

# 再生可能エネルギーに関する基礎知識

## Fundamentals of Renewable Energy

やまじ けんじ  
山地 憲治

公益財団法人地球環境産業技術研究機構 理事・研究所長

### 要 旨

再生可能エネルギーは多様な形態で資源として存在し、利用技術や用途も多様であり、その全体像を把握するのは容易ではない。本稿では、再生可能エネルギーの定義と資源量、人類のエネルギー利用において果たしてきた歴史的役割、現時点での世界および我が国における利用状況を整理し、再生可能エネルギーを考えるための基礎知識を提供する。再生可能とは、自然現象の中で更新されるという意味であり、リサイクルによって再生して循環利用できるという意味ではないが、人間界の時間スケールでは、地球内部に物質として蓄積されている石油や石炭、天然ガスなど有限の化石燃料資源と比較して、再生可能エネルギーの資源規模は実質上無限大と考えてよい。再生可能エネルギーは、人類が文明を築く上で初めて利用したエネルギー源であるとともに、地球規模の資源枯渇や地球温暖化問題など、現代のエネルギー・環境問題の解決のために大きな期待がかけられているエネルギー源でもある。

## I 再生可能エネルギーの定義と資源量

### 1 再生可能エネルギーとは

再生可能エネルギーとは、太陽光・熱、水力、風力、バイオマス、地熱など、人間活動と関係なく自然界を流れるエネルギーのことを指す。自然エネルギーと呼ばれることもあるが、石油や石炭、天然ガスなどの化石燃料、原子力の燃料であるウランも自然界に存在するという意味では自然エネルギーと呼ぶことも可能であるので、本稿ではこの表現は取らない。また、新エネルギーと呼ばれることもあるが、核融合や水素なども新しいエネルギー源という意味で新エネルギーと呼ばれることがあるので、本稿ではこの表現も取らない。なお、「再生可能」は英語のrenewableの和訳で、自然現象の中で更新されるという意味であり、リサイクルによって再生して循環利用できるという意味ではないことに注意を要する。

エネルギー総量は、熱力学第一法則として知られるエネルギー保存則によって、すべてのエネルギー変換過程で保存される。また、熱力学第二法則（エントロピー増大の法則）によって、すべての変換過程でエントロピー総量は増大し、機械の仕事などに有効利用できるエネルギー量は減少する。つまり、人間界を含め自然界におけるエネルギーの変換は、システム全体としては、必ず質の劣化を伴うものである。再生可能エネルギーを利用する場合も当然この自然法則に従う。

ただし、物質に体化されたエネルギーは、物質のリサイクルに伴って、エネルギーもリサイクル利用されていると思われるようにみえる場合がある。例えば、光合成によってバイオマスに蓄えられた化学エネルギーは、紙や食品として利用された後に廃棄物としてリサイクルし燃焼してエネルギー利用することができるが、これをサーマルリサイクルと呼ぶ。また、熱エネルギーは高温熱源を利用した後も、排熱の温度が環境の温度と差がある場合には、排熱をさらに段階的に再利用することができ、あたかも連続する滝（カスケード）のように利用できるの

で、これを熱のカスケード利用と呼んでいる。

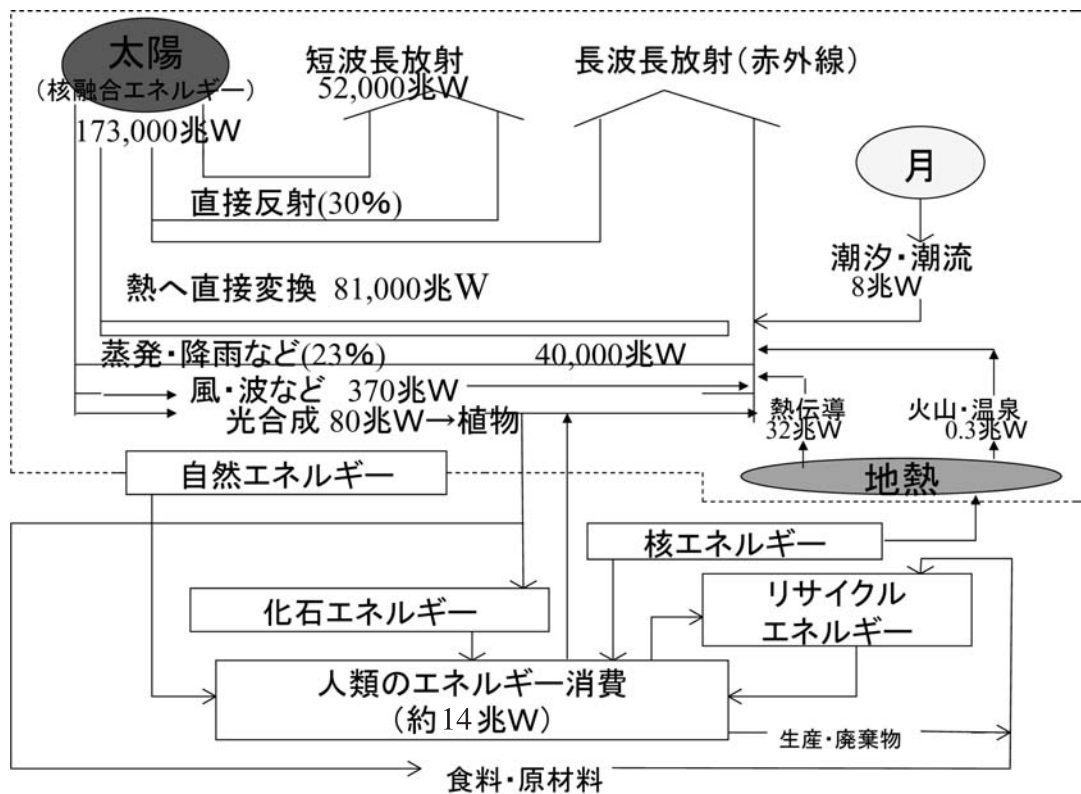
宇宙の時間スケールでいえば、地球内部から流れ出す地熱（地球生成時の位置エネルギーの残渣と地球内部の放射性核種の崩壊熱がエネルギー発生源）はもちろん、太陽エネルギー（核融合がエネルギー発生源）も有限である。しかし、人間界の時間スケールでは、地球内部に物質として蓄積されている石油や石炭、天然ガスなど有限の化石燃料資源と比較して、再生可能エネルギーの資源規模は実質上無限大と考えてよい。

