴進口，與 FIT 制度減少環境負荷、促進在地發展的初衷有違，故日本預計於 2021 年持續研議是否持續將生質能納入 FIT 制度。

(四)、核能政策發展

1. 核電的環境與政策方向

根據 2018 年的能源基本計畫，日本將繼續在安全、獲得當地社區的理解為前提下，繼續重啟核能機組，而 2020 年 12 月公布的《綠色成長戰略》中，則表明日本將提高核能的安全性並繼續最大限度的使用核能，但同時盡可能減少依賴，並持續開發下一代反應爐。

另一方面，處理核廢料亦是日本使用核能時須面對的重要課題。日本的基本政策是減少高輻射量廢棄物、降低其有毒性與推動核燃料循環。日本六所村廢棄物處理廠於 2020 年 7 月完成變更許可，預計於 2022 年完工，而 MOX 燃料廠也於 2020 年 12 月取得變更許可，預計於 2024 年上半年完工。除此之外，日本亦相當重視擴大核燃料的儲存容量至 6,000 噸，但相關乾式儲存設施仍在申請變更許可。

2. 持續提升核能安全性

福島第一核電廠核災的經驗，促使日本要求核電公司除須遵守監管標準，更要繼續努力電廠安全性，並積極促成核電公司自願改進安全措施。針對長年運作的核電廠，日本於 2020 年公布「核電廠老化評估指南」、「除役管理指南」，並於 2021 年公布相關具體實施方案。未來，日本會不定期檢查並公告各家公司的執行狀況。

為推動核電廠提升安全性，日本成立「日本核能安全協會」、「核能管理委員會」。截至 2021 年 3 月為止，日本核能安全協會共對 13 家核能發電廠進行 21 次評估，致力於改善與維護核電公司的營運技術能力。核能管理委員會則正與核電公司合作，從事風險評估與安全措施研究。

3. 核廢料處置措施持續推進

日本已決定高階核廢料的最終處置措施為深層地質處置，但須同時透過長期技術開發、與國際合作研究核燃料循環，據以達成有效利用核燃料資源、減少核廢料體積、減少高階核廢料等目標。具體政策包含國際協力開發反應爐委託費、日美與日法合作開發反應爐、快中子增殖反應堆循環技術研究與開發補助等。

4. 與國民、地方政府與國際社會建立信任關係

就國民、地方政府建立信賴關係的面向，具體措施包含利用當地居民人流較多的場所辦理聽證會或公關活動，溝通說明福島第一核電廠退役與污染水處理狀況；以向下一代傳播能源和核能政策知識為目的，向大學生

辦理說明會、研討會；派遣專家學者到民間組織、地方政府辦理的認知促進活動、意見交流會，並特別強調重視女性、年輕人的意見。

就建立國際信任而言，日本與國際原子能總署、OECD 等組織積極合作，交流核能知識、向國際分享福島第一核電廠退役的知識與經驗教訓等。

(五)、營造化石燃料高效、穩定運用的環境

1. 促進高效燃煤、LNG 火力發電的使用

日本認為在推動節能、提高再生能源使用佔比時，提升燃煤、LNG 的發電效率是確保能源安全、降低能源成本的重要課題，故積極提升燃煤機組效率技術。舉例而言，日本在大崎島推動的 COOLGEN 計畫，此計畫分為三個階段，階段一：IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle, 整合的燃煤氣化複循環系統)；階段二：IGCC + CO₂ 回收；階段三：IGFC (Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle, 整合的煤炭氣化燃料電池複循環系統) + CO₂ 回收。該計畫自 2019 年起已進入第二、第三階段，未來將持續推進。

此外，日本將推動 1700 級高效燃氣輪機示範試驗案、開發氫燃料火力發電技術，並與其他國家分享、研討火力發電先進技術。

日本現在著重於脫碳政策，故 2020 年 12 月通過的《2025 基礎設施系統海外擴張戰略》，即明示將減少對化石燃料的海外投資，並深入參與合作夥伴國家的能源與環境政策，協助其優化政策、加入脫碳的行列。除此之外，日本為持續降低火力發電造成的環境汙染，故推動新建或重建高效能火力發電廠，在淘汰低效率火力發電機組、更換高效率機組的前提下，環評時間從 3 年縮短為 1 年。

