

資料 2

世界における再生可能エネルギーの普及状況

1. はじめに

再生可能エネルギー（以下、見出しを除いて再エネ）は特に今世紀以降、温室効果ガス排出抑制策のひとつとして、主として欧州地域で盛んに導入されてきた。わが国でも1970年代のオイルショックを契機として石油代替エネルギーとしての再エネの研究開発が進み、関連の優れた技術が数多く開発された。しかしながら、日本では代替エネルギーとして、また近年は温暖化対策として再エネよりも原発が重視されたこともあって普及策が十分でなかったため、再エネ（水力を除く）由来の電力の全発電量に占める割合は2010年時点でわずか2.5%に留まっている¹。

他方、世界では欧州各国のみならず開発途上国でも再エネの普及が社会にもたらす幅広い効用（環境保全、地域活性化、雇用創出、エネルギー安全保障、輸入燃料への依存度低下、など）への認識が深まり、再エネの導入促進に向けたさまざまな施策が講じられている。その結果、2010年時点の世界における全エネルギー供給量に再エネが寄与した割合は図1のように16.7%²にまで増大しており、引き続き2011年においても全てのエネルギーサブセクター（電力、熱、輸送燃料）においてこの増大傾向は続いている³。こうした実情を反映して、伝統的に保守的なエネルギー予測を打ち出してきた国際エネルギー機関(IEA)でさえも、高普及シナリオでは2050年までに全エネルギー需要の50%が再エネによって賄われる可能性があるとしている。今や再エネの普及はできるかできないかではなく、再エネが普及した社会をその構成員が選ぶか否かにかかっている状況となっている。

ここではまず、諸外国で再生可能エネルギーが推進された背景や社会的意義を概観して、国際社会における再エネ関連の動きや今後の見通しを概観する。続いて、現状ではコスト高である再エネを導入する為に世界各国で採られてきた政策や種別ごと（太陽光、風力など）の普及状況を紹介する。

¹ 大規模水力は自然環境や人間社会に及ぼす負のインパクトが大きいので環境負荷が極めて低い他の再エネと同列に扱うことは適当ではなく、また小規模水力の発電量は現時点では極めて小さいために、ここでは全ての水力発電分を除く数値を再エネが全発電量に寄与した割合として示している。

² このうち近代的な再エネ利用の割合は8.2%で、8.7%は伝統的なバイオマス利用であり、後者が横ばいなのに対し、前者は急激に伸びている。

³ 2011年には全電力消費量の20.3%が再エネにより賄われた。

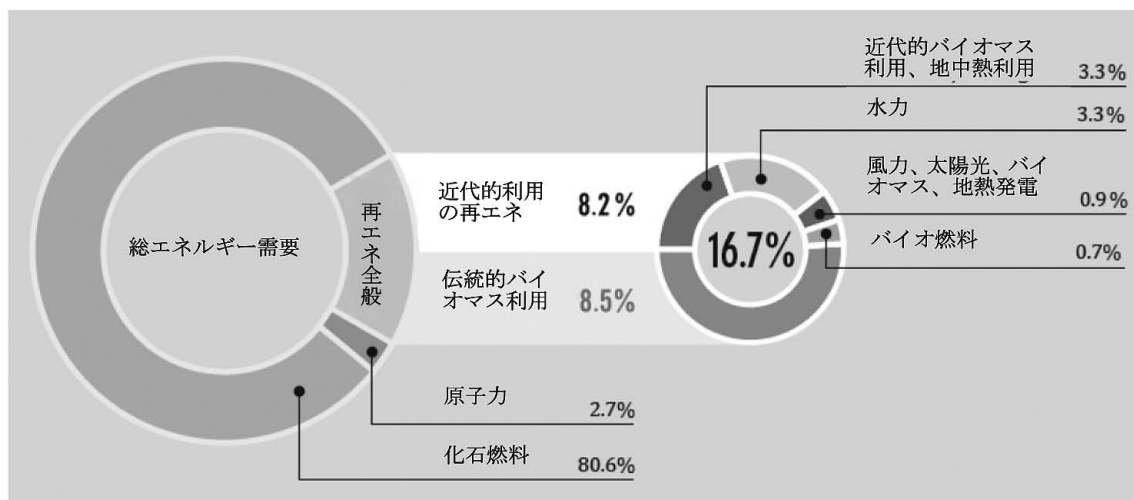


図1 2010年の世界の総エネルギー需要における再生可能エネルギーのシェア
出典：REN21 (2012)

2. 諸外国における再生エネ推進の背景及び社会的意義

2.1 石油代替エネルギーとしての再生可能エネルギーと原子力エネルギー

1973年の第1次オイルショックを契機にわが国でも諸外国と同様に石油代替エネルギーの研究開発が進められ、1974年に発足したサンシャイン計画などにより、太陽光発電や太陽熱利用を主とする再エネの利用は一定程度普及した。しかし、わが国では原子力が再エネより重視されたため、欧州を中心とする諸外国と比べて再エネの基幹エネルギー源としての普及は大幅に遅れることとなった。

諸外国でも石油代替としての原子力の推進が検討されたものの、スウェーデンでは1979年のスリーマイル島原発事故の翌年に実施された国民投票により2010年までの原発全廃が、デンマークでも1985年に議会による原発の導入中止の決定が行われ、両国ともにそれ以降加速度的に再エネの導入を進めている。近年では福島原発事故直後にドイツ、スイス、イタリアにおいても脱原発の方針が国民投票の結果を踏まえて決定されたことが記憶に新しい。いずれの場合も原発運転時の危険性もさることながら、運転を続ける限り継続的に発生する核廃棄物の処理問題は解決の見通しが立っておらず、文字通り将来世代に多大な負債を回すことになることと幅広く認識されたことが、原発の廃止あるいは導入中止という決定につながった。

