

JSA *e* マガジン No.2

自然エネルギー元年

JSA *e* マガジン編集委員会編



JSA *e* マガジン編集委員会・発行

まえがき

JSA e マガジン編集委員会

日なたぼっこをしながら本を読む。至福の時である。私たちは太陽の恵みを技術で受けとめ、食料と燃料を得てきた。例えば、第二次大戦中に考案した稲作での保温折衷苗代技術は、播種後の苗床に油紙を被覆することで早期育苗を可能にして田植を早め、飛躍的な食糧増産に貢献した。ビニルフィルムでの土壌表面被覆栽培、トンネル栽培、ハウス栽培は太陽エネルギーの取り込み技術であり、種芋の地下貯蔵は低温障害を生じるサツマイモなどの越冬に役立つ、地中熱利用技術である。

2011年3月11日の東京電力福島第一原発事故以降、「太陽」「地球」「月」に由来するさまざまな自然エネルギー活用技術があらためて見直され、スマートグリッド、自然エネルギー、電力の自由化、エネルギーの地産地消などの言葉を日常的に耳にするようになってきた。このような自然エネルギーに注目して、『日本の科学者』2012年1月号は「自然エネルギー元年」を特集した。本書は、それをマガジン化したものである。

自然エネルギーの英語表記は、renewable energy である。renewable energy は、もともと「更新可能エネルギー」の意味であるが、日本では「再生可能エネルギー」と訳され、それが定着化してきた。再生可能エネルギー（renewable energy）は「自然が再生しているエネルギー」（第I章参照）の意味で受け取るべきであるが、資源のリサイクル（再生利用）と同じように、エネルギーも繰り返し再生利用できるイメージを与えてしまう。自然エネルギーも natural energy の英語表記にすると人工に対する天然のエネルギーの意味になり、化石燃料も含まれかねない。以上のことを勘案して、本書では「自然が日々再生している更新可能エネルギー」の意味で「自然エネルギー」の概念を用いることにした。

本書の構成は、以下のとおりである。

- I 自然エネルギー社会への転換の重要性と可能性
- II 原発縮小化の省エネ・自然エネルギー普及シナリオ
- III 自然エネルギーに関する先進自治体の取り組み
- IV 日本周辺海域における風力と潮流力エネルギーの利用の可能性
- V 地熱エネルギー開発利用の可能性と課題
- VI 「新段階」に入った世界の自然エネルギー開発

『自然エネルギー元年』目次

まえがき	1
目次	2
I 自然エネルギー社会への転換の重要性と可能性（和田 武）	3
はじめに	3
1 化石資源と原発に依存する社会は持続不可能	3
2 世界の自然エネルギー普及動向	5
3 自然エネルギーの資源量と特性	9
4 各国の市民・地域主導による自然エネルギー普及促進と その社会的影響	1 1
おわりに——自然エネルギー普及による持続可能な社会への発展	1 4
II 原発縮小化の省エネ・自然エネルギー普及シナリオ（歌川 学）	1 6
はじめに	1 6
1 エネルギーの消費実態	1 6
2 原発停止下の電力需給	1 8
3 中期の省エネ可能性	2 0
4 中期の自然エネルギー普及可能性	2 3
5 中期の省エネと自然エネルギー普及	2 4
6 自然エネルギー電力の安定性	2 6
おわりに	2 7
III 自然エネルギーに関する先進自治体の取り組み	
——地域資源を活かした温暖化対策と地域活性化——（豊田 陽介）	2 9
はじめに	2 9
1 自然エネルギー普及の主体としての地域、自治体	2 9
2 先進事例紹介	3 0
3 自治体による自然エネルギー普及の意義	3 5
おわりに	3 6

IV	日本周辺海域における風力と潮流エネルギーの利用の可能性	3 7
	(石田茂資・南桂成)	
	はじめに	3 7
1	洋上風力発電	3 7
2	潮流発電	4 0
	おわりに	4 4
V	地熱エネルギー開発利用の可能性と課題 (江原 幸雄)	4 6
	はじめに	4 6
1	地下における熱と水の流れ	4 6
2	地熱資源量評価と地熱エネルギーの利用	4 7
3	わが国における地熱発電開発の課題	5 1
4	わが国における自然エネルギーの将来	5 2
	おわりに	5 4
VI	「新段階」に入った世界の自然エネルギー開発	
	——進む国際社会の取り組み—— (阿部 博光)	5 5
	はじめに	5 5
1	成長に勢い衰えず	5 7
2	IRENA の「役割」に注目	5 9
	おわりに	6 3