目前，日本仍以 2030 年度整體電力排放係數 0.37kg-CO₂/kWh 為目標，故每年皆會盤點排放係數目標、能源結構、最新發電技術，以確認此目標得以實現。

2. 重建石油與液化石油氣產業

日本 2019 年的石油需求相較於 1999 年下降約 30%，且根據《2021-2025 年石油產品需求預測》，預計未來將以平均 2% 的速度持續下降。

日本將透過推動煉油業的異業合作，提升國內煉油廠的競爭力與產能，並協助其業務範疇拓展至海外市場，以及設備優化與提升附加價值等面向，鞏固國內煉油業的盈利能力、控制製造成本。但另一方面，日本亦持續監測石油產品的批發、零售價格，以建立公平透明的石油產品交易體系。

除此之外，日本亦持續提升石油與液化石油氣的供應系統穩定度，具體措施包含加強加油站的地下儲罐拆除和洩漏預防措施，並加強私人發電提供了環境和安全措施。另外，液化石油氣供應網絡已遍布全國，目前全國約有 40% 的家庭使用液化石油氣，主要用途為供熱，並可於災害發生導致其他燃料供應中斷時，扮演「最後的堡壘」角色。

3. CCUS/促進碳循環

日本依據 2019 年提出的《碳循環技術路線圖》，提出將二氧化碳分離回收，轉換成化學品、燃料和礦物等，並設定 2030 年和 2050 年以後各種製造技術的目標。2020 年 12 月公布的《綠色成長戰略》中，碳循環產業已被劃為重要發展領域之一，由此可見日本將碳循環、CCUS 技術是為達成 2050 碳中和的關鍵技術之一。日本現積極於國際會議上與各國交流、討論 CCUS 技術，例如 2019 年 9 月日本曾主辦第一屆碳循環國際會議，並與澳洲簽署合作備忘錄。

(六)、 推動能源供給結構改革，掃除市場壁壘

2016 年 4 月，日本全面開放電力零售化，所有消費者都可以自由選擇電力零售商、收費方案。截至 2021 年 3 月，日本共有 713 個單位註冊為電力零售商。日本將穩定推動電力、燃氣、供熱體制改革，消除市場壁壘，打造綜合型能源市場，並透過業界良性競爭，實現能源選擇自由最大化的願景。

1. 推動電力體制改革

自 2019 年起，日本電力與天然氣市場監督管理委員會決定每年 9 月進行調查以嚴格監控電力零售市場交易狀態、確保電力零售交易正常，每年約公布 2 次調查結果。

如零售電力交易市場價格突然飆升，電力與天然氣市場監督管理委員會除會通知消費者外，亦會提供實質協助。舉例而言，2020 年 12 月時，電力零售市場價格飆升，將一定程度影響選擇「市場價格連動方案」的消費者，故電力與天然氣交易即密切監控，2021 年 1 月 14 日，委員會設立消費者諮詢平台，協助消費者確認合約內容、告知消費者如何轉換合約。另一方面，電力與天然氣市場監督管理委員會亦會根據《電氣事業法》對電力零售公司提供勸告、指導。

根據《促進能源供應商使用非化石能源和有效利用化石能源原料法》，電力零售商須於 2030 年達到非化石能源佔其採購的電力來源 44% 以上，由於過往電力批發市場並不區分化石能源、非化石能源，致使零售商難以達成前述義務，且非化石能源的環境價值亦無法被體現。

故日本建立「非化石燃料證書」制度，將非化石燃料證書區分為 FIT 非化石燃料證書以及非 FIT 非化石燃料證書，並創設非化石證書交易市場，此制度除可使零售商實現其義務外，亦可增加消費者選擇潔淨能源的空間，且銷售 FIT 非化石證書還能減緩國民 FIT 賦課金（電費中的附加費）負擔。FIT 非化石燃料證書於 2018 年 5 月首次舉行拍賣，非 FIT 非化石燃料證書則於 2020 年 11 月首次拍賣，未來預計每季度舉行 1 次拍賣。

除此之外，日本預計在 2021 年完成輸配電業運輸費上限制度的法規調整，並預計於 2023 年正式上路。

2. 推動燃氣與供熱體制改革

日本於 2017 年 4 月全面開放燃氣零售業，燃氣體制的改革乃為確保天然氣供應穩定、控制天然氣價格、多樣化收費方案、擴大天然氣使用方式。除此之外，日本的 3 大天然氣公司管線部門將在 2022 年 4 月起將供氣即導管部門進行法人分離。至 2021 年 3 月為止，共有 88 個單位註冊為燃氣零售商，除此之外，根據《電氣事業法》過渡措施，203 家原為普通

