

## 総論

再生可能エネルギーとは、化石燃料とは異なり、一度利用しても比較的短期間に再生が可能であり、資源が枯渇しないエネルギーのことをいう。IEAによれば、2011年時点で世界の一次エネルギー消費量の13%を再生可能エネルギーが占めている。再生可能エネルギーには、太陽光や風力、バイオマス等があり、電力や熱に転換し使用されることが多い。

再生可能エネルギー導入によるメリットは、地球温暖化対策、雇用の創出、地域の活性化、非常時のエネルギー確保等、多岐にわたる。特に、エネルギーの大部分を海外に依存している日本にとって、エネルギー自給率を向上させ、エネルギー源を多様化させるとともに、地球温暖化対策を進めるための有効なエネルギーと考えられている。

### I 再生可能エネルギーの基本概念

再生可能エネルギーとは、化石燃料とは異なり、一度利用しても比較的短期間に再生が可能であり、資源が枯渇しないエネルギーのことをいう。具体的には、太陽光や風力、バイオマス、地熱、水力等がある<sup>(1)</sup>。

日本では再生可能エネルギーに加え、「新エネルギー」という分類もある<sup>(2)</sup>。「新エネルギー」とは、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」（平成9年法律第37号。以下「新エネ法」という。）に基づき、再生可能エネルギーのうち、発電分野や熱利用、燃料分野で技術的に実用化段階に達しつつあるが、経済性の面から普及が十分に進んでいないために支援の対象となっているエネルギーのことをいう。

近年、再生可能エネルギーは、主要なエネルギーの一部と国際的に位置付けられつつある。IEAによれば、2011年時点で世界の一次エネルギー消費量の13%を再生可能エネルギーが占めている<sup>(3)</sup>。

エネルギーには、一次エネルギーと二次エネルギーがある。一次エネルギーとは、太陽光、風力等のように加工を施さず、エネルギー資源から直接得られるものをいい、二次エネルギーとは一次エネルギーを変換し、電力や熱、燃料に転換したものをいう<sup>(4)</sup>。再生可能エネルギーは、電力や熱といった二次エネルギーに転換し使用されることが多い。

再生可能エネルギーは、化石燃料等に比べて資源の賦存量<sup>(5)</sup>が多いという特徴を持つものの、利用に当たって課題も少なくない。具体的には、再生可能エネルギーは、総じて、面積ないし重量当たりのエネルギー量であるエネルギー密度が低いこと、太陽光や風力では発電出力が自然変動すること<sup>(6)</sup>等の課題がある<sup>(7)</sup>。

\*本稿の執筆時点は平成26年1月31日である。インターネット情報の最終アクセス日も平成26年1月31日である。

(1) “FAQs.” IEA ウェブサイト <<http://www.iea.org/aboutus/faqs/renewableenergy/>>

(2) 該当するエネルギー種は「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法施行令」（平成9年政令第208号）で定められている。

(3) IEA, *World Energy Outlook 2013*, Paris: IEA, 2013, p.200.

(4) 「日本のエネルギー事情」資源エネルギー庁ウェブサイト <<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/energy-in-japan/energy2010html/japan/>>

(5) 資源の賦存量とは、資源利用の際の制約要因を考慮せず、理論上、算出されたエネルギー資源量のこと。

(6) 地熱発電や水力発電は、出力安定的で出力の調整も可能である。

(7) 再生可能エネルギーのエネルギー密度や発電出力等については、本書第Ⅱ部第1章山地論考を参照。

また、再生可能エネルギーによる発電コスト（後述）は、建設費や維持管理費、年間発電量等により、費用に占める割合が大きい建設費を抑えることが重要とされている。

## II 再生可能エネルギーの意義

再生可能エネルギー導入によるメリットは、地球温暖化対策や雇用の創出、地域の活性化、非常時のエネルギー確保等、多岐にわたる<sup>(8)</sup>。

まず、利用時およびライフサイクル全体で CO<sub>2</sub>排出量が大幅に削減されるほか、化石燃料の代替により大気汚染物質の排出量が削減され、バイオマス利活用により廃棄物の有効利用が進むなど、再生可能エネルギーの活用は温室効果ガス削減にとどまらない環境改善をもたらす。また、純国産エネルギーであるため、導入拡大によりエネルギー自給率の向上に寄与するほか、再生可能エネルギーの普及は原油価格が高騰するなか、化石燃料の高い輸入額の削減にもつながる。