我が国では原発のコストは低いとされてきたが、これは運転期間40年、稼働率80%という非現実的な前提によるもので、現実の運転期間と稼働率を元に算出したコストは決して低くなく、水力が最も低い（ただし、大規模水力の開発余地は日本においては無い）。さらに電力会社が負担しない（国民が納税を通じて負担する）地元対策コスト、核廃棄物処理コスト、廃炉コストなど⁴を加味すると低いどころか、高コストであることが特に2011年3月11日の東日本大震災以降、一般市民にも知れ渡ることとなった⁵。

したがって仮に安全性を度外視した場合でも、電気料金や各種税金を納めている国民の立場からは原発の経済面でのメリットはないと言える。

2.2 再生可能エネルギー推進の社会的意義

他方、再エネはその導入や利用に当たって原発のような危険性はない上に、地産地消が基本であることから化石燃料のように輸入と引き換えに地域の富を海外に流出させることは少ない。こうした点から再エネの導入推進は環境保全のみならず、地域経済の活性化や雇用の促進にもつながるとの認識が、欧州の先進地域のみならず途上国でも広がりつつある。

特にドイツ、スペインをはじめとする欧州各国は、固定価格買取制度をはじめとする再エネの導入コストを低減させるための各種制度を導入している。その結果、当該各国では再エネへの投資が指数関数的に増えており、上記で述べたような地域経済の活性化や雇用の促進という地域における具体的な効果が目に見えて現れている（表2参照）。特にドイツにおいては風力や太陽光由来の電力がグリッドパリティ（再エネ由来の発電コストが従来電源の発電コストと同程度になること）に近づきつつある。例えば、1MW以上の太陽光発電事業については買取価格が家庭用電気料金と同等の12.4ユーロセント/kWhまで下がっているため、いくら導入しても家庭用電気料金を上げることはならない状況となっている⁴。逆に想定を超えて普及する再エネに系統を対応させるための調整策（送電網の強化や蓄電対策など）を予定より前倒しで講じる必要が出てきているほどである。

加えて、欧州各国では1992年のリオ地球サミットでの気候変動枠組み条約の採択や1997年の京都議定書採択に伴う温室効果ガス削減目標の設定を契機として、気候変動対策としても再エネの普及を推進してきた経緯がある。

⁴ 日本の場合はこれらに加え、使用済み核燃料再処理にかかる技術開発コストを計上すべき

⁵ 大島堅一（2011）並びに2013年1月18日付日経ビジネスを参照。

⁶ 2012年11月22日付日経ビジネスを参照。

表1 2011年における再エネ種別ごとの想定雇用数

単位：1000人

	世界計	中国	インド	ブラジル	米国	EU	ドイツ	スペイン	その他
バイオマス	750	266	58		152	273	51	14	2
バイオ燃料	1,500			889	47-160	151	23	2	194
バイオガス	230	90	85			53	51	1.4	
地熱・地中熱	90				10	53	14	0.6	
小水力	40		12		8	16	7	1.6	1
太陽光	820	300	112		82	268	111	28	60
太陽熱発電	40				9		2	24	
太陽熱利用	900	800	41		9	50	12	10	1
風力	670	150	42	14	75	253	101	55	33
計	5,000	1,606	350	889	392-505	1,117	372	137	291

出典：REN21 (2012)

3. 再生可能エネルギーに関する国際社会の動きと今後の見通し

2002年に南アフリカ共和国のヨハネスブルクで開催された持続可能な開発に関する世界首脳会議（第2回地球サミット、リオ+10）においては、再エネの導入目標の設定についても議論されたが、実際に設定されるには至らなかった。しかし、このときの議論が契機となり、世界で初めての再エネに関する国際会議が2004年にドイツのボンで開催され、2009年のIRENA（国際再生可能エネルギー機関）の設立につながった。

3.1 持続可能な開発に関する世界首脳会議（2002年）の開催

1992年にブラジルのリオデジャネイロで開催された環境と開発に関する国連会議（リオ地球サミット）の10年後に、同会議で設定された環境と開発の両立にかかる行動計画「アジェンダ21」の取り組み状況の確認や新たな課題についての討議を目的に、「持続可能な開発に関する世界首脳会議（ヨハネスブルク地球サミット）⁷」が開催された。同会議では再エネの導入目標が最大の焦点となり、複数国（EU、ブラジル、フィリピンなど）が導入目標の設定を強く主張したが、米国や日本などの反対により実現には至らなかった。しかし、このときEUが中心となって「ヨハネスブルク再生可能エネルギー連合（JREC）」を立ち上げ、同連合への参加を各国に働きかけた。また、ドイツのシュレーダー首相（当時）が2年後にドイツ主導で再生可能エネルギーの国際会議をドイツで開催すると宣言し、後述するように実際に開催された。

⁷ リオ地球サミットの10年後に開催されたのでリオ+10とも呼ばれる。

3.2 Renewable 2004 の開催

上述の通り 2002 年のヨハネスブルク地球サミットにおいてドイツのシュレーダー首相（当時）が再エネの普及をテーマとした国際会議の開催をコミットしたことを受けて Renewable2004 が 2004 年にドイツのボンで開催された。同会議のメインテーマは、再エネを普及させるための、1) 市場を発展させる政策措置、2) ファイナンス（資金調達）、3) 人的・制度的な能力の向上、であった。

ドイツを初めとする欧州各国はヨハネスブルク地球サミットの時と同様に再エネの普及に向けて数値目標を設定することを提案した⁸が、米国や日本の反対により実現されなかった。しかしながら、同会議では再エネ拡大のための「ボン宣言」と「行動計画」が採択され、その気運を継続するために、各国政府・国際機関・再エネ事業者・環境 NGO などを理事とするマルチステークホルダーの REN21（Renewable Energy Policy Network for the 21st Century）が発足した。日本では環境エネルギー政策研究所（ISEP）が発足時から理事を務めている。