燃氣公司及 1174 家簡易燃氣公司，皆轉變為燃氣零售商。

而供熱體制的改革則於 2013 年開始進行，2016 年實施的供熱體制改革中，供熱業由許可制改為登記制，並取消費率調控與供熱義務、落實消費者權益保護制度等。

(七)、 強化國內能源供應網絡

日本於 2018 年通過《國家抗災基本計畫》、《2019 年國家抗災年度計畫》，促進國內能源供應網絡的抗災量能。

1. 加強石油儲備以因應海外供應危機

日本於 2009 年起在阿拉伯聯合大公國和沙烏地阿拉伯的「產油國共同儲備」策略，是由日本民間租借產油國國營石油公司的油槽，當有緊急情況時，保證優先供應日本企業。除此之外，2020 年日本與科威特石油公司簽署新的聯合石油庫存協議，提升石油儲備實力。

在液化石油氣儲備方面，2013 年 3 月至今日本已建成 5 個國家儲備基地，目前國家儲備日標（50 天）、民間儲備義務（40 天）皆已達成。

2. 加強面對國內災害的應變能力

就供給面而言，自從東日本大地震後，日本即專注在從軟、硬體面向加強石油、液化石油氣供應的穩定度。日本從硬體層面提升煉油廠的抗震能力、油庫、加油站的安全性等，並擴大汽油、煤油、輕油、重油的儲存量，目前各約儲存 4 天的國內需求量，亦加強東西向變頻設備、區域間互聯線路。另一方面，日本辦理許多培訓課程，避免災難發生時人為不當操作。例如：自然資源及能源廳則開始推動「災難時石油供應合作計畫」，在 2016 年的熊本地震中，中央政府、地方政府、石油業及共同合作，對於燃料供應者在職培訓。防衛省與自衛隊亦與地方政府合作，演練私人油罐車難以運輸燃料時該如何應對的緊急情境。

自需求面來看，日本透過支持災難疏散中心等社會重要基礎設施引入液化石油氣罐、油罐，以確大眾於災難發生後進入疏散中心後，仍有一定

的能源可供使用。

3. 確保正常時期穩定供應

日本政府須確保在非災難時期，能確保國內石油產品供應穩定，尤其是須確保人口稀少地區、偏遠島嶼的人民獲得穩定能源，具體措施包括提供偏遠島嶼、人口稀少地區石油產品配送合理化的補助、當地能源供應基礎設施工程費用等。

(八)、 建構穩健的能源體系，向氫能等新型二次能源結構轉型

目前最被廣泛使用的二次能源即是電能、熱能，當前日本積極發展汽電共生、電動汽車、燃料電池、氫能、蓄電池等技術。

1. 促進汽電共生和引入電力儲存系統，以更有效率的利用電力

日本推動汽電共生、儲能系統的具體措施包括補助儲能電池技術開發產業、大型儲能系統工程，並推動虛擬電廠建設示範案、提供區域微電網建設補助等方案。

2. 推動使用各種能源的運輸工具相關技術

日本自 2017 年起即開始研討燃料電池汽車、氫能相關的法規，並補助電動車與油電混合車的充電基礎設施。除此之外，由於 2020 年 1 月起國際對船舶燃料油中的含硫濃度更嚴格控管，故預期使用 LNG 作為燃料的船舶數將逐漸攀升，為此日本提供補助、積極建設 LNG 加注基地。

3. 加速氫能發展

日本是最早關注氫能發展的國家之一，於 2017 年 12 月即制定「氫能基本戰略」，描述氫能及燃料電池戰略路線圖。此外，2020 年 12 月制定的「綠色增長戰略」中，氫能被定位為 2050 實現碳中和的關鍵技術，並有望廣泛運用於電力、交通、工業等領域。國際上，澳洲、德國、法國、歐盟等國家或地區皆公布氫能戰略圖與路線圖，並表示氫能為脫碳路徑的關鍵

之一，顯見積極發展氫能技術與應用已是國際共識。

日本為全面發展氫能，須大量採購氫氣，為此日本正積極建設國際氫供應鏈，日本預計於 2021 年年底完成澳洲褐煤生產的氫氣液化並將其運輸到日本的示範案，並預計於 2030 年實現國際氫供應鏈的商業化。