さらに、再生可能エネルギーの世界市場が拡大するなか、浮体式洋上風力など新規分野では、国内市場で導入実績を積むことで世界市場での優位性を確保する等、日本の産業の国際競争力の強化をもたらす可能性もある。

加えて、再生可能エネルギーの導入では、設備製造や設置、維持管理等の各段階で新たに雇用が発生することから、雇用の創出の面からも意義がある。

このほか、再生可能エネルギー導入ポテンシャルが大きい郊外や地方部では、導入促進により、再生可能エネルギービジネスの振興がもたらされる可能性が大きい。

また、再生可能エネルギー源はエネルギーの需要地で調達することができるため、災害等で火力発電等からエネルギーを得られない非常時においても、エネルギーを供給することが比較的容易となる。

## III 再生可能エネルギーの概観

以下では、各再生可能エネルギーの特徴や技術的課題について概説するとともに、表1に、主な再生可能エネルギーの特徴について整理している。

### 1 太陽光発電

太陽光発電とは、太陽の光エネルギーを太陽電池を使って電力に変換する発電システムである。太陽光さえ得られれば場所を選ばずに発電できるというメリットがある。太陽光発電設備は、比較的小規模な「住宅用」と出力1MW以上の「メガソーラー」に分類される。住宅用は屋根、壁など既存のスペースに設置でき、その場合は新たに用地を確保する必要がない。太陽光発電は、送電網が整備されていない遠隔地（山岳部、農地など）の分散型電源として活用でき、災害時などの非常用電源としても役立つ。課題としては、気候条件により発電出力が変動

(8) 低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及拡大方策等検討会『H24年度低炭素社会作りのためのエネルギーの低炭素化に向けた提言（2050年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討）』2013.3, pp.6-21. 環境省ウェブサイト <<http://www.env.go.jp/earth/report/h25-01/full.pdf>> 以下は、同提言を基に整理している。

することへの対策や発電コストを低減させる必要性などが挙げられる。<sup>(9)</sup>

## 2 風力発電

風力発電とは、風車で発電機を回すことによって、風の運動エネルギーを電気エネルギーに変換する発電システムのことをいう。再生可能エネルギーの中では発電コストが比較的安く、工期も短いというメリットがある。風車の高さやブレード（羽根）によって差はあるものの、高い効率（最大30～40%）<sup>(10)</sup>で電気エネルギーに変換することが可能である。太陽光発電と異なり、夜間でも発電できる。景観との調和、日本特有の気象・海象条件に対応した風車の開発、電力系統において電圧や周波数などに影響を与えないための技術開発等が日本における今後の課題である。<sup>(11)</sup>

## 3 バイオマスエネルギー

バイオマスとは、動植物由来の生物資源である。固体燃料（ペレット等）、可燃性ガス（メタンガス等）、液体燃料（バイオエタノール、バイオディーゼル等）といった様々な形態に変換され、発電、熱、輸送燃料といった幅広い目的で利用されている。また、利用価値が低いものや廃棄物を資源として有効利用するため、循環型社会の構築に大きく寄与する。他方、バイオマスは広範囲に資源が散在しているため、収集・運搬・管理にコストがかかること、資源収集の制約から設備が小規模なものになりやすいという傾向がある<sup>(12)</sup>。バイオマス発電の主な課題は、原料となるバイオマスの性状や品質によって出力が変動する点である。原料の品質安定化により発電設備のランニングコスト抑制を図ることが重要である<sup>(13)</sup>。

## 4 地熱エネルギー

地熱エネルギーは、地熱発電や、温浴や暖房といった熱そのものの利用の2通りの方法で利用されている。

このうち地熱発電とは、地下から取り出した熱水や水蒸気を利用してタービンを回す発電方法である。天候や時間帯に左右されず連続した発電が可能であるため、年間を通じて安定的に電力を供給でき、技術的にも成熟している。