I 自然エネルギー社会への転換の重要性と可能性

和田 武

はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の過酷事故を機に、日本でもエネルギーのあり方への関心が高まってきた。最近の多くの世論調査結果では、脱原発と自然エネルギー（再生可能エネルギー）への転換に賛同する意見が多数を占めるようになっている。しかし、自然エネルギーへの転換の重要性やそれを中心とする社会実現の可能性について、必ずしも十分な理解が広がっているとは言えない。

そこで本稿では、自然エネルギーの必要性、特性と普及方策、世界的普及動向、地域主導の自然エネルギー普及による持続可能な社会への発展の可能性について論じる。

1 化石資源と原発に依存する社会は持続不可能

いま、人類が健全に生存し続けるための基盤が脅かされている。その主因は、地球温暖化・気候変動と資源の枯渇である。現代社会は、それらを克服できる状況を生み出すことができず、持続不可能である。

産業革命以降、化石資源の利用を拡大してきた。その結果、以前は 260～280ppm 程度で安定していた大気中の CO₂ 度が、産業革命後、急速に上昇し、現在では 390ppm 以上に達している。メタンや一酸化二窒素などの大気中濃度も急増してきた。これらの温室効果ガスの濃度上昇の結果、いま地球温暖化が進行している。すでにそれによるさまざまな影響が起きているが、さらなる温室効果ガス濃度と気温の上昇によってこれらの影響が激化するだけでなく、大量の生物種の絶滅、水不足や食糧危機、海洋の酸性化など、不可逆的な現象が発生すると推定されている¹⁾。

このような危機的状況を回避するには、産業革命前からの気温上昇を 2℃以下に抑制する必要がある。世界の温室効果ガス排出量を早期にピークアウトさせ、2050 年までに半減する必要がある。これを実現するには、一人当たりの排出量が多い先進国はより厳しい削減が求められる。

したがって、CO₂ の大幅削減が不可欠であり、そのためには、化石資源消費

の削減が必要となる。とりわけ、CO₂排出量が多い石炭と石油は、今後、急速に削減していかなければならない。そのために、省エネやエネルギー効率改善による一次エネルギーの削減とともに CO₂ を排出しないエネルギー源への転換を実現しなければならない。

CO₂を排出しないエネルギーとして原子力と自然エネルギーがあるが、原子力の危険性はチェルノブイリ原発事故や福島第一原発の事故を通じて証明された。原発が生み出す大量の放射性物質は、人為的に消滅させることはできず、長期にわたって生命や生活を脅かし続ける。たとえ、重大事故に至らなくても、高レベル放射性物質の処理・処分には危険を伴い、強制冷却を必要とする一時貯蔵に数十年間、永久貯蔵では無害化されるまでに数万年以上もかかる。現世代の利便性のために未来世代に大きな負荷を残すことになり、倫理的にも許されるものではない。

しかも、化石資源も原子力用ウラン資源も有限であり、いずれ枯渇する。これらの資源が数十年から二百年程度の可採年数があるとしても、これらを利用できる期間は、人類史からみれば一瞬に過ぎないのである。

21 世紀には、地球温暖化危機を回避するとともに、枯渇性エネルギー依存から脱却し、持続可能な社会を構築しなければならない。そこで、エネルギーの主役を自然エネルギーへと転換する必要があるのである²⁾。

2 世界の自然エネルギー普及動向

(1) 太陽光発電、風力発電、バイオガス、液体バイオマスなどが急増

すでに最近の世界のエネルギー動向をみると、原子力より自然エネルギー普及重視の傾向が現れている。図 1 に、世界（1990～2008 年）と OECD 諸国（1990～2009 年）におけるエネルギーの種類毎の年平均伸び率を示した。自然エネルギーの伸び率が世界で 1.9%、OECD で 2.0%であるのに対し、原子力は世界で 1.7%と OECD でも 1.6%であった。原子力の場合、増加分の 80%以上は日本と韓国を中心にアジア諸国によるもので、他の先進国ではほとんど増えていない。化石資源のなかでは、最も CO₂ 排出量が低い天然ガスだけがやや伸びているが、石炭や石油の伸び率は低い。

これらに比して顕著な伸びを示しているのが、太陽光発電、風力発電、バイオガス、液体バイオマス、そして太陽熱で、いずれも世界で 10%以上の伸びを示している。太陽光発電は 2 年、風力発電は 3 年毎にほぼ倍増してきた。にもかかわらず、世界の全自然エネルギーが一次エネルギーとほぼ同程度の伸びにとどまっ

ているのは、途上国を中心に伝統的に使用されてきた薪炭、動物糞、農業廃棄物などの固体バイオマスの利用が減少傾向にあることが影響しているためで、途上国でも現代技術を活用する自然エネルギーの伸び率はきわめて高くなっている。

