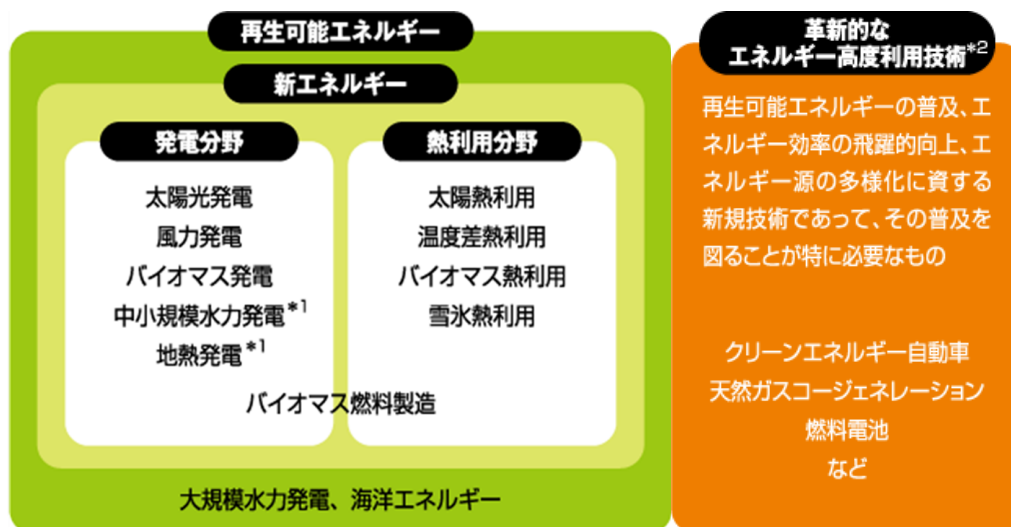


I. 再生可能エネルギーにおける風力発電の位置づけ

1 再生可能エネルギーの導入意義

「再生可能エネルギー源」については、エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律(エネルギー供給構造高度化法)において、「太陽光、風力その他非化石エネルギー源のうち、エネルギー源として永続的に利用することができるものと認められるものとして政令で定めるもの」とされており、政令において太陽光、風力等のエネルギー源が定められている。また、「新エネルギー利用等」については、新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(新エネルギー法)において、「石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律第二条に規定する石油代替エネルギーを製造し、若しくは発生させ、又は利用すること及び電気を変換して得られる動力を利用することのうち、経済性の面における制約から普及が十分でないものであって、その促進を図ることが石油代替エネルギーの導入を図るため特に必要なものとして政令で定めるもの」とされており、政令において太陽電池の利用や風力の発電利用が定められている。

このような法律上の位置付けも踏まえると、再生可能エネルギーとは、図 I.1-1 に示すように分類され、風力発電は再生可能エネルギー及び新エネルギーの発電分野に属する。なお、再生可能エネルギー及び新エネルギーには分類されていないが、革新的なエネルギー高度利用技術としてその普及を図ることが特に必要であるとされているものに、クリーンエネルギー自動車、天然ガスコージェネレーション、燃料電池等がある。



*1：中小規模水力発電は未利用水力を利用する 1,000kW 以下、地熱発電はバイナリー式⁺に限定

*2：新エネルギーとされていないが、再生可能エネルギーの普及、エネルギー効率の飛躍的向上、エネルギー源の多様化に資する新規技術であって、その普及を図ることが特に必要なもの

図 I.1-1 再生可能エネルギーおよび革新的なエネルギー高度利用技術の構成
(資源エネルギー庁, 2006)

+ バイナリー式：地下から取り出した蒸気・熱水で、水より沸点の低い液体（ペンタン等）を加熱・蒸発させ、その蒸気でタービンを回す方式である。加熱源系統と媒体系統の 2 つ (binary) の熱サイクルを利用して発電する。

REN21（2013）は、再生可能エネルギーの普及見込みに関して様々な機関や団体が発表した 50 余りのシナリオを取りまとめ、世界のエネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合を以下の 3 つに分類している。