再生可能エネルギーは、人類が文明を築く上で初めて利用したエネルギー源であるとともに、地球規模の資源枯渇や地球温暖化問題など、現代のエネルギー・環境問題の解決のために大きな期待がかけられているエネルギー源でもある。

## 2 地球の再生可能エネルギー資源と利用上の共通課題

前述したように、水力や風力、太陽エネルギー、バイオマス、地熱などの再生可能エネルギー資源はストックでなくフローとして存在する。地球における、これら再生可能エネルギーのフロー量を図1に示す。

図1 地球のエネルギーバランス



(注) 引用のため、図中では自然エネルギーという表現が用いられているが、これは再生可能エネルギーのことであり、リサイクルエネルギーと表現されているものは、本文中で説明した物質に体化された化学エネルギーが物質のリサイクルによって利用されることを示している。

(出典) 日本家政学会編『生活資源論』朝倉書店、1992、p.130を基に筆者作成。

人間が住む地球表面に流れ込むエネルギーのほとんどは太陽からの入射であり、地球内部からの地熱や月に主として起因する潮汐エネルギーは相対的には小さい。また、電気やガソリンなどに変換して人類が商品として使用しているエネルギー量（14兆W）は太陽が入射するエネルギー（173000兆W）の1万分の1以下で無視できる水準である。これに比べて、人間を含む生命体が使用しているエネルギーの根源である光合成による太陽エネルギーの固定量（純一次生産という。80兆W）は人類の商業的エネルギー利用量の6倍程度の水準になっている。

つまり、再生可能エネルギー資源は量としては十分である。ただし、バイオマスについては、エネルギー以外に食料や木材・紙などの材料として既に大規模に利用されており、適切な森林管理や耕地の生産性の維持などに注意しなければ資源の利用が資源の更新速度を上回る可能性があり、資源枯渇のおそれがある。バイオマスのエネルギー利用においては食料や木材・紙の使用に伴う副産物・廃棄物の利用をまず考えるべきであり、専用に土地を利用してエネルギー用バイオマスを生産する場合にはその持続可能性に配慮しなければならない。利用可能なバイオマス資源量については、世界の土地利用や食料・紙・木材としての利用過程から発生する利用可能量を考慮した分析が行われている（参考文献(1)など参照）。

再生可能エネルギー資源に共通する根本的な問題は、密度が薄く分布し、しかも出力が自然変動するものが多いので、その利用の経済性が悪いことである。

太陽電池の場合、例えば住宅の屋根に設置されている太陽電池は定格出力4kW程度であるが、この太陽電池が1年間に生産する電気エネルギーは我が国の日照条件では約4,000kW時である。1年間は8,760時間であるが、夜や雨の日には発電できないので年間を通した発電量は、設備の定格出力の運転としては1,000時間程度分にしかならないのである。発電設備では定格出力で全時間運転した場合の発電量に対する実際の発電量の比率を設備利用率というが、太陽電池の場合には日照の自然条件のためにこれが12%程度にしかならない（火力発電や原子力発電など通常の電源では70~80%が可能である）。風力発電の場合も、我が国の陸上設置の場合には設備利用率は20%程度である。したがって、太陽電池や風力発電の場合には、エネルギー供給力として定格出力だけを見ていたのではその能力を過大に誤解する。

再生可能エネルギーの場合には、潜在的な資源の大きさよりも、いかにして経済的に有効なエネルギーに変換するかが課題になる。例えば、太陽電池や風力などの場合には設備利用率が低いので固定費となる設備費の負担が大きくなる。また、太陽電池や風力のエネルギー出力は自然変動するので、人間が利用する場合には需要のタイミングに合わせて出力を調整するために他のエネルギー源や蓄エネルギー技術によって補完することが必要になる。さらに、バイオマス利用の場合には広範囲に分布して容積や重量当たりのエネルギー密度が低い資源の効率的な収集・運搬が経済性のネックとなっている。