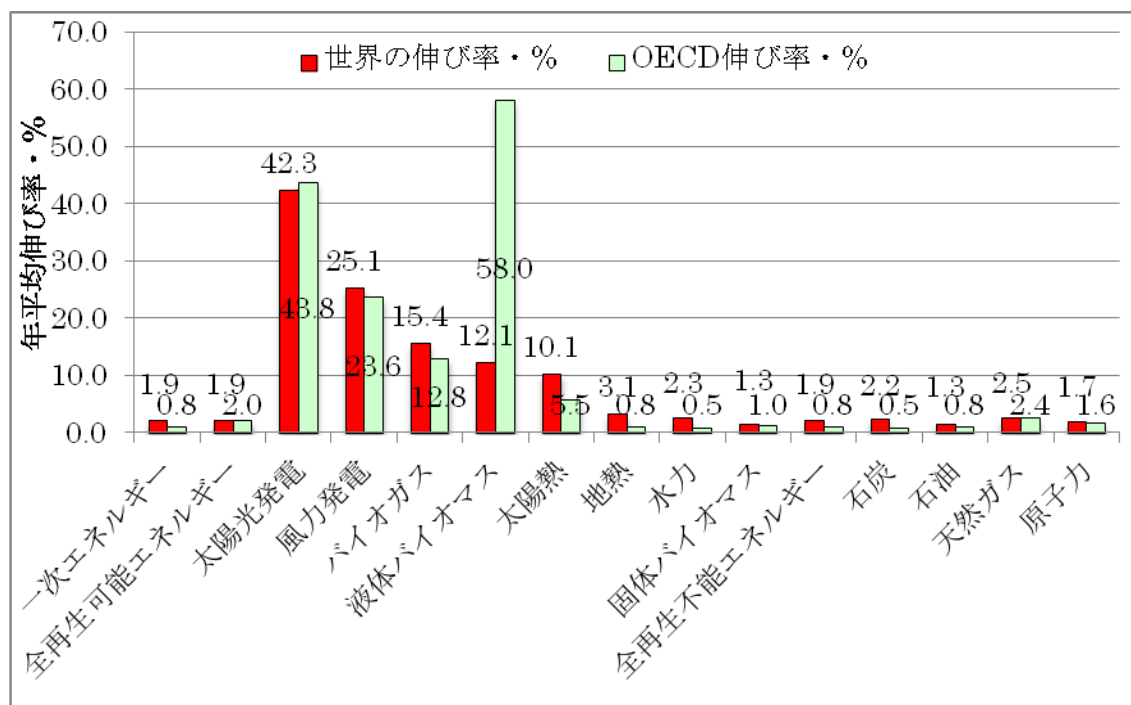


図1 世界および先進国（OECD）のエネルギーの種類別年平均伸び率（世界は1990～2008年，OECDは1990～2009年の平均）（IEA，2010³⁾のデータに基づき作図）

(2) 途上国で高く、先進国で低い自然エネルギー比率

図2には、世界、日本、各地域、各グループでの2008年の一次エネルギー中の自然エネルギー比率を示した。途上国が多いアフリカ、中南米、アジア地域では高く、先進国では低い。日本は世界平均の4分の1程度であり、先進諸国の平均の2分の1以下である。途上国の比率が高いのは、伝統的な固体バイオマス利用がいまでも続いているからである。

しかし、途上国の伝統的バイオマス利用は、化石燃料等に置き換わる傾向がある。今後、途上国では、従来の先進国が辿ってきた、このようなプロセスを経ず、新たな自然エネルギー利用へ転換していくことが重要である。自然エネルギー比率が低い先進国は自らの比率向上に取り組むとともに、途上国のエネルギー転換に協力していかなければならない。