3.3 REN21（Renewable Energy Policy Network for the 21st Century）

上述の Renewable2004 において発足した REN21 は、世界各地で再エネの普及に取り組んでいるさまざまな主体のネットワークを活用して、再エネ関連の経験・知識・情報を総合的に共有する場を設定しているほか、2005 年から毎年、Renewables Global Status Report（再生可能エネルギー世界白書）を発行している（表 3 参照）。

⁸ ドイツ自体は再エネの全エネルギー源に占める割合を 2010 年までに 12.5%、2020 年までに 20%に引き上げることを目標としていた。

表 2 REN21 年表

年	主なイベント
2002 年	ヨハネスブルク・サミット WSSD
2004 年	ボン自然エネルギー国際会議 2004 (Renewables2004) 秋：REN21 の発足準備会合
2006 年	REN21 発足 北京自然エネルギー国際会議 BIREC2005 「自然エネルギー世界白書 2005」 GSR2005
2007 年	「自然エネルギー世界白書 2006」 GSR2006
2008 年	ワシントン自然エネルギー国際会議 WIREC2008 「自然エネルギー世界白書 2007」 GSR2007
2009 年	国際再生可能エネルギー機関 (IRENA) 発足 「地方自治体の自然エネルギーに関する世界白書」 「自然エネルギー世界白書 2009」 GSR2009
2010 年	デリー自然エネルギー国際会議 DIREC2010 「自然エネルギー世界白書 2010」 GSR2010
2013 年	アブダビ自然エネルギー国際会議 ADIREC2013 「世界自然エネルギー未来白書 2013」 GFR2013

出典：自然エネルギー政策プラットフォーム（2011）に筆者追記

3.4 IRENA（国際再生可能エネルギー機関、アイリーナ）の設立

以上の流れを汲んで、各種再エネの導入と持続可能な利用を幅広く推進することを使命とする IRENA（国際再生可能エネルギー機関）が、2009 年 1 月 26 日に設立された。その後、149 カ国が加盟文書である「IRENA 憲章」に署名し（2010 年 11 月時点）、その内日本を含む 43 カ国がこれを批准し、IRENA は 2011 年 4 月に国際機関として正式に発足した。

IRENA の具体的な活動内容は、再エネ関連の技術・経済・資源ポテンシャル等の情報へのアクセスの促進と、再エネ関連の政策枠組み・人材育成プロジェクト・金融メカニズム等に関する成功事例や経験の共有である。

エネルギー関連の国際機関としては他に原子力の平和利用を使命とする IAEA（国際原子力機関）と石油ショックに対抗して設立された IEA（国際エネルギー機関）がある。IRENA の設立を後押ししたのはグリーンニューディールへの期待だが、3.11 以降は再エネを原子力代替エネルギーとしても推進する中心的役割を担うものと思われる。

3.5 世界における再生可能エネルギーの普及トレンド

上述のような再エネ普及のための国際社会での取り組みを受けて、再エネがこれまで実際にどの程度普及し、今後どの程度普及すると予測されているか見ていく。

2011 年時点での世界のエネルギー需要量における再エネの割合は 17 ～ 18%であり、そのうち 9%が伝統的なバイオマス利用によるもので 8%が近代的な再エネ利用によるものである。前者の数字は長い間比較的安定しているのに対し、後者の数字は 1990 年代後半から急激に上昇している。

2011 年時点で約 30 カ国⁹において 20%以上、そのうち数カ国については約 50%のエネルギー需要量を再エネから得ている。この数字は米国と EU では約 12%、フランス、ドイツ、イタリア、スペインなどでは 10%以上である¹⁰。特に電力については世界における 2011 年の新規発電容量の約半分を再エネが占めている（つまり、化石燃料と原子力とを合わせた新規発電容量と同程度）。

想定よりも急激に再エネの導入量が増えた 1990 年台後半から 2000 年台前半にかけて、シェル石油や IEA など、それまで保守的なエネルギー需要予測を行っていた機関からも高い数字の再エネ導入予測シナリオ（2050 年までにそれぞれ 50%、35%）が示され、世界を驚かせた。代表的な再エネ普及予測シナリオは表 4 の通り。

表 3 各機関による再エネ普及予測（セクターごとのシェア予測）

	予測年	電力	熱	輸送燃料
ExxonMobil Outlook for Energy: A View to 2040 (2012)	2040	16%	–	–
BP ¹¹ Energy Outlook 2030 (2012)	2030	25%	–	7%
IEA World Energy Outlook (2012) “New Policies”	2035	31%	14%	6%
IEA World Energy Outlook (2012) “450”	2035	48%	19%	14%
Greenpeace (2012) Energy [R]evolution	2030	61%	51%	17%
IEA Energy Technology Perspective(2012)	2050	57%	–	39%
GEA ¹² Global Energy Assessment (2012)	2050	62%	–	30%
Greenpeace (2012) Energy [R]evolution	2050	94%	91%	72%
WWF ¹³ (2011)Ecofys Energy Scenario	2050	100%	85%	100%

出典：REN21 (2013)

⁹ オーストリア、ブラジル、チリ、デンマーク、フィンランド、アイスランド、ニュージーランド、ノルウェー、ペルー、フィリピン、ポルトガル、ルーマニア、スウェーデン、ウガンダ、ウルグアイなど

¹⁰ 日本は 6%とされているが大規模水力を含む場合の約 10%と含まない場合の約 2.5%とのいずれの数字とも食い違っており、その理由については未確認。

¹¹ British Petroleum

¹² Global Energy Assessment

¹³ World Wide Fund for Nature

3.6 再生可能エネルギーへの投資の拡大

2011 年の世界における再エネへの投資額は前年比で 17% 増え、過去最高の 2,570 億米ドルに達した。これは 2004 年の投資額の約 6 倍、2007 年のその 1.94 倍である。2011 年の前年比増加率は 17% とその前年の 37% を大幅に下回っているが、これは太陽光モジュールや風力タービンの価格が急激に下がったためである¹⁴。