2020 年 12 月，共有 126 加企業聯合組成氫價值鏈促進委員會，產業面向橫跨汽車、化工、金融等，期待廣泛與地方議會合作，推動氫能應用相關產業。

除此之外，日本亦積極發展氫燃料電池車市場，日本產業已於 2016 年推出氫燃料電池客車，並以於 2022 年開發大型燃料電池卡車為目標持續努力。為普及氫燃料電池汽車與氫能加注站，日本將推動氫能加注站建設、法規審查、技術發展等，並將相關技術拓展至船舶、鐵路車輛等。另外，日本亦積極發展大型氫燃料燃氣渦輪發電機、在煉鐵過程以氫作為還原劑或燃料等技術。

4. 擴大氫燃料的引進

由於氫燃料在燃燒過程中不會排放二氧化碳，故亦被視為脫碳的重要手段之一。依據《氫能基本戰略》，由於氫的運輸方便性，故被定為為氫的能源載體，以降低直接燃燒時氮氧化物排放，確保可燃有毒物質的安全性課題，預計到 2020 年代中期，開始使用無二氧化碳的氫氣，並將積極發展純氫發技術，以大幅降低二氧化碳排放量，但目前仍以發展氫於燃煤發電的混燒技術為主軸。

(九)、國際能源全面合作的發展

在世界能源形勢急劇變化的情況下，為使各國能源供需結構更加穩定高效，多雙邊能源合作戰略性結合，擴大國際合作具有重要意義。

1. 通過多邊框架開展合作

IEA 成立於 1974 年 11 月，是美國在第一次石油危機之後倡導的石油消費國之間的合作組織，最初主要活動是解決能源問題的國際合作，例

如根據國際能源計畫（IEP）和應急響應協議的 90 天石油儲存義務。現在的 IEA 主要活動有：(1) 低碳促進技術開發/節能、低碳技術發展/傳播、低碳技術研發技術合作的政策建議；(2) 國際石油市場、全球能源供需、能源技術等展望的製定和發布；(3) 協助中國和新興國家、產油國等建立合作關係。

在 IEA 成立之時，世界石油需求的 70% 左右被西方先進國家佔據，因此成員國主要是西方先進國家，但近年來越來越多新興國家加入，也因此產生變化，2021 年 1 月，聯盟國印度與 IEA 簽署框架文件，建立戰略夥伴關係，這是加強合作的新立場。

2020 年日本挹注國際能源總署 8.7 億日圓，作為國際能源總署在世界展望報告、基本活動與維持營運的資金。在 2020 年也因應 Covid-19 提供 7.9 億日圓給亞洲等新興國家進行能源領域財務上的協助和脫碳所需的模型工具等費用。

在亞洲地區多邊合作的部分，提供了東盟約 6.3 億日圓的資金開發一個可以穩定確保廉價燃料採購的國際環境，包括最新趨勢調查，例如引入電動汽車和氫作為新能源的潛力。

除上述的合作外，日本也在 APEC、IRENA、IOSCO 等組織合作，並提供不少資金供這些組織營運、補助案和開發各種能源評估工具。

2. 促進雙邊合作

(1) 美國

美國於 2019 年 9 月，成為 70 年來首次成為石油淨出口國，即原油貿易出口超過進口。在天然氣領域，2017 年日本首次進口頁岩氣 LNG，此後美國產 LNG 進口量持續擴大。日本和美國之間，包括液化天然氣領域的合作在內的各個領域的能源合作正在取得進展。2020 年 6 月，日本經濟產業省和美國商務部在線召開日美能源合作工作組，討論雙邊合作進展和促進能源領域貿易投資。除了政府間會議之外，該工作組還舉行了公私會議，以在有關各方之間廣泛分享日本和美國的能源政策。2020 年 7 月，日本三井物產和日本石油天然氣和金屬國家公司(JOGMEC)將共同投資開發莫三

比克第一區 LNG 項目，並簽署鉅額貸款協議，此項目法國的道達爾能源集團(TotalEnergies Group)亦參與集中，此項目亦獲得美國進出口銀行、NEXI 和 JBIC 等公共金融機構的支持。

(2) 加拿大

加拿大是世界領先的能源資源國家之一，除石油、天然氣、煤炭和鈾外，還擁有豐富的水電資源。2020 年 6 月，經濟、貿易和工業部和加拿大自然資源部宣布以 2019 年簽署的能源領域合作備忘錄為基礎，舉行了日加能源政策對話。在政策對話中，日本確認了日加在各個能源領域合作的進展，並討論了未來合作行動計畫的製定。2020 年 12 月，第 30 屆日加經濟副部長級會議(JEC)在線上舉行，兩國元首就近期國際經濟形勢和自由開放的印太等問題進行了交流，討論了包括能源在內的五個優先合作領域。