他方、普及に向けては、掘削・送電線費用など初期コストの低減、資源量を正確に把握するための高い測量精度と信頼性の高いデータの取得等が課題である。また、資源の賦存する場所

(9) 「なっとく！再生可能エネルギー 太陽光発電」資源エネルギー庁ウェブサイト <<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/renewable/solar/index.html>>

(10) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第3章 風力発電」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.3. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544818.pdf>>

(11) 「なっとく！再生可能エネルギー 風力発電」資源エネルギー庁ウェブサイト <<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/renewable/wind/index.html>>

(12) 「なっとく！再生可能エネルギー バイオマス発電 バイオマス熱利用 バイオマス燃料製造」資源エネルギー庁ウェブサイト <<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/renewable/biomass/index.html>>

(13) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第4章 バイオマスエネルギー」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.34. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544819.pdf>>

が国立・国定公園や温泉地域と重なることから、地熱発電所の開発にあたっては、自然環境・景観・温泉の質へ及ぼす影響について配慮するとともに、それらの影響について関係者の理解を得る必要がある。<sup>(14)</sup>

## 5 水力（中小水力を含む）発電

水力発電とは、水の落下エネルギーで発電機を回して発電する仕組みをいう。日本ではダムを設置する大型の水力発電の開発は既に進められてきたため、今後は中小規模の開発が重視されている。

中小規模の水力発電について厳密な定義はないものの、「出力10,000kW～30,000kW以下を「中小水力発電」と呼ぶことが多く、また新エネ法の対象のように出力1,000kW以下の比較的小規模な発電設備を総称して「小水力発電」と呼ぶこともある」。<sup>(15)</sup>

なお、水力発電の発電方式には、ダムを設置する「貯水池式」や河川の流れを利用する「流れ込み式」等がある。中小水力発電では、河川や用水路などの流水をそのまま発電所に引き込む「流れ込み式」が使用され、大規模なダムを設置する貯水池式と比較すると発電容量は小さくなるものの、初期の設備投資は比較的少なくて済むほか、各地の中小規模の河川や農業用水路などを利用できるという特徴がある。

他方、中小水力発電は小規模であるがゆえに、工事費全体に占める水車・発電機等の電気設備費用の割合が大きくなる。発電コストを下げるための技術的課題としては、初期コストの削減、メンテナンスコストの削減、発電電力量（水量）の確保、事故に対する予防保全などがある。<sup>(16)</sup>

## 6 海洋エネルギー

海洋エネルギーの利用には、波の力を利用した波力発電、潮の満ち引きによる潮位差を利用した潮汐力発電、海流や潮流を利用した海流・潮流発電、海の表面と深層部の温度差を利用した海洋温度差発電、海水間の塩分濃度差を利用した塩分濃度差発電、洋上の風のエネルギーを利用した洋上風力発電などがある。世界的には、潮汐発電が最も早くから商用化されており<sup>(17)</sup>、波力発電、潮流発電、海洋温度差発電については、海域における実証試験が進んでいる。普及に向けては、事業化の一手前と考えられている波力発電および潮流発電では、発電システムの信頼性の向上、高効率化、低コスト化等の課題がある<sup>(18)</sup>。

(14)「なっとく！再生可能エネルギー 地熱発電」資源エネルギー庁ウェブサイト <<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/renewable/geothermal/index.html>>；新エネルギー・産業技術総合開発機構「第7章 地熱発電」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, pp.45-47. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544822.pdf>>；地熱発電に関する研究会「中間報告書」2009.6, pp.9-20. 経済産業省ウェブサイト <<http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004561/g90609a01j.pdf>>

(15)「小水力発電情報サイト」環境省ウェブサイト <<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/shg/page01.html>>

(16)新エネルギー・産業技術総合開発機構「第8章 中小水力発電」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.32. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544823.pdf>>

(17)環境エネルギー政策研究所編『自然エネルギー白書2013』七つ森書館, 2013, p.239.