2011 年における先進国での新規投資額は 1680 億米ドルであったが、新興国を含む開発途上国でも 890 億米ドルもあり、投資額の上位 5 カ国をみると多いほうから順に、中国、米国、ドイツ、イタリア、インドであった。2011 年は米国での 510 億米ドル、欧州での 1,010 億米ドルが目立つが、これは先進各国で再エネ優遇税制プログラムが終了することを受けての駆け込み需要によるものと思われる。

新興国では中国の 520 億米ドル（前年比 17% 増）、インドの 120 億米ドル（同 62% 増）、ブラジルの 70 億米ドル（同 8% 増）が目立った。再エネ投資額の首位はなおも中国だが、伸び率は太陽光発電普及の国家目標（2022 年までに系統連系型太陽光発電を 22GW）を掲げているインドが最大であった。

各種再エネのコストは表 4 の通りであるが、近年は投資の費用対効果に配慮した政策よりも、投資する際のリスクやリターンに配慮した政策の方が、再エネへの投資を促進する効果が高いとの指摘もある。

表 4 2011 年時点での各種再エネの典型的なコスト

再エネの種類	典型サイズ	初期投資額 (米ドル/kW)	発電コスト (米セント/kWh)
バイオマス	25～100 MW	3,030～4,660	7.9～17.6
地熱	1～100 MW	蒸気発電：2,100～4,200 バイナリー発電：2,470～6,100	蒸気発電：5.7～8.4 バイナリー発電：6.2～10.7
水力（系統連系）	1～18,000 MW	2,000 以下 (300MW 以上) 2,000～4,000 (300MW 未満)	5～10
水力（ワグレット）	0.1～1,000kW	1,175～3,500	5～40
潮力	1MW 以下、 250 MW 以上	5,290～5,870	21～28
太陽光（家庭用）	3～500kW	2,480～3,270	22～44（欧州）
太陽光（大規模）	2.5～100 MW	1,830～2,350	20～37（欧州）
太陽熱	50～500 MW	4,500 7,100～9,000 6,300～10,500	18.8～29
風力（陸上）	1.5～3.5 MW	1,410～2,475	5.2～16.5
風力（海上）	1.5～7.5MW	3,760～5,870	11.4～22.4
風力（小規模）	100kW 以内	3,000～6,000（米国） 1,580（中国）	15～20（米国）

¹⁴ 2011 年の太陽光モジュール価格は 1～1.2 米ドル/W であり、前年比で 50%、2008 年比で 74% 下落した。

4. 諸外国で採られている再エネ推進策

前節では再エネの普及にかかるこれまでの国際的な動きと今後の普及シナリオについて概観したが、本節ではそうした動きをもたらし今後の普及シナリオを形作っている再エネ関連施策にどのようなものがあるか紹介する。

再エネの導入を推進するには再エネ関連技術そのものの研究開発もさることながら、送電網・建物・産業施設・交通等の既存インフラを動かすエネルギー源として再エネの利用拡大を促す政策制度が重要であるとさまざまな専門家が異口同音に語っている。

再エネ技術と既存インフラの統合を推進するには、発送電分離や電力市場における新たなルール作りに加え、現在の経済システムでは高コストとされる再エネを推進するエネルギー関連政策が必要であることが、再エネの普及した先進地域でのこれまでの事例から見て取れる。さらにこうした取り組みを地域レベルで推進するには国家レベルの政策だけでなく、まちづくりのあり方に直接的に影響する地方政府による政策制度が重要な役割を果たすようになっている¹⁵。

4.1 導入目標値の設定

2011年時点で118ヶ国の国々が、再エネの導入目標値を設定しており、そのうち約半数が開発途上国と言われる国々である(表6参照)。多くの国々は再エネ由来の電力のシェアを年率で0.2-1.5%増加させる目標を設定しており、電力に限らない一次エネルギー(供給ベース)や最終エネルギー(消費ベース)における再エネのシェア、熱供給量、自動車燃料におけるバイオ燃料の混合割合にかかる目標値を設定している国々もある。また、国だけでなく、自治体が独自の目標値を設定している例も多く、たいていの場合、目標年を2020年かそれ以降に設定している。

目標の設定に際しては、人口動態、経済成長率、エネルギー利用効率の進展も加味されている。例えばドイツでは2050年までに電力供給量の80%を再エネで賄うとの目標を設定しているが、合わせて同年までに総エネルギー消費量を半減させるという目標も掲げている。