## II 人類のエネルギー利用の歴史と再生可能エネルギー

### 1 人類のエネルギー利用の歴史

エネルギーと人類の関わりは、数十万年前とも百数十万年前ともいわれている火の発見にまでさかのぼる。火の発見は言語と並んで、他の動物にはみられない人間の独自技術である。エネルギーとしての火の利用の始まりは、現代風にいえば再生可能エネルギーであるバイオマス

のエネルギー利用であるが、その利用法は長らく照明、暖房、調理等の直接利用にとどまり、力学的仕事に変換して動力として利用するようになったのは比較的最近のことで、18世紀の産業革命以降である。

産業革命以前の動力源には、極めて長期の間、初めは単位出力が1kW以下の人力・畜力、後にも高々10kW程度の風車、水車が用いられていた。人力や畜力のエネルギー源は食料としてのバイオマスであるから、これらはいずれも再生可能エネルギーである。これに対し、産業革命を推進した蒸気機関は火を動力に変えることで大きなパワーを得ることに成功した。18世紀末頃には既に、人力の約1,000倍、100kWクラスのエンジンが利用されていた。今日では、大型の発電所に見られるように、100万kWを越える蒸気機関さえ珍しくない。蒸気機関はエネルギー技術に革命的变化を起こし、紡績、製鉄など工場の形態を一変させ、鉄道、蒸気船により交通機関の役割を飛躍的に高めた。この技術革新の波は産業革命を引き起こし人類の歴史を変えた。エネルギー文明史ではこれを動力革命と呼んでいる。

19世紀には産業革命の波は世界全体に及び、世界のエネルギー消費量は飛躍的に増大を始めた。1973年の第一次石油危機まではエネルギー消費の伸びは人口の伸びを大幅に上回っており、1860年に石油換算でおよそ0.3トンであった一人当たりの年間エネルギー消費量は、第二次世界大戦頃には約0.8トン、第一次石油危機頃には1.7トンに達し、その後ほぼ横ばいになっている。

世界のエネルギー消費は長期的に増加傾向にあるが、主要なエネルギー源は時代と共に変化している。19世紀後半に薪炭に代わってエネルギーの主役となった石炭は、その後約100年間主役の座を守った後、1960年代後半に石油にその座を譲った。石油は内燃機関の発明を契機として導入され、モータリゼーション時代の20世紀を代表するエネルギー源になった。しかし、その後二度にわたる石油危機により石油の消費は伸び悩み、依然としてエネルギーの中心に位置しているものの、天然ガスや石炭との差は近年縮小している。原子力は全体に占めるシェアはまだ小さく、社会的受け入れの問題など将来の展望がはっきりしない側面もあるが、先進国を中心に急速に導入されてきた。

このようにしてエネルギーは現代生活に不可欠のものとなった。エネルギー需要、少なくとも商業的エネルギーの需要は、多くの国で、経済活動の高度成長期には経済活動を上回る速度で増大してきた。そして今、エネルギーシステムは新たな課題に直面している。

1970年代の石油危機は、化石燃料が有限資源であることを確認させた。また、今日の地球温暖化問題は、資源枯渇よりも地球環境容量の制約が先に顕在化する可能性が高いことを警告している。エネルギーシステムは、地球の有限性の効果が現れるほどまでに巨大化したのである。一方、エネルギーの供給技術には、規模の経済の限界など技術進歩に停滞が見えてきており、石油危機後の集中的な研究開発努力にもかかわらず近年大きな進展はみられない。また、エネルギー需要については、途上国を中心に引き続き需要の量的増大が見込まれるとともに、先進国においては、特に都市部においてエネルギーの質に対する要求が増大してきている。高度情報化社会を支えるエネルギーには高い供給信頼性が要求され、シェアを増しつつある業務・家庭用エネルギー需要は負荷の時間変化が激しく複雑で、電力ピーク需要対策など新たな問題を発生させる。

今後のエネルギーシステムは、供給の安定性、経済性、環境適合性という従来からの基本要請に応えると同時に、長期的なエネルギー供給源として非化石エネルギーの活用を目指し、あ

らゆる段階での省エネルギーを追求しなければならない。また、エネルギー需要を所与のものとしてシステムを構成するのではなく、需要と供給、双方における対策を総合的に組み合わせて最適な対応が行えるよう、需要面により重点をおいたエネルギーシステムの新たな統合が求められている。

動力革命以来、我々は地球の貴重な遺産である化石燃料を大量に消費してきた。今日我々が消費しているエネルギーの総量は、石油に換算して年間約100億トンを超えており、そのほとんどは、石油、石炭、天然ガスという化石燃料で賄われている。このような大量の消費により、化石燃料が形成された何億年という時間に比べれば一瞬ともいえる短期間のうちに、地球温暖化という副作用を残してその遺産を食い尽くそうとしている。エネルギーシステムは今大きく構造変化すべき時を迎えている。このような歴史的文脈の中で、温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>を排出せず、資源枯渇の心配もない再生可能エネルギーへの期待が高まっている。