- 高位のシナリオ：50-95%（国際環境 NGO グリーンピースや地球環境行動会議が 2012 年に発表したシナリオで、2050 年までの目標）
- 中位のシナリオ：30-45%（国際エネルギー機関による ETP2012 の予測で、これは IPCC（気候変動に関する政府間パネル）がまとめた気候変動を緩和するためのシナリオで、2050 年までの目標）
- 低位のシナリオ：15-20%（国際エネルギー機関やエクソンモービル社のシナリオで、2035 年～2040 年までの目標）

高い普及率のシナリオを実現する鍵は、家庭・産業・交通の全ての部門で、エネルギーの無駄をなくし、エネルギー需要の増加をどのくらいに抑えるかにある（水谷編,2014）。

我が国のエネルギー需給構造は、エネルギー消費が伸びている中であって、エネルギー資源の大部分を海外からの化石燃料に依存しており、安定したエネルギー供給にはほど遠い状況にある。また地球温暖化問題に対する世界的な対応が求められる中、温室効果ガスの大半をエネルギー起源の二酸化炭素が占める我が国にあっては、低炭素社会の実現に向けて一層の抑制・低減が求められている。

そのような状況下において、再生可能エネルギーの導入には以下に掲げる主に 4 つの意義があり、その普及はエネルギー安全保障、地球環境への貢献のみならず、裾野の広い産業への発展の可能性をはらんでいる。

i エネルギーの安定供給

国産のエネルギーである再生可能エネルギーの導入によって、エネルギーの安定供給が図られる。また、海外から輸入するエネルギー資源の依存度が低くなるため、エネルギーセキュリティも向上する。

ii 二酸化炭素（CO₂）排出量の削減

二酸化炭素に代表される温室効果ガスの実効性の高い削減策として「再生可能エネルギー」、「原子力エネルギー」および「CCS*を伴う火力発電」の 3 つの柱が掲げられ（*：火力発電所から排出される燃焼ガス中の二酸化炭素（C）を捕獲（C）し、地中深く貯留（S）する技術）、これらの低炭素エネルギーの比率を 2050 年までに今の 3-4 倍に高めることにより、今世紀末の気温上昇を産業革命前に比べて 2℃未満に抑えられる可能性が高いとされている。なお、2℃未満の上昇であれば悪影響の度合いが受容可能な範囲に収まるため、国際的な合意と整合した目標となっている。

iii 産業振興・雇用促進

再生可能エネルギーに関わる技術は、電気製品、素材、住宅等の幅広い産業が関係する技術であり、新技術や商品の開発過程において新規市場や雇用の創出につながる（資源エネルギー

庁,2007)。大型風車は、1-2 万点の部品による量産組立製品で労働力と多様な部品産業が必要であることから（図 I.1-2）、風力発電は再生可能エネルギーの中でも、その導入拡大によって相当の経済効果が見込まれる発電方式である（豆知識 I.1-2、参照）。

参考までに、IRENA（2016）は、2015 年に世界の風力発電産業で 108.1 万人の雇用が創出されたことを発表している（再生可能エネルギー全体では 810 万人）。

iv その他

再生可能エネルギーは、送電時のエネルギー損失の低減、災害等の緊急時に自立型電源として活用できる等、分散型エネルギーシステムとして利点がある他、電力の負荷平準化（ピークカット効果）も期待できる（資源エネルギー庁,2007）。2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災を踏まえて、地域自立型のエネルギーである再生可能エネルギーへの期待は高まっている。