¹⁵ 例えば断熱を考慮した建築基準法、都市鉄道や電気自動車の導入を考慮した都市計画等

表5 再生可能エネルギー（由来の電力供給量）の総エネルギー（総電力供給量）に占める割合など

国	一次エネルギー（供給ベース）		最終エネルギー（消費ベース）		電力供給量	
	実績(2010年)	目標値（年）	実績(2010年)	目標値（年）	実績(2010年)	目標値（年）
オーストリア	27.3%	30.7% （目標年なし）		45%(2030)	68%	2020年までに 下記容量追加 風力 2GW 太陽光 1.2GW 水力 2GW バイオ 200MW
ドイツ	9.7%		11.3%	18% (2020) 30% (2030) 45% (2040) 60% (2050)	17.1%	35% (2020) 50% (2030) 65% (2040) 80% (2050)
アイスランド					100%	設定なし
イタリア	9.5%		10.1%	17% (2020)	20.1%	26% (2020)
オランダ	3.9%		3.8%	14% (2020)	9.7%	設定なし
スペイン	11.3%		13.2%	20.8% (2020)	34.0%	38.1% (2020)
デンマーク	16.7%		23%	35%(2020) 100%(2050)	32%	50%(2020) 100%(2050)
フィンランド	23.2%		33.6%	38%(2020)	30.0%	設定なし
ノルウェー					96%	2020年までに 30TWh/年
スウェーデン	34.4%		46.9%	50%(2020)	55.0%	2020年までに 2002年比 で25TWh/年 追加
イギリス	3.6%		8.1%	15%(2020)	7.4%	15%(2015) 80%(2020)
日本		10% (2020)			3.5%	30%(2030)
韓国		4.3% (2015) 6.1% (2020) 11% (2030)			1.9%	設定なし
中国				11.4%(2015) 15% (2020)		
インド					9.9%	10%(2012)
タイ		20%(2022)			5.6%	11%(2011) 14%(2022)
フィリピン	38.9%	設定なし		設定なし	26.3%	40%(2020) 2030年までに 2010年比 で3倍
マレーシア						10% （目標年なし）
ベトナム		5% (2020) 8% (2025) 11% (2050)				5% (2020)
インドネシア		25% (2025)			13.2%	15%(2025)
オーストラリア					8.7%	20%(2020)
ニュージーランド					73.0%	90%(2025)
米国	11.8%	設定なし		設定なし	11.0%	設定なし
カナダ					60.0%	2015年までに 風力 10GW
アルゼンチン	9.7%	設定なし		設定なし	31%	設定なし
ブラジル	47.5%	設定なし		設定なし	85%	設定なし
コスタリカ	100%	設定なし		設定なし	94%	100% (2021)

出典：REN21 (2012) を基に筆者作成

4.2 固定価格買取制度（Feed in Tariff：FIT）

2012年7月から我が国でも開始された固定価格買取制度¹⁶とは、再エネによる電力を電力会社が長期に亘って固定した価格で買い取ることを義務付ける制度であり、2012年初期の時点で92の国・州・地域が採用している。

電力会社は再エネ電力の買取に要した費用を電力料金に上乗せするため、電力利用者に再エネ普及にかかる費用負担を国民に薄く広く求められ、政府による財政支出を必要としないという特徴がある。

もう一つの重要な側面は、買取価格を再エネ設備の設置時点で長期間固定する一方、設備の設置時期が後になるほど買取価格（電力会社への売り渡し価格）が低くなることである（既に導入された設備については導入時の価格で固定される）。この仕組みにより設備導入計画を立てやすくして設備への投資・融資を促す一方、定期的な見直しを通じた買取価格の逡減により、電力会社や電気利用者の負担は抑えられる。

デメリットとしては、低品質な電力も高値買取の対象となりかねないこと、中国製などの安い海外製品の導入が促進されて当該地域では電気料金が上がるだけで雇用創出効果が得られない場合があること、などが挙げられる。

固定価格買取制度の走りは、1978年に米国で導入された Public Utility Regulatory Policies Act (PURPA) 法で、同法はカリフォルニア州などにおける風力発電の立ち上げに貢献した。しかし、国家レベルで顕著に効果を挙げた例は1990年にドイツが導入した制度が最初とされる。

他の再エネ普及制度としては後述する固定枠制度や入札制などもあり、当初はこれら制度を採る国も多かったが、いずれの効果も固定価格買取制度に劣ることとなった。供給量増大を志向する制度と需要量増大を志向する制度とで、結果として需要志向の制度に軍配が上がったことになる。

4.3 固定枠制度（RPS 制度、クォータ制）

1990年にイギリスが導入した非化石燃料義務制が固定枠制度（Renewable Portfolio Standard、クォータ制）の発端である。電力会社に一定割合の非化石燃料（当初は原子力を想定）の導入を義務付け、それを競争入札で採択するという仕組みであった。

現在では電力会社に一定割合の再エネの導入を義務付ける制度として、2012年時点で72の国・州・地域が採用しており、日本でも RPS 法として定着していたが2012年7月に廃止された。一時期、上述の FIT と固定枠制度 (RPS) のどちらの効果が高いのか議論になったが、実際の導入状況の検証結果を確認すれば、FIT に軍配が上がったと言える。

¹⁶ 太陽光のみを対象とする余剰電力買取制度は2009年11月から開始されたが、同制度を引き継いだ現行の制度は風力や水力などの他の再エネも対象としており、また産業用については余剰分ではなく全発電量を買取対象とすることが可能となった。

4.4 送電網の整備

一般に、再エネ由来の電力は出力の変動が大きい。この点は特に風力と太陽光については真実だが、例えば水力についてはそうでもなく、地熱については全く当てはまらない。

出力変動の大きい再エネ由来の電力が大量に送電網へ流れ込むと電力の品質や安定性を保つための送配電会社の管理業務は増える。しかし、こうした変動量の管理は送配電会社にとって特に目新しくはなく、各電力会社はこれまでも電力変動に対応してきた。ただ、これまでは需要量の変動のみに対応してきたが今後は供給量の変動にも対応する必要があるということに過ぎない。その供給量の変動も、風の吹いている地域と吹いていない地域、太陽が照っている地域と照っていない地域とで電力融通ができるほど再エネの導入が面的に拡大すれば相当程度緩和される。

欧州の経験からは再エネ由来の発電量の総電力供給量に占める割合が3割程度までであれば、デマンドレスポンスや蓄電などにかかる先端技術がなくとも既存の送配電システムだけで再エネ独特の出力変動に対応できることが示されている¹⁷。

4.5 地方レベルでの取り組み

国レベルのみならず、世界の多くの地域、都市、町も再エネ普及にかかるさまざまな取り組みを進めている。建物や交通にかかる都市インフラ（場合によっては配電システムも含む）の整備は地方政府が担っており、多くの地方都市が都市インフラ整備の際に再エネ導入やエネルギー効率利用を考慮するようになっている。また、再エネ事業の成功例の多くは地方発の取り組みによるものが目立つ。