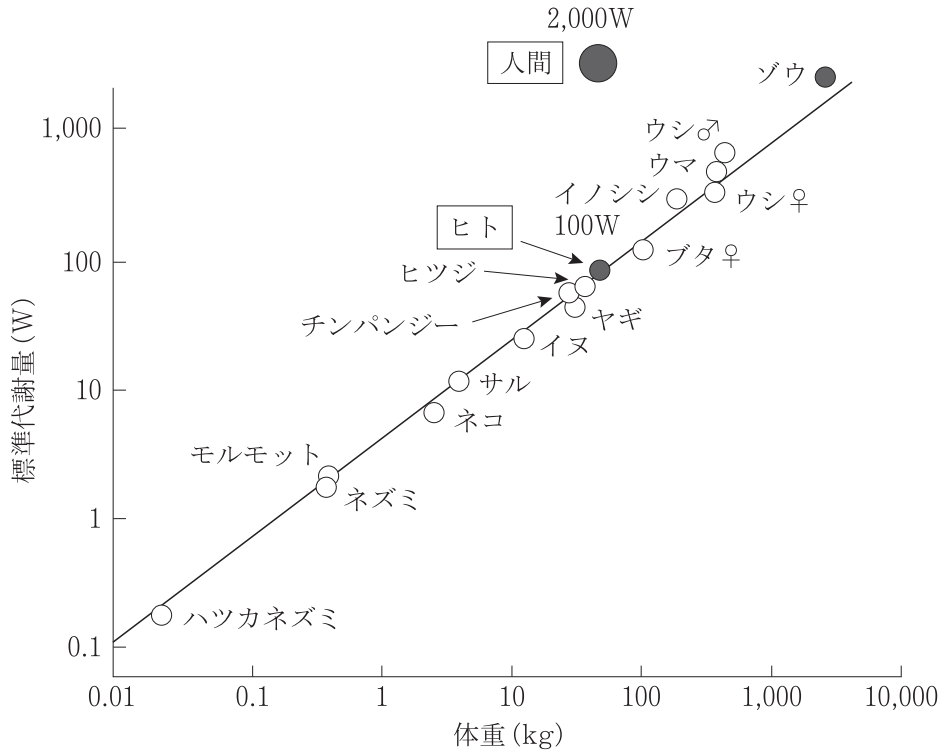
## 2 人類のエネルギー消費の規模

図2は、動物が生存のために必要な食料から摂取するエネルギーについて体重を横軸にして対数スケールでプロットしたものである。これをみると、動物（哺乳類）が食料として摂取するエネルギー量は体重に完全に比例するのではなく、 $3/4$ 乗に比例している。つまり、体重当たりの必要エネルギーは大型動物ほど小さくなる傾向があるが、これは、哺乳類の生存にとっては体温の維持が最も重要だから、体の容積に比べて放熱する表面積の少ない大型哺乳類の方が有利になるのである。ヒトとしての人間も食料からのエネルギー摂取量は、ほかの哺乳類と同じ傾向線の上であり、約100W（一日あたりにして約2,000kcal）となっている。

しかし、エネルギー問題で対象とするのは、食料としてのエネルギーではなく、電気やガソリンなど人間が文明生活をするのに必要なエネルギーである。これら人間が生活や経済活動のために使用している一次エネルギー量は、図にも示しているが、全世界の平均で一人当たり約2,000W、つまり動物としての人間が食料から得ているエネルギーの20倍ものエネルギーを文明生活のために使っている。しかも、これは全世界平均であり、日本人の場合は一人当たり5,000Wを越え、米国の場合はさらにその2倍になる。

人間一人当たり2,000Wというのは象1頭のエネルギー消費量よりも大きく、恐竜並みである。恐竜並みの動物が地球上に70億もいる状態を想像すれば、人間がいかに多くのエネルギーを消費して、資源や環境に脅威を与えているか理解できるだろう。