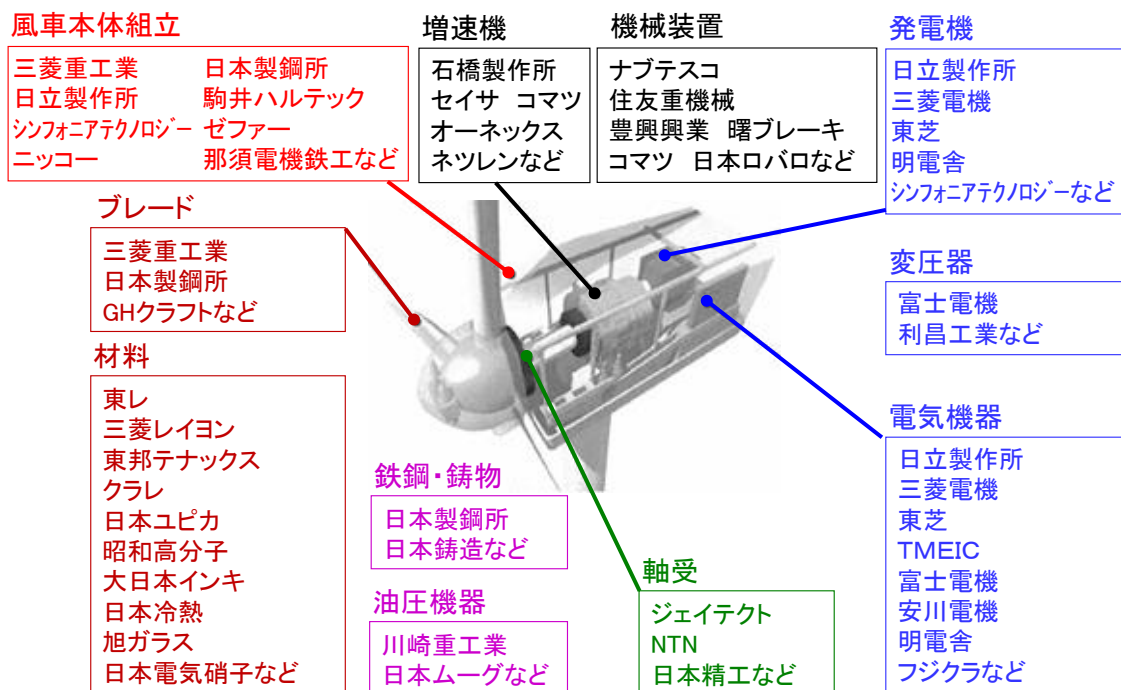


図 I.1-2 風車の主要なコンポーネントメーカー（前田, 2013）

なお、2014 年 4 月 11 日に閣議決定された第 4 次エネルギー基本計画では（豆知識 I.1-1、参照）、再生可能エネルギーの積極的な推進がうたわれている。また、2015 年 7 月に示された長期エネルギー需給見通しでは、再生可能エネルギーの最大限の導入拡大がうたわれている。2030 年度の総発電電力量のうち再生可能エネルギーは 22-24%を担い、風力発電は総発電量の 1.7%を占めるとされている。2030 年度における風力発電の導入見込み量は、表 I.1-1 のように陸上風力で 918 万 kW、洋上風力で 82 万 kW、合計 1,000 万 kW とされている。

表 I. 1-1 2030 年度における風力発電の導入見込み量（経済産業省, 2015）

	設備容量	発電量
陸上風力	918万kW	161億kWh
洋上風力	82万kW	22億kWh
合計	1,000万kW	182 億kWh

※発電量(kWh)については、設備利用率（陸上:20%、洋上:30%）を用いて機械的に試算した。出力制御の状況によって導入量は変わりうる。

【豆知識 I. 1-1】

●第4次エネルギー基本計画における再生可能エネルギーに関する記述

- ・再生可能エネルギーは重要な低炭素の国産エネルギーである。
- ・再生可能エネルギーは 2013 年度から 3 年程度、導入を最大限加速し、その後も積極的に推進する。
- ・再生可能エネルギーの関係閣僚会議を創設し、政府の司令塔機能を強化する。
- ・再生可能エネルギー・省エネルギー技術、原子力などのインフラの国際展開を推進する。

【豆知識 I.1-2】

「日本における風力発電関連機器産業の現状」

●売上高等

2009年度から2013年度まで減少傾向にあった。その理由は「2008年のリーマン・ショックによる世界的な不況」、「固定価格買取制度の施行（2012年7月）に伴う建設補助金制度の廃止」等により風車の導入が進まなかったことに起因する。しかし環境影響評価が終了した事業が増えてきたため、2014年度には、2012年度と同程度まで回復している。

●2014年度における産業統計の特徴

- ・国内の風車産業の売上高・国内生産量は1,036億円と、2012年度と同程度まで回復。
- ・国内の生産・売上高の約27%が風車本体、残りの約73%が風車部品。
- ・海外の生産高は風車部品のみ。
- ・大形風車では、国内の生産・売上高の4.3%を海外に輸出。
- ・大形風車では、購入部品額に対する海外調達額の割合は55.2%。
→この割合が少ないほど国内から部品を調達していることになり、二次波及効果が大きくなる。