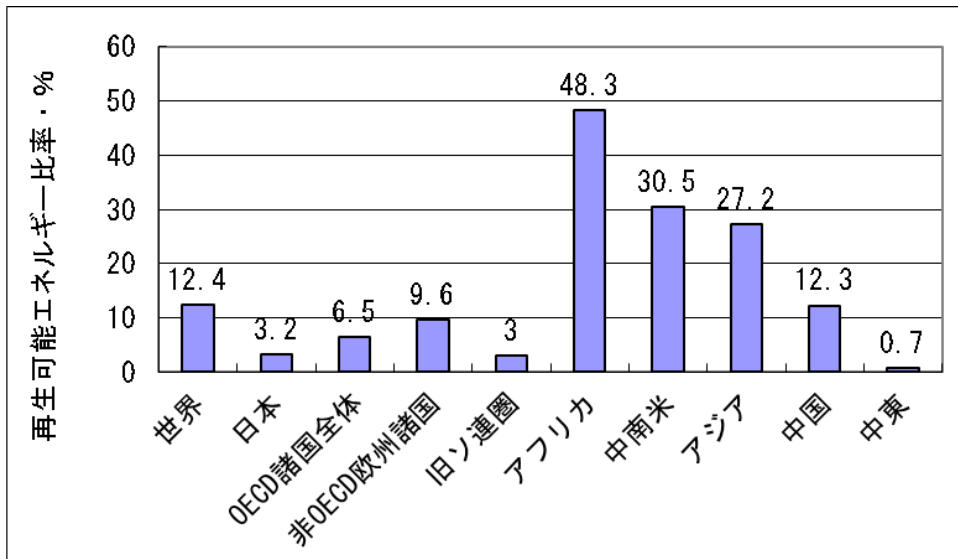


図2 世界、日本、各地域、各グループの2008年の一次エネルギー中の自然エネルギー比率

(IEA, 2010³⁾ のデータに基づき作図)

(3) 先進国の再生可能エネルギー比率は上昇，日本は低下して最低レベル

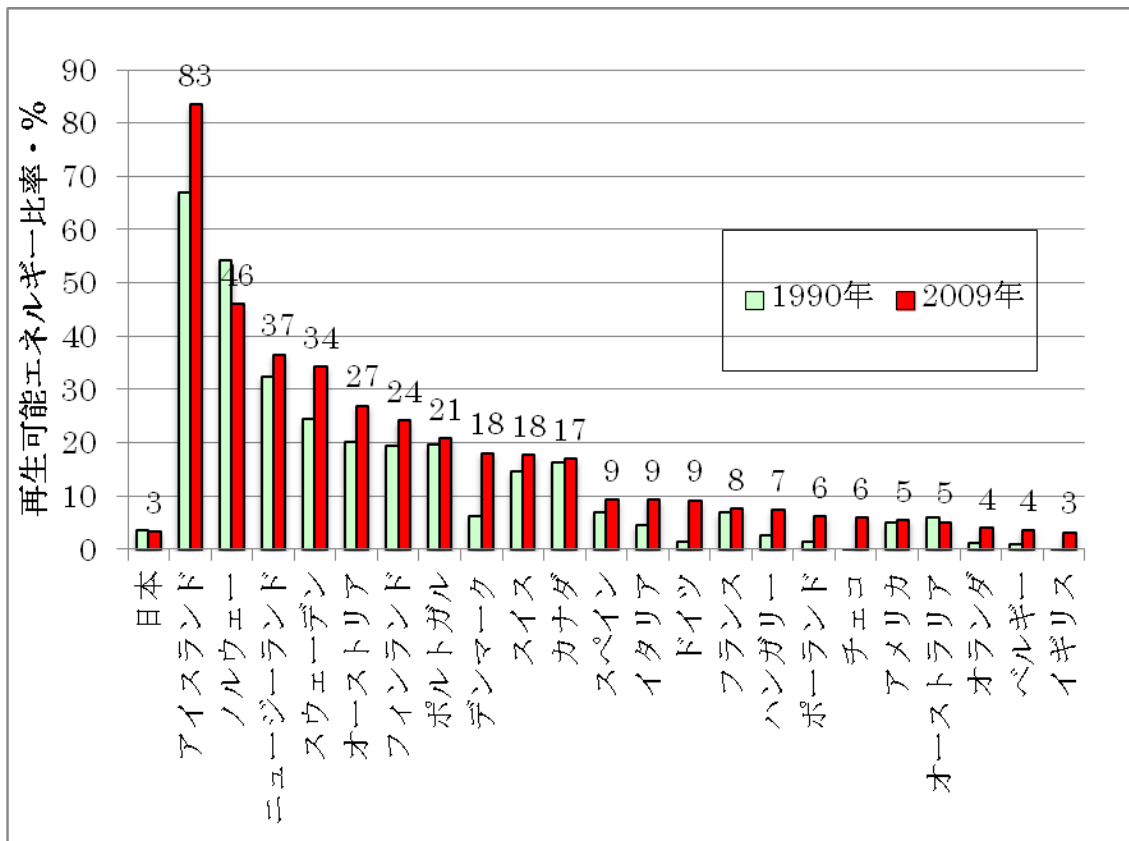


図3 1990年と2009年の先進各国の一次エネルギー中の自然エネルギー比率

(IEA, 2010³⁾ のデータに基づき作図)

1990 年と 2009 年の先進各国の一次エネルギー中の自然エネルギー比率を図 3 に示した。各国の自然エネルギーの普及状況と 19 年間の変化がわかる。電力の 100%を水力や地熱発電などで賄っているアイスランドなど、比率が高い諸国はすべて山岳と森林が多く、水力や森林バイオマスが豊富である。