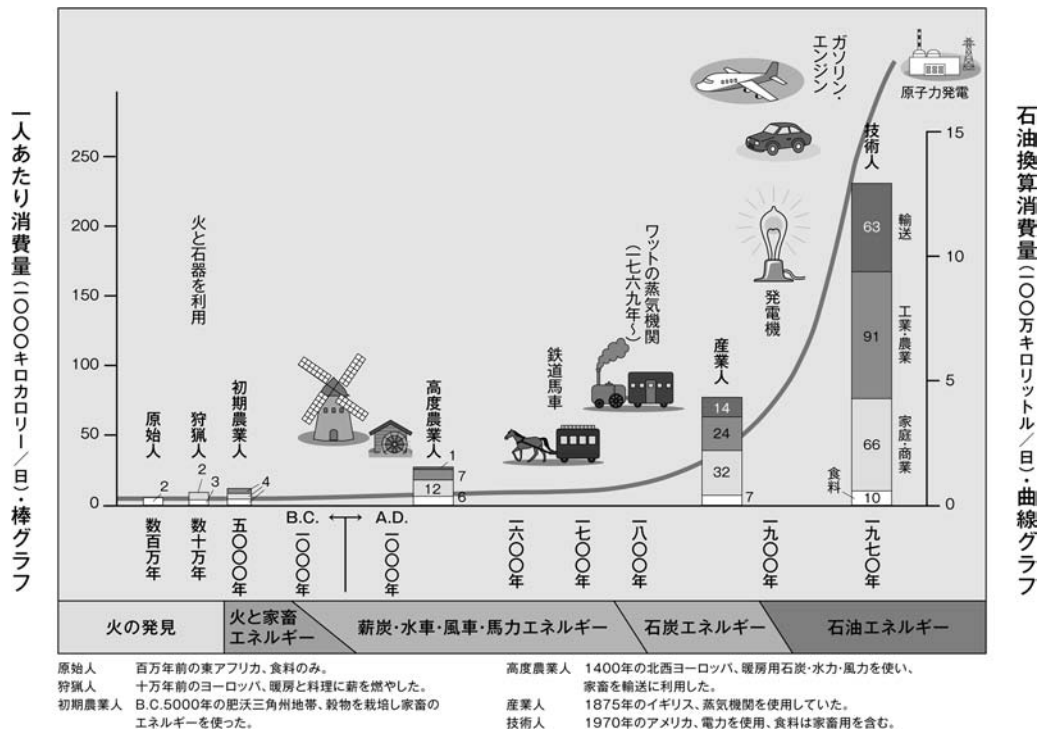
図2 動物の生存に必要なエネルギーと人類のエネルギー消費



(出典) 本川達雄『ゾウの時間ネズミの時間：サイズの生物学』中公新書，1992を基に筆者作成。

このように大量のエネルギーを消費するに至った人類とエネルギーのかかわりを歴史的に見ると、図3に示すように、ワットの蒸気機関の発明を契機とした産業革命以降、エネルギー消費が急増している。薪や風車・水車、そして牛馬など再生可能エネルギー利用に基づいていた農業の時代には、エネルギー利用の単位規模が小さかった。しかし、動力革命を契機とする産業革命を経てエネルギー消費の中心は工業部門に移り、利用の単位規模は急速に大規模化した。その後、技術的には、蒸気タービンや内燃機関の発明があり、それに伴う電力事業の発展や自動車の普及などにより、エネルギーは生活の隅々にまで行き渡り、発電所や製油所で大規模に変換された二次エネルギーが生活の末端まで配給されるという現在のエネルギーシステムの形態が確立した。

図3 人類とエネルギーのかかわり



(出典) 電気事業連合会「1・1-1人類とエネルギーのかかわり」『原子力・エネルギー図面集』 <<http://www.fepc.or.jp/library/pamphlet/zumenshu/pdf/all.pdf>>

### 3 食料生産とエネルギー

エネルギーと人間は様々な局面で関わっているが、ここでは食料生産とエネルギーの関係を少し詳しくみてみよう。

食料生産とエネルギーの関係の一つは肥料の生産である。チリ硝石および石炭ガス化の副産物に依存していた窒素生産は、20世紀初めに発明されたハーバー・ボッシュ法による空中窒素固定によってその生産量が急増した。窒素は爆薬の原料であるとともに肥料の原料でもある。空中窒素固定技術はドイツが第一次世界大戦を始めた原因の一つともいわれているが、人類にとっては窒素肥料の大量生産を可能にしたことの方がより重要である。窒素肥料生産は20世紀後半に特に急増し、食料増産を通して人口の爆発的拡大を支えた。空中窒素の固定には多大のエネルギーが使用される。このように、エネルギーは肥料生産を通して食料生産に寄与している。なお、肥料に直接関係する再生可能エネルギーはバイオマスである。バイオマスからバイオガスやバイオ燃料を生産する時に発酵残差や搾りかすが発生するが、これを肥料として利用することが可能であり、これにより間接的に肥料生産に必要なエネルギーを節約することができる。

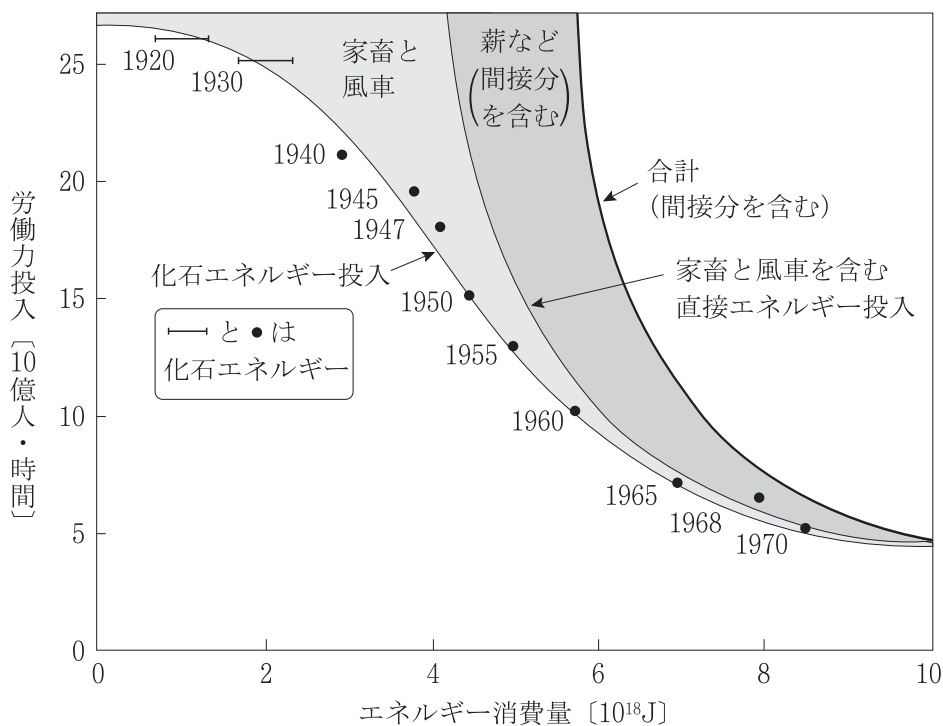
もちろん、食料の増産を可能にしたのは肥料投入だけによるのではない。1960年から2000年にかけて、世界の穀物生産は年間7.5億トンから19億トンへと増大したが、この間の耕地面積の拡大はわずかで、増産のほとんどは単位耕地面積あたりの収量の増大によって実現されている。単位耕地あたりの収量増加は、品種改良と肥料投入および灌漑等によってもたらされている。