対象年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度	備考	
参加企業数(社)	75	72	57	68	59	64	・風車：マイクロ風車、小形風車、中形風車、大形風車を全て含む集計値 ・風車部品等：ブレード、ロータハブ、制御盤、軸受、発電機、タワー等の集計値	
国内工場数(箇所)	92	89	67	76	72	69		
風力関係従業員数(人)	3,097	2,460	2,279	3,313	2,969	3,537		
売上高・国内生産量(百万円)	風力発電機本体	156,252	81,020	76,202	71,905	8,468		28,375
	風車部品等	95,082	72,975	35,579	32,062	45,755		75,210
	合計	251,334	153,995	111,781	103,966	54,222		103,585
海外生産量分(百万円)	風力発電機本体	—	79	0	6	0		0
	風車部品等	—	54,249	17,152	12,598	1,273		6,858
	合計	—	54,328	17,152	12,604	1,273		6,858
総合計(百万円)	—	208,323	128,933	116,570	55,495	110,443		

「大形風車の資金の流れ」

対象年度	2009年度		2010年度		2011年度		2012年度		2013年度		2014年度	
風車工場数(箇所)	7		7		4		4		4		4	
風車従業員数(人)	903		650		500		460		254		320	
風車売上高(百万円)	152,510		79,900		75,700		71,638		7,875		27,438	
海外出荷額(百万円)	125,783	82.5%	59,694	74.7%	65,960	87.1%	63,410	88.5%	0	0.0%	1,190	4.3%
購入部品額(百万円)	97,214	63.7%	54,332	68.0%	51,266	67.7%	48,486	67.7%	5,716	72.6%	21,745	79.3%
海外調達額(百万円)	52,643	54.2%	24,679	45.4%	26,173	51.1%	24,916	51.4%	2,911	50.9%	12,005	55.2%

注) 海外出荷額と購入部品額の百分率は風車売上高に対する割合を示す。
海外調達額の百分率は購入部品額に対する割合を示す。

「データの出典」

- ・財団法人機械振興協会経済研究所（2011）：風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書
- ・一般社団法人日本産業機械工業会（2012）：風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書
- ・一般社団法人日本産業機械工業会（2013）：風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書
- ・一般社団法人日本産業機械工業会（2014）：風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書
- ・一般社団法人日本産業機械工業会（2015）：風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書
- ・一般社団法人日本産業機械工業会（2016）：風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書

2 風力発電の優位性

我が国の 2016 年度の発電電力量のうち、再生可能エネルギーの占める割合は 14.5%（水力を除く再生可能エネルギーは 6.9%）となっている。これは、水力を除く再生可能エネルギーの割合が 30%以上を占めるスペイン、ドイツと比較して、低い水準にある。

前項で示したように、我が国のエネルギー供給、地球環境等、エネルギーを取り巻く情勢は逼迫しており、再生可能エネルギーの導入促進に大きな期待が寄せられている。このようなエネルギーを取り巻く状況下にあつて、政府は 2012 年 7 月に固定価格買取制度を設けて、太陽光・風力・水力・地熱・バイオマスについて電気事業者が国が定めた調達価格・調達期間での再生可能エネルギー電気の調達を義務付けることとした。固定価格買取制度を定めた法律を「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（以下、再生可能エネルギー特別措置法）」という。

再生可能エネルギー特別措置法の施行により固定価格買取制度の導入前（2012 年 6 月末まで）までの再生可能エネルギー累積設備導入量は約 2,060 万 kW であったが、導入後の 2012 年 7 月から 2017 年 9 月末までに新たに運転が開始された設備導入量は約 3,907 万 kW で、制度開始前と比較して導入量が 2 倍以上になっている。中でも、太陽光発電（非住宅）の導入量が顕著で、制度開始後の導入量は太陽光が 9 割以上を占めている。