都市や町による再エネ関連の政策制度としては、導入目標、補助金、公的支出、革新的ファイナンス、グリーン電力購入、建築基準、輸送燃料へのバイオ燃料混合義務、などが一般的であり、多くの場合、国の政策よりも先駆的である。

今後は地域の再エネ利用の拡大やエネルギー効率利用の促進を図るために、隣接都市同士、あるいは離れた都市同士でさえも連携が進むと考えられ、その代表的なイニシアティブが欧州市長誓約（EU Covenant of Mayors）である。欧州内外の誓約都市の数は2013年2月時点で4,331であり¹⁸、気候変動対策、エネルギー効率利用、再エネにかかる個別の行動計画の策定だけでなく、誓約都市同士のネットワーク活動も活発化している。

最近では再エネ100%の目標や行動計画を掲げる自治体も目立ってきている。小規模都市でそのような目標を掲げている都市の例として、サムソー（デンマーク）、シェーナウ（ドイツ）、葛巻町（日本）などが挙げられ、地域の電力需要と熱需要の全ての完全自給を目標としている。中規模都市でも今後10年間でさまざまな形態でのエネルギー完全自給を目指している都市もあり、マルメ（スウェーデン）、サンフランシスコ（米国）などが挙

¹⁷ スペインでは最大で電力需要の約6割を風力発電が賄っているとされているが、何とか対応できている。

¹⁸ 同時期の誓約都市の人口の総計は約1億6,550万人

げられる。人口 100 万人を超える大都市でさえもいささか遠い目標年（2025 年と 2050 年の間）であるものの、コペンハーゲン（デンマーク）、ハンブルク及びミュンヘン（ドイツ）、日照市（中国）、シドニー（オーストラリア）などは、完全自給かそれに近い目標を掲げている。

5. 世界における再生可能エネルギーの分野別動向

2011 年の世界における再エネ由来の発電容量について、風力は前年比 20%増の 234GW に達し（過去 5 年間の平均増加率は 26%）、太陽光は前年比 74%増の 70GW に達した（同 58%）。風力や太陽光の大幅な増加と比べると、水力、バイオマス、地熱の発電容量の伸びは、火力などの従来型技術による発電容量のそれと同程度であった。再エネによる総発電容量は 2011 年に 1,360GW（水力の 970GW を含む）に達し、これは世界における全発電容量の約 4 分の 1 に相当する。

再エネ由来の輸送燃料の生産量も顕著に伸びており、2011 年には世界における陸上輸送燃料の消費量の約 3%に相当する 1070 億リットルのバイオ燃料が生産された（バイオエタノールとバイオディーゼルの 5 年間平均増加率はそれぞれ 17%、27%）。

IEA やグリーンピースなどの各機関による、2030 年時点での再エネによる発電容量の予測シナリオと、輸送燃料消費量に占めるバイオ燃料の割合の予測シナリオをそれぞれ表 7、図 2 に示す¹⁹。

表 6 2030 年時点の再エネによる発電容量の予測シナリオ

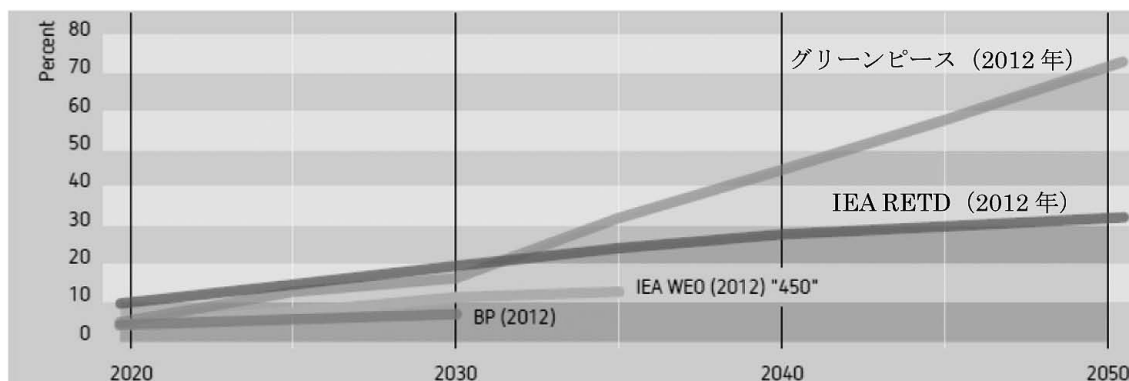
単位：GW（ギガワット）

	水力	風力	太陽光	太陽熱	バイオマス	地熱	海洋
2006 年実績値	-	74	8	0.4	45	9.5	0.3
2011 年実績値	970	238	70	1.8	72	11	0.5
IEA 予測値	1,640	1,400	700	140	340	50	20
グリーンピース予測値	1,350	2,900	1,750	700	60	170	180

出典：REN21 (2012)

¹⁹ 図 2 において、IEA WEO は IEA World Energy Outlook の、IEA RETD は IEA Renewable Energy Technology Deployment の略。

図2 輸送燃料需要に占めるバイオ燃料の割合の予測シナリオ



出典：REN21 (2013)

5.1 風力

現時点で風力は水力を除けば各種再エネの中で最も低コストで、最も普及しており、2011 年時点での総発電容量は 234GW に達している。特に陸上風力については多くの地域において火力発電と競争できるほどコストが低下しており（5 ～ 16 ユーロセント / kWh）、欧州においては 2015 年までに完全なグリッドパリティに達する（8 ～ 10 ユーロセント / kWh）と予測する専門家もいる。

ブレードやナセルの材料の軽量化、タワー資材のコンクリート化、永久磁力による発電、レアアース代替物質などにかかる研究開発が進むと発電効率や電力品質がさらに高まる可能性がある。