図4は米国の農業における労働投入とエネルギー投入の関係を示している。1920年から1970

年にかけて米国の農業生産は2倍強に拡大したが、ここに示されているように、その間に労働投入量は約5分の1に減少し、代わってエネルギー投入量は約2倍になっている。

また、エネルギー投入の内訳を見ると、牛馬や風車、薪などの再生可能エネルギーの投入は大幅に減少し、農業機械などの導入によって化石燃料に置き換えられた結果、化石燃料だけに着目するとエネルギー投入量は約5倍になっている。つまり、米国などの先進国では、食料増産は、労働力と再生可能エネルギーを化石燃料の投入で代替することによって実現している。このように、食料生産においても化石燃料への依存は増大しており、それによって食料増産が支えられていることがわかる。このような農業を支えるエネルギーに、現代的な再生可能エネルギーを再び活用することが期待される。

図4 米国農業における労働力とエネルギー投入の推移



(出典) 高橋一弘編『エネルギーシステム工学概論』電気学会, 2007.

#### 4 19世紀後半以降の世界のエネルギー需給構造変化

19世紀後半以降の世界の一次エネルギー使用量の推移を図5に示す。ただし、ここで示すのは統計が整備されている商業的エネルギーについてである。図を見ると、20世紀後半、第二次世界大戦後の一次エネルギー使用量の急速な伸びが改めてよくわかる。ここに示されているように、世界全体では商業エネルギーの4割弱が石油、石炭と天然ガスがそれぞれ約4分の1、残りの1割強を原子力と水力がほぼ均等に分担している。なお、エネルギー源の構成は各国によってかなり異なる。米国は世界全体の構成に近いが、今後エネルギー需要の拡大が予想される中国とインドでは石炭への依存が大きい。

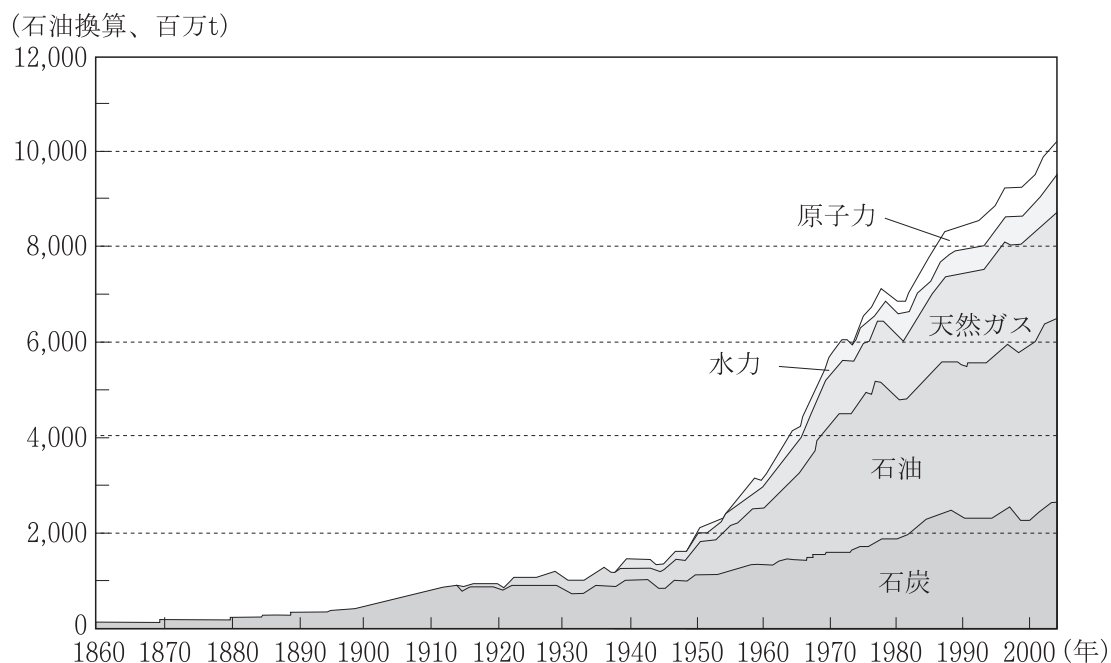
なお、原子力と水力については電力として供給された二次エネルギーの統計数値から、一次エネルギー供給量が計算されている。1990年頃から2005年頃にかけては、原子力と水力の現