世界における一次エネルギー消費の予測によれば、再生可能エネルギーは導入量及び全エネルギーに占める割合ともに増えていくと予想されている（図 I.2-1）。また、IEA は世界の再生可能エネルギーによる発電量に関する導入予測を公表している（図 I.2-2; 図 I.2-3）。それによれば、2040 年には、総設備容量が 40 億 kW（4,000GW）超、発電電力量が 10 兆 kWh（1,000 万 GWh）に近づき、総発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合は 2040 年には 40%に達するという予測になっている。ここで注目されるのは、再生可能エネルギーの中でも風力発電が大きな割合を占めていることである（豆知識 I.1-3、参照）。

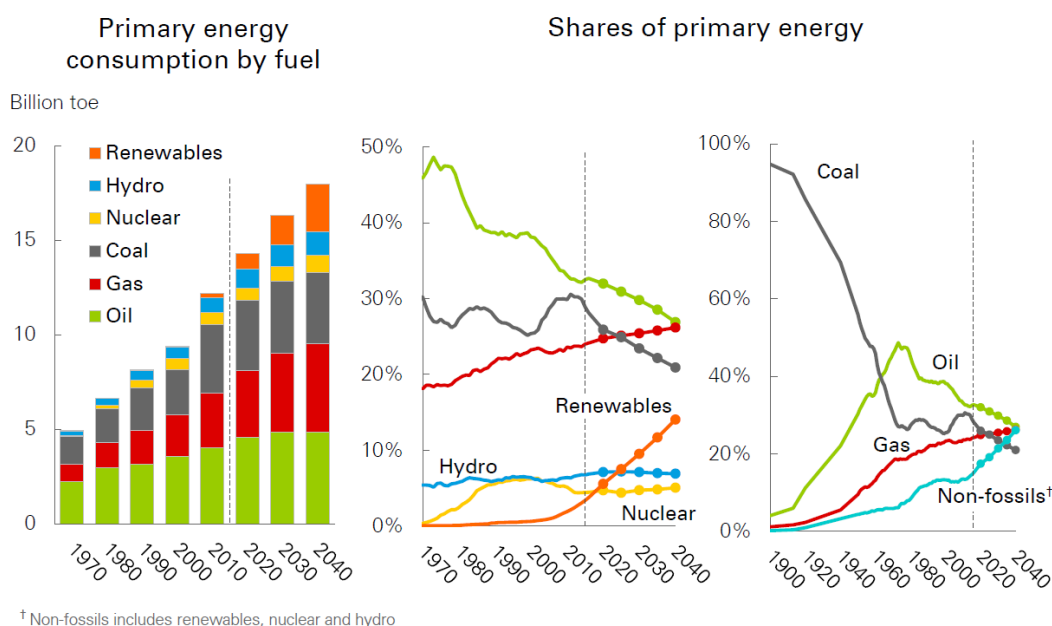


図 I.2-1 世界の一次エネルギー消費の傾向と予測（BP energy economics, 2018）

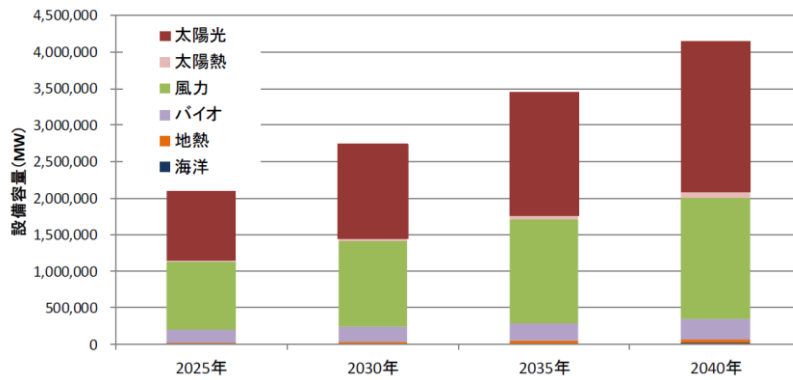


図 I.2-2 世界の再生可能エネルギーによる設備容量の予測
(三菱総合研究所, 2018 データ IEA2017 資料)