洋上風力の 2011 年時点での発電容量は 4GW であり、陸上風力のその 60 分の 1 程度にすぎない。しかし逆に言えばまだこれからの成長が期待でき、特に発電に適した風が安定的に吹く欧州での普及はかなり期待されるところであり、2025 年ごろには洋上風力が 100GW 近くにまで成長するとみられている。洋上風力のコストは 2012 年時点で 11 ～ 22 ユーロセント / kWh と陸上風力に比べるとまだ高いが、洋上の風は陸上に比べて安定しているので出力安定化にかかるロードが少なく済むという利点があり、IEA の予測によるとコストについても 2021 年から 2035 年の間に 6 ～ 9 ユーロセント / kWh まで下がるとされている。

小型風車のコストは 100kW 以下のもので 15 ～ 20 ユーロセント / kWh、3kW 以下のもので 15 ～ 35 ユーロセント / kWh 程度とまだまだ高いが、2010 年時点で 65 万基の小型風車が開発途上国を中心に整備されている。

現在、洋上風力で使われている風力発電機については、シーメンス（ドイツ）が 53%、Vestas Wind Systems（デンマーク）が 36% のシェアを持っており、この 2 社だけで洋上風力発電市場の 90% 近くのシェアを持っている²⁰。

²⁰ シーメンス製は 2.9MW 級、Vestas 製は 2.6MW 級のものが中心である。

5.2 太陽光

太陽光発電の市場は他の種類の再エネと比べてもとりわけ急激に拡大している。2011年に世界で新規に導入された太陽光発電容量は30GW（2010年に設置されて2011年に系統接続された分を含む）で、総発電容量としては前年比1.74倍の70GWに達した。この数字はわずか5年前の約10倍であり、2006年から2011年にかけての5年間の年平均増加率は58%であった。

導入状況を地域別に見るとドイツとイタリアを中心とする欧州が引き続き牽引役であり、新規導入量は17GWで総発電容量は51GWに達した。2011年には新規発電容量（火力発電等を含む）に占める太陽光発電の割合が47%に達し、新規導入量では初めて最大となったことが特に注目される。

欧州以外の地域での2011年における新規発電容量は、中国が2.1GW、米国が1.9GW、日本が1.3GW、オーストラリアが0.8GWであった。

太陽光発電の年間市場規模は1000億ドルを超えたが、想定以上に進む普及拡大に伴い太陽光モジュール価格が急落している。2011年の1年間だけでモジュール価格は40%、パネル設置施工費は20%下がり、消費者にとっては歓迎すべき状況だったが、メーカーや施工業者にとっては激しい競争にさらされた年であった。ペースは落ちてきているものの、発電効率の向上や新たな設置工法の開発によりさらなるコスト低減も可能とさまざまな専門家が指摘している。

過去10年間に太陽光モジュール生産地の中心は、米国、日本、欧州、アジアの順にシフトしてきた。中国と台湾を合わせた世界シェアは2010年の50%から61%に拡大したのに対し、欧州は14%、日本は5%へとシェアを落としている。

こうした市場の拡大や価格の低下に加え、ドイツではFITなどの普及制度によりかつては高コストとされてきた太陽光発電がグリッドパリティに達しつつある。他にも米国のハワイ州で既に同様の状況になっており、カリフォルニア州がそれに続くと言われている専門家もいる。

5.3 水力

水力発電の技術は既に成熟していると言え、最も普及している再エネである。2011年の全世界の水力発電容量は970GWであり、前年から25GW（2.7%）増えた。

水力発電容量の上位五ヶ国は多いほうから順に、中国、ブラジル、米国、カナダ、ロシアであり、これらの国だけで全水力発電容量の51%を賄っている。先進各国においては水力開発の適地はほぼ開発されつくしており、今後の水力発電ダムのほとんどは開発途上国で建設されると想定されている。実際、2011年に新設された水力発電施設の発電容量を国別にみると多い順に、中国、ベトナム、ブラジル、インド、カナダ、マレーシア、となっている。

1MW以下の小水力発電はアジア、サハラ以南アフリカ、ラテンアメリカの国々において、

農村電化を目的に普及が進んでいる。

水力発電産業が既に成熟している欧州や北米は、既存施設の近代化や補修に加えて揚水発電に注力している。ダム貯水池は電気を水の位置エネルギーとして貯めている一種の蓄電池とも捉えられるため、揚水発電施設は風力や太陽光などの出力が不安定な再エネの調整弁としても利用される。

世界で稼働している揚水ダムの総発電容量は 130 ～ 140GW であり、うち 45GW が欧州で、25.8GW が日本で稼働している。世界の揚水発電施設はピーク時の電力需要を賄うために整備されてきたのとは対照に、日本では出力が一定ゆえ電力需要の変動に対応できない原発の余剰発電分²¹を貯めるために原発とセットで整備されてきた。日本では安全性確認やバックエンド処理の問題が障壁となって、大飯原発に続く再稼働は当分ないと思われるので、海外と比べても容量が大きい揚水発電施設を、電力需要のピークカットに積極的に活用すべきと考えられる。

5.4 バイオマス

バイオマス資源は動植物由来の資源であり、食糧や木材など様々な用途に利用されているが、エネルギー資源としては世界の全エネルギーの 10%以上を供給しており、石油、石炭、天然ガスに次ぐ第 4 位のエネルギー供給源となっている。他方、エネルギー資源としてのポテンシャルに注目が集まるあまり、本来食糧を生産すべき農地でもエネルギー作物等の栽培が優先される可能性を危惧する声もある。

バイオマス資源は様々な技術により熱、電力、輸送燃料へと加工できるが、熱利用の割合が 86%でありそのうちの 4 分の 3 は単純燃焼による熱利用である。残りの 14%のうちの 4 分の 3 が発電やコージェネレーションに利用されており、4 分の 1 が輸送燃料として生成されている。