在の電力供給量は世界全体ではほぼ等しい水準だったが、最近は水力が原子力より若干大きくなっている。ところで、図5では原子力と水力の電力供給を平均的な火力発電の効率で一次エネルギーに換算して表示しているのほぼ等しく表示されているが、統計によっては原子力発電については実際の発電効率の30%程度で一次エネルギー換算し、水力発電については100%の発電効率で一次エネルギー換算する場合がある。後者のように計算された一次エネルギーで表示すれば、見かけ上原子力による一次エネルギー供給量が水力発電の約3倍になるので注意が必要である。

また、統計の整備されている商業的エネルギーのほかにも、発展途上国における伝統的バイオマス利用を中心とした再生可能エネルギーである非商業エネルギーが利用されており、これは現在でも石油換算で年間約10億トン程度と推定され、水力や原子力より大きな規模であることに留意する必要がある。

図5 世界の一次エネルギー使用量の推移



(出典) 山地憲治『エネルギー・環境・経済システム論』岩波書店, 2006.

一次エネルギー供給源の構成の長期トレンドとしては、非商業エネルギーを含めれば、薪を中心とする伝統的再生可能エネルギー中心の構成から、19世紀中頃には石炭の比重が高まり、20世紀になって石油・天然ガスの割合が急増している。21世紀の100年間については様々なシナリオが描かれているが、在来型の石油資源の供給には限りが見えていることと地球温暖化対策のため、大きな傾向としては、再び非化石エネルギーの比率が高まるものと予想されている。

### Ⅲ 現在の再生可能エネルギー利用量

#### 1 世界動向

再生可能エネルギーは商業的に利用されていない場合も多いのでデータ入手が困難で、その利用規模の推定値には不確実性がある。途上国では現在でも薪や家畜排せつ物の燃焼など伝統的バイオマス利用がエネルギー供給の大きな比率を占める。先述したように、現在の伝統的バイオマス利用の規模は石油換算で年間約10億トン程度と推定されている。一方、先進国で期待されている現代的再生可能エネルギーについても、発電や燃料として利用されているものについては統計データが整備されているが、熱利用については推計に頼る場合も多く、世界合計では伝統的バイオマス利用とほぼ同程度、年間約10億石油換算トン程度と推定されている。

非商業エネルギーを除く現代的再生可能エネルギー利用の中では、水力発電と熱利用の比率が大きく、太陽・風力等による発電やバイオ燃料等のいわゆる新再生可能エネルギーの比率は現状ではまだ相対的に小さい。ただし、2006～2010年の5年間の平均年成長率で見れば、太陽光発電58%、太陽熱発電37%、風力発電26%（いずれも設備容量の伸び率）、バイオエタノール17%、バイオディーゼル27%などと、最近では新再生可能エネルギーの利用が急速に進んでいる。

このように急速な新再生可能エネルギー導入に伴って、再生可能エネルギーの市場規模も急拡大している。特に太陽電池生産の最近の変化は急速で、累積設置容量が1000万kWを越えた2008年の翌年には年間生産規模が約1000万kWに達し（ただし、新設された容量は生産量より少なく一部が在庫に回ったと推定される）、2011年には年間約3000万kWの生産が行われている。また、このように急速な市場規模拡大に伴ってコスト削減も急速に進んでいる。スポット価格の最近の動向データによれば、太陽電池パネルの値段は2012年には1W当たり1ドル（1kW当たり10万円相当）を下回っている。ただし、このように急速に変化する再生可能エネルギー分野の市場競争は厳しく、市場構成はめまぐるしく変化して倒産や撤退など脱落する企業も増えている。

#### 2 我が国の動向

再生可能エネルギーの利用用途には、発電の外にも、熱利用や燃料としての利用があるが、最近我が国で取り組みが進んでいるのは発電分野である。熱利用としては、太陽熱や温泉熱の温水利用や、紙パルプ産業における黒液（木材からパルプを生産する際の廃液）燃焼による工場での蒸気利用、木質ペレットやチップによる暖房や温水利用などがある。バイオマスの熱利用は、コージェネレーションのように、発電と組み合わせて行う場合もある。また、自動車用燃料としては、糖蜜や非可食米等から製造するバイオエタノール、廃食油から製造するバイオディーゼルの利用も行われているが国内での生産規模はまだ小さい。ここでは発電利用に焦点を絞って現状を説明する。