(18)新エネルギー・産業技術総合開発機構「第6章 海洋エネルギー」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, pp.96-97. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544821.pdf>>

## 7 太陽熱エネルギー

太陽熱利用には、太陽の熱エネルギーを太陽集熱器で集めて水や空気などの熱媒体を暖め、給湯や冷暖房などに活用する方法と、太陽光による高温の熱を用いて、蒸気を発生させるなどしてタービンを回し発電する方法がある<sup>(19)</sup>。太陽熱発電の大きなメリットとして、太陽光発電や風力発電と比べて変動がごく小さく出力が安定していること、また、蓄熱システムとの組み合わせなどにより、夜間の発電や、電力需要の変化にある程度対応した電力供給ができることが挙げられる<sup>(20)</sup>。太陽熱発電のベース電源利用に向けたキーテクノロジーの筆頭は、蓄熱技術と考えられている<sup>(21)</sup>。

## 8 雪氷熱・温度差熱・地中熱

雪氷熱とは、冬の間降った雪や、冷たい外気を凍らせた氷を保存し、冷熱（冷たい熱エネルギー）が必要な時季に利用するものをいう。利用地域は限定されるが、従来、除雪や融雪にコストをかけていた豪雪地域では、雪を豊富な資源として活用できるため、注目されている取り組みである。利用形態としては、倉庫に雪や氷を貯め、冷熱で野菜などを貯蔵する「雪室・氷室」や、同様に倉庫に雪を貯め、冷熱を循環させて冷房などに利用する「雪冷房・冷蔵システム」などがある<sup>(22)</sup>。技術的課題としては、設備費・施工費・（雪氷の）収集費・輸送費・冷熱回収コストの削減による低コスト化、熱貯蔵効率・熱交換率の向上による高効率化がある<sup>(23)</sup>。

温度差熱とは、海水、地下水、河川水、下水などの水源を熱源としたエネルギーのことをいう。これらの水源は大気と比べ、夏期は水温が低く、冬期は水温が高いため、この温度差エネルギーをヒートポンプおよび熱交換器を用いて地域の冷暖房や給湯などに利用することができる。燃料を燃やす必要がないため、環境への貢献度も高いシステムである。一方、導入に際しては、大規模な建設工事が必要なため初期費用が高いことが大きな課題である<sup>(24)</sup>。雪氷熱利用と同様に低コスト化、高効率化が求められるが、河川・海洋環境に適応するための高耐久化、生態系への影響を配慮した運用管理も技術的課題となっている<sup>(25)</sup>。

地中熱とは、浅い地盤中に存在する低温の熱エネルギーのことをいう。地下15m程度の深さでは、地中の温度が年間を通して一定となるため、外気温度との温度差を利用し効率的な冷暖房等を行うことが可能となる。地中熱を熱源とするヒートポンプは、冷暖房の際、熱を屋外に放出しないため、ヒートアイランド現象の原因になりにくいといった特徴がある。他方、設

(19)IEA, *Technology Roadmaps Concentrating Solar Power*, Paris: IEA, 2010, p.9. <[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/csp\\_roadmap.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/csp_roadmap.pdf)>

(20)新エネルギー・産業技術総合開発機構「第5章 太陽熱発電・太陽熱利用」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.3. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544820.pdf>>

(21)同上, p.64.

(22)「なっとく！再生可能エネルギー 雪氷熱利用」資源エネルギー庁ウェブサイト <<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/renewable/snow/index.html>>

(23)新エネルギー・産業技術総合開発機構「8 その他の再生可能エネルギー等の技術の現状」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2010, p.473. <<http://www.nedo.go.jp/content/100116325.pdf>>

(24)札幌市ウェブサイト <<http://www.city.sapporo.jp/kankyo/energy/shokai/thermalenergyconversion.html>> ; 「なっとく！再生可能エネルギー 温度差熱利用」資源エネルギー庁ウェブサイト <<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/renewable/temperature/index.html>> ; 同上, p.527.

(25)新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(23), p.527.