(3) 英國、法國在核能方面的合作

在 2020 年 12 月舉行的第 9 次日本和英國年度對話上，日本基於 2012 年 4 月日本和英國首相發表的聯合聲明，主旨在核能政策、退役和環境恢復的部分進行合作，並在核研發、公眾傳播、核安全和監管等方面的看法和努力交換了意見。

日本與法國在 2021 年 1 月，就核安全合作、核事故應急響應、核燃料循環、放射性廢物管理、核研發、東電福島第一核電站退役、場外環境恢復等問題交換了意見。

(4) 亞洲

印度是僅次於美國和中國的世界第三大能源消費國，預計未來由於經濟發展和電氣化進步，能源需求將進一步增加。確保印度能源資源的穩定供應、提高能源效率對日本的能源安全也很重要，是直接關係到兩國經濟發展的重要政策問題。從擴大兩國在能源領域合作的角度出發，響應 2006 年峰會協議，啟動了部長級框架日印能源對話。2007 年以來，兩國部長通

過互訪共舉行了 10 次對話。

印尼是日本石油、天然氣和煤炭等自然資源的主要進口國，幾家日本公司正在參與許多液化天然氣項目和再生能源相關項目。此外，日本和印尼亦是煤炭和液化天然氣等資源能源領域的重要合作夥伴，自 2012 年以來，雙方舉行了旨在討論兩國能源政策和推動個別項目的雙邊對話。

越南是資源豐富的國家，擁有豐富的煤炭、石油/天然氣、礦產資源，是日本優質無煙煤的重要供應國。2020 年 8 月，第四屆日越工業、貿易和能源合作委員會和第三屆日越能源工作組分別於線上舉行。這一次，雙方就能源政策、石油/天然氣、煤炭、可再生能源、智能電網、節能等方面的合作進行了討論。預計這將進一步加強與日本在能源需求快速增長的越南於能源領域的合作。

中國是世界上最大的能源消費國，提高中國的能源效率是日本能源安全的重要課題。2020 年 12 月，作為促進日本公共和私營部門之間節能和環境合作的平台，以連接東京和北京的在線形式舉辦了「第 14 屆日中節能與環境綜合論壇」。日方經濟產業大臣梶山、宗岡正司、日中經濟協會會長等交換了 14 份合作項目文件。

(5) 俄羅斯

俄羅斯是世界主要的油氣生產國之一，在 2016 年 5 月的日俄首腦會議上，安倍首相向普京總統提出的八項合作計畫中，在八個領域提供廣泛的合作，包括能源領域。2016 年 11 月，日俄能源倡議理事會成立，由經濟產業大臣世耕和能源大臣諾瓦克擔任主席，日俄在碳氫化合物、核電、節能和再生能源等領域開展合作。2020 年 5 月~10 月，日俄間持續通過電話會議的方式討論了八項合作計畫下各領域民間項目的進展情況，共進行了 5 次電話會議來確認合作計畫的執行進度。

(十)、 推進戰略性技術開發

只要能源政策是從現有技術和供給結構進行延伸，就難以從根本上解決日本能源供需結構薄弱的問題，因為這意味著日本很多資源都仍須依賴

國外進口。因此，日本為了提升能源自給率，需要有創新機制來推動轉型，藉以促進創新企業主導環境和增長的良性循環，並引導綠色金融資金流向前述產業環境。

2020年10月，菅義偉首相在其聲明中宣布以2050年實現碳中和為目標。然而，碳中和並非易事，日本必須全力以赴。為此，必須脫碳技術須快速發展，因此將需要：(1) 明確成熟度的目標，(2) 研發/示範，(3) 監管改革和標準化等系統開發，以及(4) 實施包括國際合作在內的《綠色成長戰略》，並制定規劃和運用基金的專案，為創新技術發展提供持續支持，促進創新技術在社會上的應用。

為實現到2050年的碳中和目標，日本將基於能源衍生的二氧化碳約佔日本溫室氣體排放量的85%的事實，對能源轉換部門進行改革，並重組製造業等工業部門。為此，以到2050年新的創新技術的普及為目標，基於《綠色成長戰略》的執行計畫必須要盡早開始執行，未來日本的公司若有具體的目標、規劃和承諾，將可得到政府未來十年的資金支持。