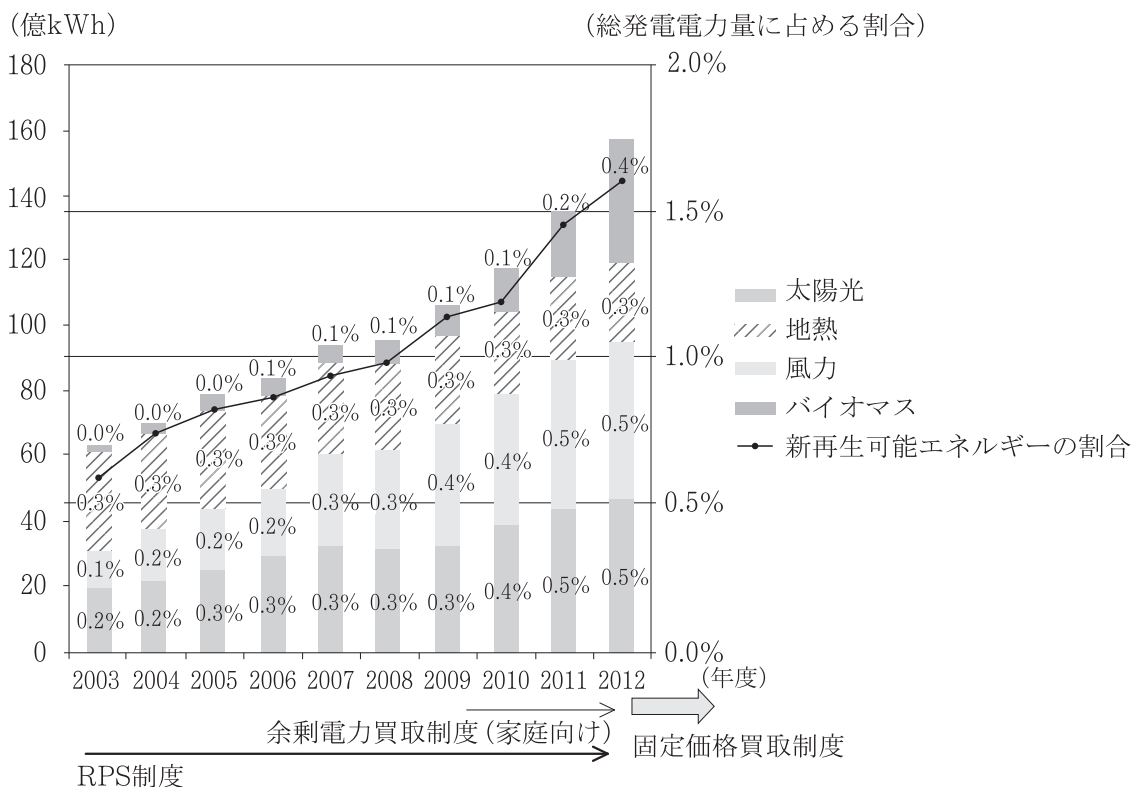
我が国は第一次石油危機直後からサンシャイン計画を開始して各種の再生可能エネルギーの技術開発を進め、1980年には新エネルギー開発の先導役として新エネルギー総合開発機構（現在の新エネルギー・産業技術総合開発機構の前身。略称：NEDO）を発足させた。また、1997年

には「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」（いわゆる「新エネ法」。平成9年法律第37号）を制定して再生可能エネルギーの開発・普及促進を進めてきた。新エネ法に基づいて政府は太陽光や風力による発電設備設置に補助や債務保証を与え、一方、電力会社は家庭用の太陽光発電の余剰分の逆流を認め、これを家庭用電気料金で買い取る自主的な取り組みを始めた。これらの施策によって2000年初頭頃まで我が国は世界の太陽電池の開発・普及をリードしてきた。

2003年からは電気事業者に一定量の再生可能エネルギーで発電した電力の調達を義務付けるRPS（Renewables Portfolio Standard）制度を導入し、2009年から家庭用太陽光発電の余剰電力を電気料金のほぼ2倍の価格で買い取り、その負担を電気料金への賦課金として回収する余剰電力買取制度を導入した。その後2009年夏の政権交代を経て、2012年7月から現在の再生可能エネルギー発電の全量固定価格買取制度が開始された。

2003年度以降の再生可能エネルギー発電（水力および自家消費分を除く）の拡大傾向を図6に示す。

図6 我が国の新再生可能エネルギー発電の導入状況



(出典) 総合資源エネルギー調査会総合部会第4回会合『生産・調達段階における論点：再生可能エネルギーの拡大』2013.6.27, p.1. <<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/sougoubukai/4th/4th-2.pdf>> を基に筆者作成。

ここに示されているように、2012年度の新再生可能エネルギー発電量は約160億kWhに達し、総発電電力量に占める割合は、2003年の0.6%から、2012年には1.6%へと約2.5倍に拡大した。2003年に新再生可能エネルギー発電の約半分を占めていた地熱は2012年度には老朽化により若干発電量が減少した一方で、風力と太陽光が急速にシェアを拡大している。なお、再生可能エネルギー発電としては、図6に示すもののほかに水力発電による約900億kWh（自家

用を含む)があり、水力を含めれば総発電量に占める再生可能エネルギーの割合は10%を少し超える水準になっている。

エネルギー基本計画は改訂中(2013年12月現在)であるが、東京電力福島第一原子力発電所事故前に決定された2010年エネルギー基本計画においても、2030年に再生可能エネルギーが電気事業用発電量に占めるシェアは約21%を目標にしていた。この中で、太陽光発電は5300万kW、風力は1000万kW、地熱も現状の3倍以上の165万kWが計画されていた。東京電力福島第一原子力発電所事故後、再生可能エネルギーへの期待はより一層高まっており、さらに大きい目標が追及されることになろう。

## 参考文献

- (1) 山地憲治・山本博巳・藤野純一『バイオエネルギー』ミオシン出版, 2000.
- (2) 山地憲治『エネルギー・環境・経済システム論』岩波書店, 2006.
- (3) 高橋一弘編『エネルギーシステム工学概論』電気学会, 2007.
- (4) 茅陽一・山地憲治・秋元圭吾『温暖化とエネルギー』エネルギーフォーラム社, 2014.