日本も山岳・森林国であり、地熱や風力資源も豊富であるが、少資源国のイギリスと並んで最低である。ただし、この間の両国の増減傾向は全く異なり、日本は 2009 年の比率は 1990 年より低下しているのに対し、イギリスは 6 倍にも急増させている。大半の国で増加してきたが、とくにポーランド、ドイツ、チェコ、オランダ、デンマークなど EU 諸国での増加が目立つ。EU は 2020 年までに自然エネルギー比率を 20%にまで高める目標をもち、国毎の目標も定めて取り組んでいる。

(4) EU の発電では風力・天然ガス・太陽光が大幅増、原発と石炭火力は減少

EU のエネルギー対策の結果を象徴的に表すものとして、2009 年の発電手段ごとの新設と廃棄の設備容量、および 1 年間の増減量を図 4 に示す。設備容量が最も増加したのは風力発電の 1 千万 kW 強、次いで天然ガス火力発電の 623 万 kW、

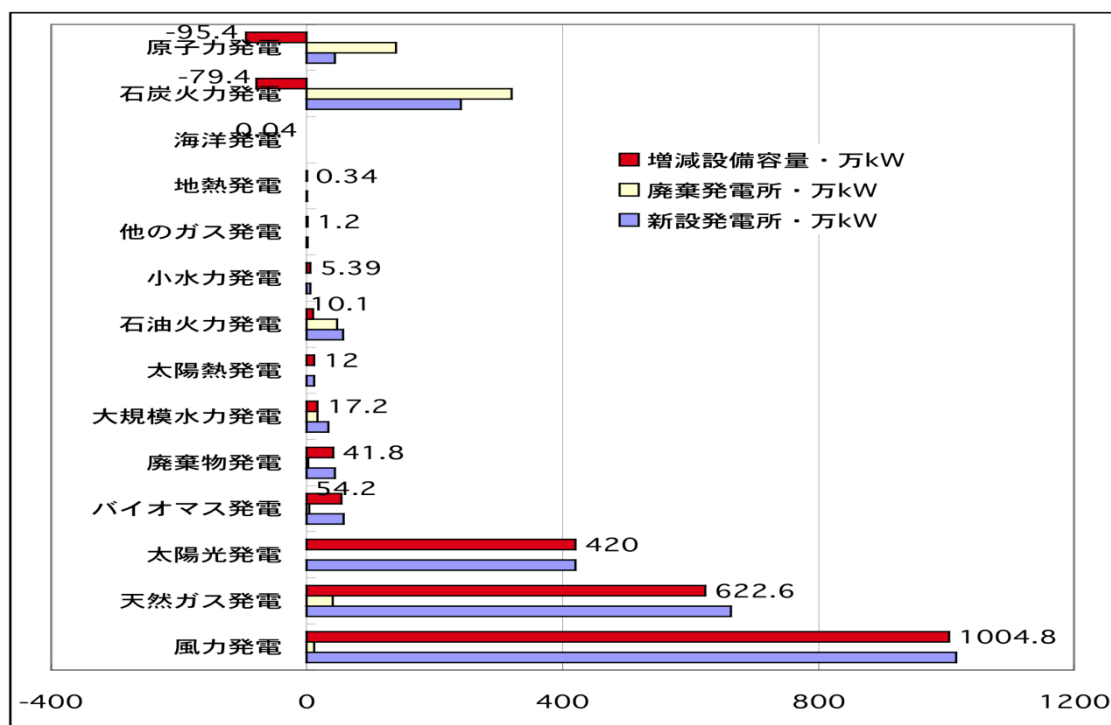


図 4 EU での 2009 年の発電手段別の新設と廃棄の設備容量と増減

(IEA, 2010⁴⁾ のデータに基づき作図)

009 年の発電手段別の新設と廃棄の設備容量と増減 (IEA, 2010⁴⁾ のデータに基づき作図)

太陽光発電の 420 万 kW で、この三つが飛び抜けて高い。以下、バイオマスと廃棄物、水力や太陽熱発電が続く。対照的に、原子力発電が 95 万 kW、石炭火力発電が 79 万 kW 減少している。このように、EU では CO₂削減と安全性向上に向けてエネルギー転換が進んでおり、最近までの日本とはまったく逆の傾向である。

(5) 21 世紀は自然エネルギーの時代、遅れた日本

上述したように、世界的に自然エネルギー普及に向けた大きな流れが生まれつつあるなかで、日本は大きく立ち遅れてしまった。

2009 年 1 月にはドイツ、デンマーク、スペインの呼びかけで「国際再生可能エネルギー機関 (IRENA)」が設立された。すでに 148 カ国と EU が加盟署名を行い、そのうち 85 カ国と EU が批准を済ませている⁵⁾。アフリカ諸国の大半が加盟するなど、多数の途上国の参加が特徴であり、今後、自然エネルギー普及の中核になると期待される。日本は、設立当初、加盟しない方針を表明するなど後ろ向きであったが、後に方針変更し、批准も行った。