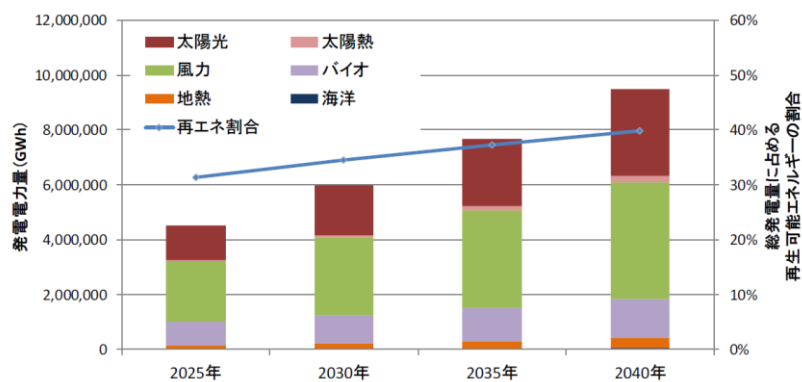


図 I.2-3 世界の再生可能エネルギーによる発電電力量の予測
(三菱総合研究所, 2018 データ IEA2017 資料)

再生可能エネルギーの中で変動電源である風力発電と太陽光発電を取り上げ、我が国におけるコストデータ等から経済性、効率性および環境性について比較検討した(表 I.2-1)。風力発電と太陽光発電(10kW以上あるいは非住宅)の建設コストは、近年の太陽光発電の大幅なコスト低減により概ね同じレベルにあること、2016年時の発電原価は風力発電の方が太陽光発電に比べて安価であるが、2020年の非住宅用太陽光発電原価の目標値は風力発電とほぼ等価となっていることが分かる。一方、風力発電と太陽光発電の設備利用率を比較すると、風力発電の方が約10%大きな値であることが認められる。

以上より、風力発電は太陽光発電に比べて発電原価が低廉で、設備利用率も高いことから、経済性、効率性及び環境性の面で優位であると言える。

表 I.2-1 風力発電と太陽光発電の経済性・効率性・環境性に係る指標の比較

項目	風力発電	太陽光発電
建設コスト	29.5万円/kW ^{*1} (平均値) (7,500kW以上) (2012年7月-2016年6月)	36.7万円/kW ^{*1} (平均値) (10kW未満) (2016年1-9月)
	28.2万円/kW ^{*1} (中央値) (7,500kW以上) (2012年7月-2016年6月)	35.4万円/kW ^{*1} (平均値) (10kW未満) (2016年7-9月)
	26.3万円/kW ^{*1} (中央値) (7,500kW以上) (2016年)	28.9万円/kW ^{*1} (平均値) (非住宅用) (2016年)
発電原価	13.9円/kWh ^{*1} (2016年)	19.2円/kWh ^{*2} (100円/1\$) (2016年)
		14円/kWh ^{*2} (非住宅用) (2020年目標) 24円/kWh ^{*2} (住宅用) (2019年目標)
設備利用率	24.9% ^{*2} (北海道)	13.4% ^{*1} (10kW未満) (2016年年報データ:平均値・中央値)
	24.6% ^{*2} (東北)	14% ^{*1} (平均値) (10kW以上全体) (2016年想定値)
	22.0% ^{*2} (その他の地域)	【参考:2014年7月-2016年6月】 ・13.5-13.8% ^{*1} (10kW以上全体) ・14.6-15.1% ^{*1} (1,000kW以上全体) ・14.6-15.0% ^{*1} (1,000kW以上-2,000kW以下) ・15.2-16.3% ^{*1} (2,000kW以上)

出典) *1:資源エネルギー庁(2016.11):電源種別(太陽光・風力)のコスト動向等について.調達価格等算定委員会(第25回配布資料)

*2:太陽光発電競争力強化研究会(2016.10):太陽光発電競争力強化研究会報告書

*3:日本風力発電協会(2016.10):風力発電の今後の買取価格等について.調達価格等算定委員会(第24回配布資料)

世界の風力発電の年間導入量は、2023年には75,000MW(7,500万kW)を超えると予想されており(図I.2-4)、累積導入量は900,000MW(9億kW)に達する。図I.2-4に示されているように、洋上風力発電も、毎年着実に導入が進むものと思われる。次章以降では、着床式洋上風力発電について取りまとめる。