備の高性能化と低コスト化などが技術的課題となっている。<sup>(26)</sup>

表1 主な再生可能エネルギーの特徴

再生可能エネルギー	資源	主な変換技術	主な利用形態
太陽光発電	太陽光エネルギー	半導体の光電効果で光を直接電力に変換	屋根に設置した家庭用から普及
風力発電	風力エネルギー	風車で発電機を回転させ、風のエネルギーを電力に変換	電力系統での利用が中心
バイオマスエネルギー	木質バイオマス、畜産廃棄物、食品廃棄物等	直接燃焼、化学変換によるガス化等により熱エネルギーに変換。電力変換も可能	固体燃料、可燃性ガス、液体燃料といった様々な形態に変換され利用
地熱エネルギー	地熱エネルギー	地下から取り出した熱水や水蒸気を利用してタービンを回転させ発電。また、温浴や暖房といった熱そのものを利用	電力系統での利用が中心
水力（中小水力）発電	水の落下エネルギー	水の落下エネルギーで発電機を回転させ、落下エネルギーを電力に変換	灌漑用等で利用
海洋エネルギー	波力、潮の満ち引きによる潮位差、海流、潮流等	複数の技術があるが、例えば波力等の海の運動エネルギーでタービンを回転させ電力に変換	多くが実証試験の段階。利用に際しては電力系統での利用が中心
太陽熱エネルギー	太陽熱エネルギー	集熱器により、太陽光を熱に変換。また、太陽光による高温の熱を用いて、蒸気を発生させるなどしてタービンを回転し発電	屋根に設置した家庭用から普及。給湯のほか、冷暖房等で利用
雪氷熱	冷熱（冷たい熱エネルギー）	雪や、外気を凍らせた氷を保管	倉庫に雪を貯め野菜などを貯蔵したり、倉庫に雪を貯め、冷熱を循環させて冷房などに利用

\*「電力系統」とは、電力が発電所から、送電線、変電所、配電線を経て消費者に供給されるまでの電気設備システムの総称のことをいう。

(出典) 大平竜也「再生可能エネルギーの普及促進策と技術課題」『科学技術動向』53号, 2005.8, pp.30-41. 科学技術・学術政策研究所ウェブサイト <[http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt053j/0508\\_03\\_feature\\_articles/200508\\_fa03/200508\\_fa03.html](http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt053j/0508_03_feature_articles/200508_fa03/200508_fa03.html)> を基に筆者作成。

#### IV 普及に関わる課題

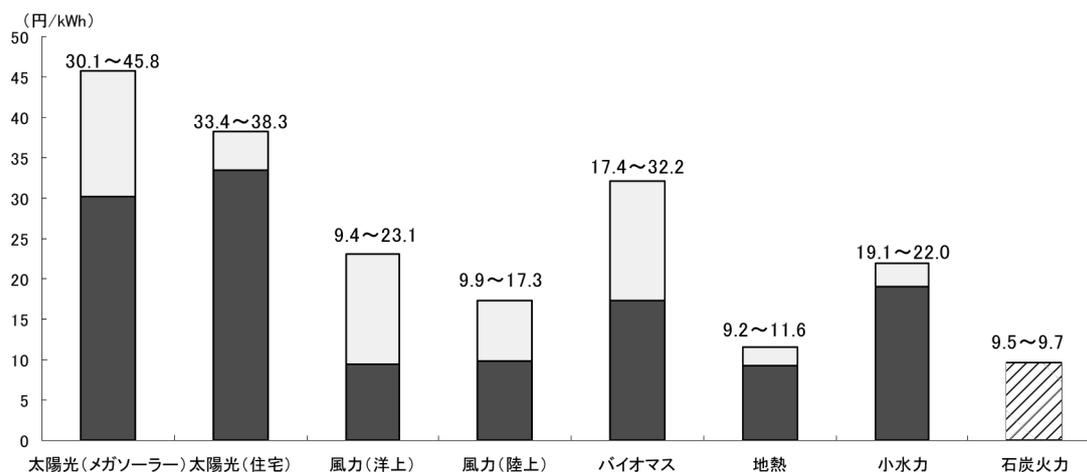
再生可能エネルギーの普及にあたっては、課題も少なくない。例えば、導入の課題として、しばしば割高なコストが挙げられている<sup>(27)</sup> (図1)。発電コストは日々低減しているものの、技術開発の推進や普及促進に伴う量産効果等により、コストをさらに低減することが求められている<sup>(28)</sup>。