3 自然エネルギーの資源量と特性

世界的な自然エネルギー普及の流れは加速しつつあるが、日本では、いまなお、自然エネルギーの可能性について疑問をもつ意見が聞かれる。ここでは、自然エネルギーの資源量と特性について説明し、今後の普及の進め方について考察する。

自然エネルギーは、主として太陽と地球由来の、常に自然が再生しているエネルギーであり、化石資源やウランなどの枯渇性エネルギーとは特性が異なる⁶⁻⁷⁾。

表 1 自然エネルギー（再生可能エネルギー）と再生不能エネルギーの特性

	再生可能エネルギー	再生不能エネルギー
資源賦存量	非枯渇性でほぼ無限	枯渇性で有限
資源存在形態	少量ずつ分散的にどこにでも存在。国産で農山村地域に多い。	特定地域に集中的に存在、日本では輸入依存
資源コスト	無料もしくは安価	高価
事故リスク・汚染	ほとんどないか、小さい	重大・原発は破滅的影響
生産手段の形態	小規模分散型	大規模集中型
生産手段の普及主体	市民を含む広範な主体	大企業・電力会社

自然エネルギーの普及を推進する際には、この特性を把握して、それに合った普及方策をとることが重要である。表 1 に、両者の特性をまとめておく。

自然エネルギーは、資源面で枯渇性エネルギーとはまったく異なる特性をもつ。まず、資源量はきわめて豊富で枯渇せず、将来にわたって人類が必要とするエネルギーを十分に賄うことができる。表 2 に示すように⁸⁾、世界の年間一次エネルギー消費（2007 年；473EJ）と比較して、現在の技術的利用可能量は、地熱が 10 倍以上、太陽エネルギーが 3 倍以上、風力だけでも 1.3 倍など、合計では約 16 倍にもなる。日本にも、あらゆる自然エネルギー資源が豊富に存在しており、将来的にも必要なエネルギーを十分に賄える²⁾。

表 2 世界の自然エネルギー資源（EJ/年）⁸⁾

資源	現在の利用量	技術的利用可能量	理論的賦存量
水力	10.0	50	150
バイオマス	50.0	>250	2900
太陽エネルギー	0.2	>1600	3900000
風力	0.2	600	6000
地熱	2.0	5000	140000000
海洋エネルギー	—	—	7400
合計	62.4	>7500	>143000000

さらに、自然エネルギー資源は、その存在形態が枯渇性エネルギー資源と異なり、少量ずつ分散的にどこにでも存在する。この特性ゆえに、その生産手段は小規模分散型となり、多くの地域に多数、設置する必要があるが、このような生産手段の所有者には、市民や自治体などの地域主体になるのが自然であり、適している。また、太陽熱・光、風や水の流れ、地熱などに代表されるように、誰にも所有されていない資源が多く、誰もが無料あるいは安価に使用できる。また、事故のリスクも小さい。これらのことも、広範な地域主体が所有者になりやすい条件である。

生産手段の所有者が地域主体の場合、地域資源を活かした生産を通じて得られる利益が地域に還元され、産業や雇用を創出するなど、地域を豊かにし、自立的発展を促す。その結果、地域から積極的に受け入れられ、自然エネルギーの導入も進みやすくなる。一方、地域に無関係な企業等が、利益獲得を目的に自然エネルギー生産手段を導入する場合、しばしば反対運動やトラブルが起きる。

例えば、日本の風力発電では、騒音や景観などを理由にしばしばそういうケースが見られるが、日本よりも国土面積当たりの風力発電密度が高いデンマークやドイツでは少なく、あっても解決され易い。これらの国では、風車の所有者の大部分が住民を中心とする地域主体であり、計画段階から住民参加で民主的に取り組み、なおかつ売電収入が地域に還元される仕組みがあるからである。

風力発電に限らず、太陽光、バイオマス、中小水力、地熱などの発電も、バイオマスや太陽熱、地中熱などの熱利用も地域資源を活用する分散型エネルギー生産である。自動車など輸送用バイオ燃料も、農林業などを通じて地域で分散的に生産される。これらはすべて地域主体が関わって普及することで、地域産業や雇用が生み出され、収益が地域に還元される結果、地域の自立的発展をもたらす。

4. 各国の市民・地域主導による自然エネルギー普及促進とその社会的影響

デンマークやドイツでは、市民・地域主導によって急速に自然エネルギー普及が進んできた。筆者が調査してきた両国の具体的事例を紹介しつつ、普及による社会的影響について見ていくことにする。