開発途上国で一般的なバイオマスの単純燃焼による熱利用の割合は横ばいであり、近年は単純燃焼以外のバイオマスの近代的利用が拡大している。嫌気性発酵プロセスによるバイオガスの利用や、商業・公共施設並びに工業加工へのコージェネレーションシステムや地域冷暖房システムによる熱供給が近代的な利用方法の具体例である。

5.5 地熱

地熱発電の 2011 年における新規発電容量はわずか 136MW（アイスランド、ニカラグア、米国での新設分）で総発電容量は 11.2GW、総発電量は 69TWh であった。

地熱発電所は世界の 24 カ国で稼働しているが、発電容量の大部分は上位 8 カ国²²で占められている。その他、約 70 の国々が建設中あるいは計画中の地熱発電プロジェクトを

²¹ 一般に夜間には電力需要が低下するため、原発を電力需要のピークに合わせて運転する場合、夜間の余剰電力が発生する。電力会社が主導してきたオール電化住宅の推進もこの夜間余剰電力分の調整のためという意味合いがある。

有している。

世界で稼働している地熱発電タービンの8割以上（発電容量ベース）が三菱重工、東芝、富士電機、Ansaldo/Tosi（イタリア）、オーマット（イスラエル）の5社により製造されている。

5.6 地中熱

地中熱利用は、伸びが鈍化している地熱発電とは異なり2005年から2010年にかけての5年平均で年率20%の増加を続けた。また、地中熱からの冷温熱の取り出しにはヒートポンプが利用されるが、冷温熱はヒートポンプをコージェネレーションシステムに組み込むことによって取り出すことができる。

世界におけるヒートポンプ容量は2005年から2011年までにほぼ倍増し、導入している国は2005年では33カ国であったが2010年には43カ国に増えた。米国では政府による導入インセンティブ付与や普及啓発活動により導入が着実に進んでいる。中国でも年率約20%でヒートポンプ需要が増大している。欧州においてはドイツ、フランス、オーストリアでの主要市場は、経済危機や住宅需要の減速により縮小したが、北欧では伸び続け、まだ導入が進んでいない南欧において市場が拡大する兆しがみられる。

5.7 海洋エネルギー

海流、波力、潮汐等による商業ベースの発電容量は、2011年時点で527MWと小さく、現在のところ研究開発や商業化を目指す実証事業が中心である。海洋エネルギー分野ではイギリスが研究開発と実証事業の両面でリーダーシップをとり続けており、海洋エネルギーが豊富なスコットランドのオークニー諸島を拠点にして系統連系型の波力・潮力発電の実証実験を実施している欧州海洋エネルギーセンター（EMEC）が代表的である。日本の川崎重工を含むイギリス以外の様々な企業もその取り組みに参加している。2011年はアルストム、シーメンスといった大企業も海洋発電事業に出資している。

6. おわりに

再エネの導入促進が実社会にもたらすさまざまな効果（環境保全、地域活性化、雇用創出、エネルギー安全保障、輸入燃料への依存度低下、など）については、欧州の先進的な国・地域のみならず、新興国や途上国でも認識されている。

また、再エネの普及如何は各国・各地域に暮らす人々が持続可能な社会づくりに再エネを役立てることを選択するか否かにかかっており、技術や経済の進展が左右する問題ではなくってきている。つまり、多くの地域において再エネの関連技術やコストは普及の条件をすでに満たしており、さらなる技術革新や経済の成熟は望ましい要件ではあるものの

²² 米国（3.1GW）、フィリピン（1.9GW）、インドネシア（1.2GW）、メキシコ（1GW）、イタリア（0.8GW）、アイスランド（0.7GW）、ニュージーランド（0.6GW）、日本（0.5GW）

それらを待つ必要はない。政府が再エネ関連の政策制度を通じて市場に向けて発信する価格シグナルが適切であれば、既存技術のみでも大幅な普及を達成することは可能であり、技術革新は普及期間の短縮に貢献するものという位置付けであることが欧州のみならず世界の先進事例に見ることができる。

将来のエネルギーシナリオが語られる際、再エネ、省エネ（エネルギー効率利用）、化石燃料、原子力それぞれのコストがしばしば比較されるが、最もコストが低く即効性があるのは省エネで、省エネの促進が再エネの普及をさらに後押しするという認識がますます一般的になってきている。化石燃料は枯渇型で近未来の価格高騰が予想されているうちにCO₂問題を内包しており、原子力については化石燃料と同様に枯渇型であるだけでなく稼働前後のさまざまな費用も考慮するとコスト的メリットはないことが明らかになっており、何より社会的に受け容れがたいとの認識が特に3.11以降広がっている。

国として高い再エネ普及目標を掲げているデンマーク、ドイツ、スペインにおいては、再エネ普及にそれほど協力的ではなかった産業界や電力業界さえも、再エネ普及の是非について議論する段階はとうに過ぎ、再エネが基幹エネルギー源となる社会の到来は不可避と認識したうえで、各エネルギーシステムを互いにどのように組み合わせればより効率的になるか、それにはどのくらいの時間がかかるか、という点に論点を移している。

福島県においても、再エネを軸とする地域づくりは世界の趨勢と認識したうえで、福島県内の各地域の実情に即した再エネ事業を推進し、福島の復興と持続可能な発展に貢献する人材が数多く輩出することが期待される。

参考文献

1. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) (2012), “Renewable 2012 Global Status Report”
2. REN21 (2013), “Renewables Global Futures Report”
3. International Energy Agency (2011), “Renewables Information 2011”
4. 自然エネルギー政策プラットフォーム (JREPP), 『自然エネルギー白書 2011』
5. 飯田哲也 (2011), 『エネルギー進化論』
6. 大島堅一 (2011), 『原発のコスト』