(26)「なっとく！再生可能エネルギー 地中熱利用」資源エネルギー庁ウェブサイト <<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/renewable/underground/index.html>>

(27) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第1章再生可能エネルギーの役割」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.23. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544816.pdf>>

(28) 同上

図1 エネルギー・環境会議コスト等検証委員会による主な再生可能エネルギー等の発電コスト（2011年12月）



\*バイオマスについては、未利用間伐材のチップ専用の発電設備で発電した場合。

\*2010年に新規に運転を開始するモデルプラントを基に算出。石炭火力の発電コスト（CO<sub>2</sub>対策費用を含む）については、再生可能エネルギーの発電コストと比較を行うために掲載。

(出典) エネルギー・環境会議コスト等検証委員会「コスト等検証委員会報告書」2011.12.19, pp.49, 62. 国家戦略室ウェブサイト <<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20111221/hokoku.pdf>> を基に筆者作成。

また、太陽光発電や風力発電は出力が日照や気象条件により変動するため、大量導入時、電力システムにおいて変動に対応できる調整力が必要になることや、再生可能エネルギー発電の好適地は、しばしば既存の送電網や電力の需要地から離れているため、送電線や地域間で電力を融通する連系線の整備をどのように行うかなどの課題もある。このため、再生可能エネルギーの普及に向けては、各エネルギーの技術開発に加え、当該エネルギーを効率よく活用するための技術開発や社会制度の整備も重要となる。

## V 本報告書の目的

本報告書は、前述の再生可能エネルギーの基本概念や意義を踏まえ、再生可能エネルギーに関する基本的な情報を収集および整理し、日本の再生可能エネルギーをめぐる科学技術政策に関する課題を明らかにすることを目的としている。

具体的には、各再生可能エネルギーの科学技術の概要や動向、課題を整理するとともに、再生可能エネルギーの普及に関わる科学技術と制度を概観し、日本と諸外国の再生可能エネルギーに関する研究開発および普及の動向をまとめている。

なお、再生可能エネルギーの技術は日々進展しており、めまぐるしく変化している。本報告書では、報告書作成時において最新の情報を収集、整理するように努めた。

【コラム1：ワット（W）とワットアワー（Wh）】

ワット（W）は1秒当たりの電力量（単位はJ/s）で表現される電力の大きさを表し、ワットアワー（Wh）は1Wの電力を1時間発電または消費したときの電力量（エネルギー量）を表す単位である。

キロ（k）は1,000（ $10^3$ ）倍、メガ（M）は1,000,000（ $10^6$ ）倍、ギガ（G）は1,000,000,000（ $10^9$ ）倍、テラ（T）は1,000,000,000,000（ $10^{12}$ ）倍を表す。したがって、 $1,000W=1kW$ 、 $1,000kW=1MW$ 、 $1,000MW=1GW$ 、 $1,000GW=1TW$ 、 $1,000Wh=1kWh$ 、 $1,000kWh=1MWh$ 、 $1,000MWh=1GWh$ 、 $1,000GWh=1TWh$ となる。

（例）

100Wの電気機器を10時間使用した時に消費される電力量は、  
 $100（W） \times 10（時間） = 1,000（Wh） = 1（kWh）$

【コラム2：設備容量と発電量】

設備容量とは、発電設備の発電能力（単位時間当たりの可能発電量）をいい、通常は1秒当たりの電力発生量であるWを単位として表現し、その設備が出力できる最大電力の大きさをkW、MWなどの単位で示す。

発電量とは、発電設備が実際に発電した電力量をいい、kWh、MWhなどの単位で示す。なお、発電量は、設備容量に設備利用率と稼働時間を乗じることで算出される。設備利用率とは、発電可能な総発電量のうち、実際に発電された電力量の割合を示す。

（例）

設備容量10kWの発電設備が、設備利用率20%で1年間稼働したと仮定したときの発電量は、  
 $10（kW） \times 0.2 \times 24（時間） \times 365（日） = 17,520（kWh）$

みずほ総合研究所株式会社 社会・公共アドバイザー一部  
政策・経営研究グループ 研究員 塚越 由郁