(1) デンマークでの地域住民による自然エネルギー普及

デンマークの自然エネルギー普及は、市民参加によって推進されてきた⁹⁾。1970年代の石油危機後、世界で最初に風力発電を利用し始めたが、当初から取り組みの中心は地域住民であった。現在、電力の約20%を供給する風力発電の設備容量の約8割が個人または共同の住民所有で、所有者数は15万人以上、家族を含めると、人口約550万人の1割近くが風力発電所有者である。

このような市民中心の風力発電普及が進んだ背景には、国民の高い協同意識と適切な普及制度の採用がある。1970年代の石油危機後、風力発電機を設置した人々が「風力発電機所有者協会」を立ち上げ、所有者が経済的負担を被らないように、風力発電電力の電力会社による買取制度と設置費補助制度を要求し、1970年代末に実現した。その後、風力発電機の製造価格の低下とともに設置時の補助金は下げていき、89年に廃止されたが、買取制度によって誰もが「損をせずに」風力発電所を建設できる条件が維持されたのである。

その結果、デンマークの風力発電は急速に普及が進み、世界の普及をリードするとともに、将来性ある産業発展と雇用の創出をもたらした。現在（2010年）でも、デンマークのヴェスタス社は世界の風力発電機生産シェアの15%を占める1位であり、2万人以上を雇用している。最近、原発プラント生産からの撤退を表

明したドイツのジーメンス社の子会社であるジーメンス風力発電社もデンマークにあるなど、現在、国別でもデンマークは中国に次ぐ世界の 20%以上のシェアを占める。

2001 年に誕生した保守政権下で風力発電電力買取価格が下げられるなどの影響で、最近まで普及が停滞したが、普及推進を求める声が強まり、2009 年に、2012 年までに風力発電設備容量を 33%増加させる目標を掲げ、買取価格も上げた。また、2009 年施行の「再生可能エネルギー法」では、風力発電所を建設する場合、その主体が企業等でも、発電所の 20%以上を地域住民の所有にしなければならないことを定めた。スムーズな普及にとって、地域住民の参加が欠かせないからである。

さらに、コジェネレーション発電所などの熱供給センターから断熱管を通じて熱水を家庭やオフィスに供給する地域暖房を普及させ、自然エネルギー導入を進めているが、やはり地域住民や自治体が全国に 400 以上もある地域暖房企業の経営を担っている。人口の 6 割が地域暖房に加入し、エネルギー効率の改善や自然エネルギー活用により、CO₂ の削減に貢献している。麦藁、木、バイオガスなどに加えて、最近では、太陽熱、地中熱も活用し始め、地域の自立的発展に寄与している。

(2) ドイツにおける地域主導による自然エネルギー普及

ドイツでも、地域住民所有による風力発電等の自然エネルギー普及が進んでいる。筆者が 20 年ほど前から継続調査をしているドイツ北端のシュレスヴィッヒ・ホルシュタイン州（SH 州）では、電力の約 45%を風力発電で供給しているが、風車の大部分(90%以上)が地域住民所有である。このような地域の取り組みを通じて風力発電が普及し、45%前後の電力を賄っている州がほかに 4 州もある。SH 州は、ドイツの風力発電機産業の集積地にもなり、多くの雇用が創出されている。

ドイツの具体的事例について、簡潔にまとめる。詳細は文献⁹⁻¹²⁾を参照いただきたい。

SH 州のロイセン・ケーゲ村には、農民たちが中心になって出資した市民風力発電会社が 4 つもあり、個人農家が所有する風力発電機も数多く、村全体で 16 万 kW もの設備容量に達している。村の消費電力の約 500 倍の電力を生み出し、大量の電力を外部に供給している。風力発電に参加している家庭は、60%以上の 70 戸、市民会社が変電所まで所有する。

SH 州の北海干拓地のフリードリッヒ・ヴィルヘルム・リュプケ・コーク村で

も、村民が出資する二つの市民会社が 32 基、4 万 kW 余りの風力発電所を所有している。厳しい自然条件のなかで、過疎化が進んでいたが、風力発電で豊かになり、若い農業後継者も現れ、人口減も止まりつつある。太陽光発電の導入も進む。自然エネルギーで村の消費電力の数百倍を発電し、電力の供給地となっている。

地域住民によるバイオガス発電所の建設も各地で進んでいる。畜産農家が多いランゲンホルン村とボルデルム村では、約 200 戸の畜産農家を中心になって設立した市民会社が、一つずつのバイオガス・コジェネレーション発電所を運営している。売電と熱販売の利益を得られるだけでなく、農家の屎尿処理が不要となり、メタンガス発生後の液肥を無料でもらえるので地域の有機農業が発達している。