Annual Global Wind Power Development

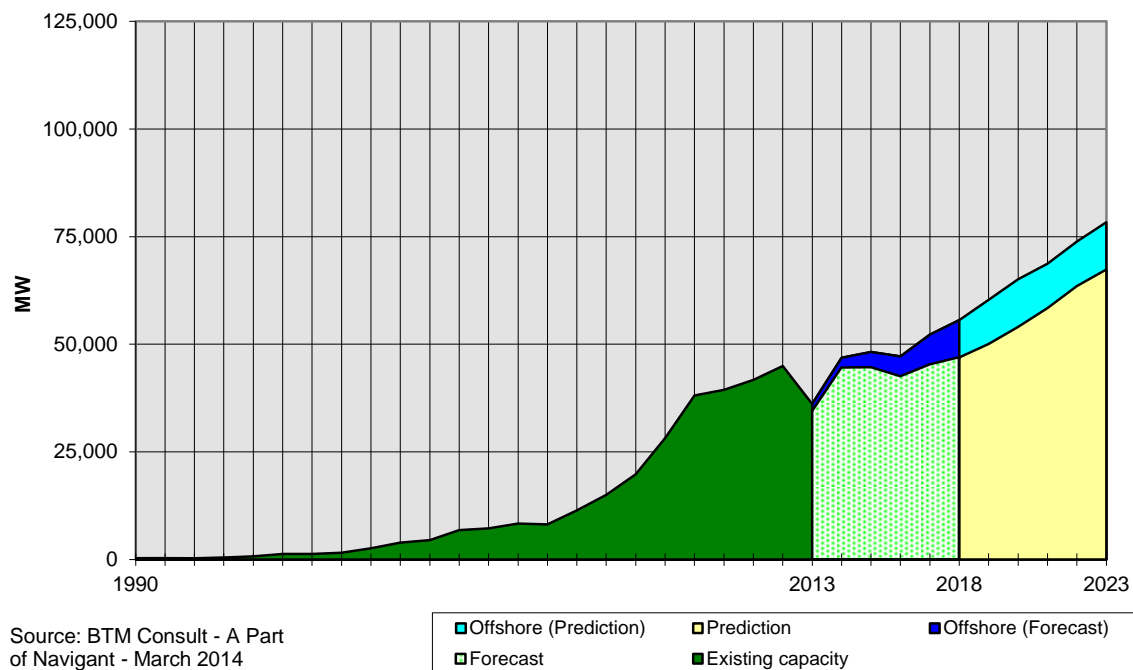


図 I . 2-4 世界の風力発電市場の過去から未来 (BTM, 2014)

【豆知識 I. 1-3】

●IEA 加盟国における電力需要量に対する風力発電電力量の割合（2015 年末）

- ・日本は 22 カ国中第 20 位

需要電力に対する風力発電電力量の割合(2015年)

順位	1	2	3	4	5	6	7	8
国名	デンマーク	ポルトガル	アイルランド	スペイン	ドイツ	スウェーデン	イギリス	オーストリア
需要電力に対する風力発電電力量の割合(%)	42.0	23.0	22.8	19.5	14.7	12.2	11.9	8.7
順位	9	10	11	12	13	14	15	16
国名	ギリシア	ベルギー	オランダ	アメリカ	カナダ	イタリア	フランス	中国
需要電力に対する風力発電電力量の割合(%)	7.1	6.7	6.3	5.1	5.0	4.6	4.2	3.3
順位	17	18	19	20	21	21		
国名	メキシコ	フィンランド	ノルウェー	日本	韓国	スイス		
需要電力に対する風力発電電力量の割合(%)	3.2	2.8	1.9	0.6	0.2	0.2		

データ：IEA Wind(2016)：2015 Annual Report

●風力電力を供給力に算入（毎日新聞：2013年10月9日より）

経済産業省は、2013年冬季から風力発電による発電電力量を電力供給力として位置づけることを決めた。これまで風向・風速の変動により発電電力量が不安定であるとの理由で、従来は風力発電を供給力に含めていなかったが、再生可能エネルギーの推進方針を踏まえ、電力供給の「担い手」とした。

これにより、最大電力需給に対する電力会社の余剰供給力の指標である「供給予備率」に対する風力発電の寄与は9電力全体ではわずかだが、冬の厳しい北海道では従来の6.9%から7.2%程度に上がることとなる。