詳細的技術細節，可以參考上文(二)、(三)、(四)、(五)、(八)中提及的節能、再生能源、核能和新能源的相關作法。

(十一)、 深化對能源的認識，與各級人民交流

由於能源是人們生活和工業活動的基礎，因此每個公民都必須自己思考和行動，以解決各種與能源相關的問題。

1. 能源政策傳播和公共關係

人民、中央政府、地方政府、企業等各主體從不同的角度、不同的立場就能源進行各種交流和討論在當今社會顯得尤為重要。國家政府首先進行公眾聽證會來理解想法，以掌握人們想要了解的能源資訊，並在此基礎上全面了解人們對於日本的能源狀況、關注程度和背景知識的狀態。

日本政府過去接受公眾意見、在網站上發表意見和召開座談會，努力了解人們對能源政策的需求和態度。在提供資訊的同時，不僅提供國內外能源動向，還提供各種發電方式的特點和問題等能源基礎知識，以及能源

領域應對氣候變化的對策等支持人們思考能源問題的資訊。

為了讓人們更容易了解日本能源的狀態，日本政府製作了一本小冊子—日本的能源，共印刷約 30,000 份，通過照片和圖表以易於理解的方式介紹了日本的能源現狀，並將其分發給希望在課堂上使用它的工業、公共設施、學校等，以傳播有關能源的知識

除了小冊子外，日本政府在自然資源和能源局網站上發布了大量關於能源最新趨勢、國際形勢、每種能源的作用和相關術語的文章。文章根據內容大致分為能源安全/資源、全球變暖/節能、福島、電力/天然氣、再生能源/新能源、核電、安全/防災和綜合能源/其他等主題。

2. 加強雙向溝通

遵循能源基本計畫，為能增進兒童和學生對能源的興趣和理解，並為就未來能源做出適當的決策和行動奠定基礎，故日本針對節能、再生能源和核電議題製作老師用的參考書小冊子，供老師上課使用。

此外，為了讓學生能有實踐的機會，成立了區域能源教育實踐活動促進委員會作為推動區域能源教育的基地，並致力於形成一個參與研究/實踐、傳播/啟蒙和能源教育的人脈網絡。為了協調和推動區域能源教育實踐活動促進委員會，日本政府成立了社區實踐活動評估會議（全國會議）來進行跨區的討論和協調。

另外，也透過舉辦小學生報刊比賽，鼓勵學生在學校、家庭和社區中的實際行動為目的進行投稿，並頒發經濟通商大臣工業獎、自然資源和能源署專員獎等優秀作品獎。

除上述的部分外，日本政府也舉辦針對一般民眾的公眾聽證會和公關業務，促進公眾對再生能源、核電和氫能等新能源的了解。

六、 結論與建議

碳中和或淨零排放已是國際趨勢，全世界目前已有超過 120 個國家宣示碳中和，但實際拿出行動方案和規劃路徑圖的國家寥寥無幾。日本自 2020 年 10 月由首相提出要 2050 碳中和以來，已有多個研究報告陸續產

出，如 2020 年 12 月提出《綠色成長戰略》，明確表示要將再生能源和核電做為未來主要減碳做法，但並未有明確數字。隨後在 2021 年 5 月的經產省研討會會議上，提出因應首相 2030 年要達成 2013 年 46%減碳的目標，日本 2030 年的能源占比中，將有 40%來自再生能源、20%來自核電，並預告在 2021 年夏季的第 6 次基本能源計畫上，將提出完整的未來能源配比規劃。

從日本 2021 年能源白皮書中，可觀察到日本除持續規劃和討論可能路徑外，業已開始大量投資新技術的開發、積極規劃與國外合作的各種可能性（如進口低碳氫），並與民間開始密切合作討論如何創造公私部門攜手邁向碳中和的做法（如主要排碳產業的製程改進或燃料替代等）。

我國蔡英文總統在 2021 年 4 月 22 日響應世界地球日，宣示台灣正積極部署在 2050 年達到淨零排放目標的可能路徑，目前各部會正積極討論各種可能性。由於我國能源依存度和天然資源缺乏的情況與日本相仿，因此，我國淨零排放的計畫，或許可借鏡日本的做法，針對我國相對較具優勢的部分強化投入，或納入政策規劃或推動之參考。