●世界における再生可能エネルギーの累積設備容量のベスト5（2015年末）

- ・日本はバイオマス発電で5位、太陽光発電で3位。

再生可能エネルギー	バイオマス発電	地熱発電	水力発電	太陽熱発電	太陽光発電	風力発電
順位	1	アメリカ	アメリカ	中国	スペイン	中国
	2	中国	フィリピン	ブラジル	アメリカ	ドイツ
	3	ドイツ	インドネシア	アメリカ	インド	日本
	4	ブラジル	メキシコ	カナダ	モロッコ	アメリカ
	5	日本	ニュージーランド	ロシア	南アフリカ	イタリア

出典：Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) (2016)：Renewables 2016, Global Status Report.

3 参考文献

- BP energy economics (2018) : BP Energy Outlook 2018 edition.
- BTM Consult (2014) : World Market Update 2013, International Wind Energy Development Forecast 2014-2018. A BTM WIND REPORT.
- IEA (2014) : World Energy Outlook 2014.
- IEA (2016) : IEA Wind TCP 2015 Annual Report.
- IRENA (2016) : Renewable Energy and Jobs Annual Review 2016.
- 経済産業省 (2015) : 長期エネルギー需給見通し.
- 機械振興協会経済研究所 (2011) : 風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書.
- 前田太佳夫 (2013) : 風力発電関連機器産業調査の概要. 第 73 回新エネルギー講演会/第 1 回風力発電関連産業セミナー合同開催, 「風力発電関連産業の動向」. 一般社団法人日本電機工業会・一般社団法人日本産業機械工業会・一般社団法人日本風力発電協会.
- 毎日新聞 2013. 10. 9 朝刊 : 風力電力を供給力に算入.
- 三菱総合研究所 (2018) : 平成 29 年度低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査委託業務報告書.
- 水谷仁編 (2014) : 2050 年、世界で必要になる電気の 65%が再生可能エネルギーによってまかなわれるかもしれない. クリーンで無尽蔵 今こそ新エネルギー 風力, 太陽光, 水力. その真の実力に迫る! Newton, 2014. 8, 44-45.
- 日本風力発電協会 (2014) : 風力発電導入ポテンシャルと中長期目標 V4.3, <http://jwpa.jp/pdf/2014-06dounyuuumokuhyou.pdf>, アクセス 2017 年 2 月 7 日.
- 日本風力発電協会 (2016) : 風力発電の今後の買取価格等について. 調達価格等算定委員会 (第 24 回配布資料), http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/024_02_00.pdf, アクセス 2017 年 2 月 7 日.
- 日本産業機械工業会 (2012) : 風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書.
- 日本産業機械工業会 (2013) : 風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書.
- 日本産業機械工業会 (2014) : 風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書.
- 日本産業機械工業会 (2015) : 風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書.
- 日本産業機械工業会 (2016) : 風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書.
- REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) (2013) : Renewables Global Futures Report 2013 (世界自然エネルギー未来白書 2013) . 日本語版 環境「エネルギー政策研究所 (ISEP) , <http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalFuturesReport.aspx> . (日本語版 : <http://www.isep.or.jp/images/library/GFR2013jp.pdf>) , アクセス 2015 年 3 月 7 日.
- REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) (2016) : Renewables 2016 Global Status Report.
- 資源エネルギー庁 (2006) : 新エネルギーとは. <http://www.enecho.meti.go.jp/energy/newenergy/new/p1.html>, アクセス 2014 年 12 月 18 日.

- ・資源エネルギー庁（2007）：新エネルギー導入ガイド 企業のための風力発電導入 A to Z.
http://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/new_energy/pdf/huryoku_donyu.pdf, アクセス 2015 年 3 月 7 日.
- ・資源エネルギー庁（2016）：平成 27 年度 エネルギー白書.
- ・資源エネルギー庁（2016）：電源種別（太陽光・風力）のコスト動向等について.調達価格等算定委員会（第 25 回配布資料）.
http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/025_01_00.pdf, アクセス 2016 年 12 月 23 日.
- ・資源エネルギー庁（2016）：電源種別（中小水力・地熱、バイオマス）のコスト動向等について.調達価格等算定委員会（第 26 回配布資料）.
http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/026_04_00.pdf, アクセス 2016 年 12 月 23 日.