大規模草原太陽光発電所の建設も市民主導で進められている。ドイツ北端のローデネ村には、2600kW の草原太陽光発電所が村民出資の市民会社によって建設された。村民が開発した太陽光追尾式架台に搭載した太陽電池は、固定式太陽電池の 3～4 割増しを発電し、村内消費電力の 3 倍以上を生み出す。出資者は初期投資分を約 7 年で回収でき、20 年間の買取期間の残りの期間は売電収入が入る。市民会社は、近隣の 2 村に大規模な太陽光発電所を建設し、太陽光発電普及にも貢献するとともに、70 人の雇用を生み、村は過疎化を脱して新たな発展の道を進みつつある。

農村地域の住民たちだけでなく、都会の市民グループ、女性だけの団体などが各地に自然エネルギー発電所を建設している。さらに、自治体を含む多様な地域主体が協力しながら、地域全体の自然エネルギー普及を推進する取り組みが全国的に展開されている。「100%自然エネルギー地域・自治体」や「バイオエネルギー地域」およびそれらの候補地域を合わせると国土の約半分を占めるまでになっている。

(3) 各国に広がる地域主導の自然エネルギー普及

アメリカにおける自然エネルギー普及は、主として電力会社や企業によって行われてきたが、最近では、地域所有風力発電所を建設・所有する事例が増加している。地域所有とは、住民だけでなく自治体や地域企業、団体などが参加する所有形態である。2010 年 1 月時点で、アメリカ全体の風力発電容量 3517 万 kW のうち、地域所有風力発電の設備容量は 152.1 万 kW で 4%以上を占めている¹³⁾。

イギリスでも自然エネルギー発電の地域所有が増加し始めている。「ウェストミル風力発電所協同組合」では、2500 家庭が参加する地域所有風力発電所（5 基、5000kW）を建設している¹⁴⁾。地域所有の最初の太陽光発電所も、2009 年にルイ

ス市で 250 人の地域団体・企業・市民の出資により 98kW のシャープ製太陽電池が、地元のビール醸造会社の工場屋根に設置されている。2011 年 9 月に現地を訪問調査したが、今後、波力発電、風力発電、小水力発電も計画していた。

インドでは、農村を中心に地域発展と密接に関わった自然エネルギー普及が、住民参加を重視した方式で展開されている^{15・16)}。他国にはない「新・再生可能エネルギー省」があり、5 カ年計画のなかで自然エネルギー普及が重視され、生活に密着したバイオガスパラントを 4 百万基以上、ソーラークッカーを 60 万基以上も設置することにより、伝統的なバイオマス利用から新しい自然エネルギー利用への転換が図られている。住民教育とともに推進される厨房の新エネルギー導入は、女性を過重労働や室内大気汚染による健康被害から解放し、衛生状態を改善するなどの波及効果ももたらしている。自然エネルギー発電で未電化村をなくす取り組みも進んでいる。電力買取制度も導入され、風力発電所普及も進んでいる。自然エネルギーの伝統的利用から新たな利用への転換においても地域主体の参加は重要である。

貧困な自然エネルギー普及政策の下にある日本でも、市民主導の自然エネルギー普及が進められてきた。日本の太陽光発電や太陽熱温水器の導入も大半がそうである。また、市民共同自然エネルギー発電所づくりが各地で取り組まれ、2007 年の「第 5 回市民共同発電所全国フォーラム」の際のアンケート調査では、計 3 万人から約 20 億円もの出資で 185 の市民共同発電所がつくられていた¹⁷⁾。

風力発電以外は、参加者には経済的利益がない取り組みであり、設置の主な理由は「地球温暖化防止」「エネルギー自給率向上」「原発の代替」「地域の連携づくり」「エネルギー政策転換」「地域活性化」であった。市民が廃食油を回収してバイオディーゼル燃料を製造する「菜の花プロジェクト」も、全国 100 数十カ所で展開されている。したがって、適切な普及制度があれば、日本でも、市民による自然エネルギー普及が飛躍的に進むであろう¹⁸⁾。

おわりに——自然エネルギー普及による持続可能な社会への発展^{2・19)}

自然エネルギーへの転換を推進する場合、電力会社や大企業まかせでなく、市民や地域主体が積極的に関与することはきわめて重要である。電力会社や大企業まかせでは、従来の原子力や化石燃料から自然エネルギーへと企業の利潤獲得の対象が変わるだけになる。さまざまな事例のなかから読み取っていただけたかと思うが、住民等の地域主体が、自然エネルギー普及の担い手になることで、普及がスムーズに進み、そのことによって以下のような社会的な好影響がもたらされるのである。

1. 地球環境保全, 2. 地域環境保全, 3. エネルギー自給率の向上, 4. 地域の自立的発展, 5. 健全な産業の発達と雇用の創出, 6. 市民の社会参加と環境保全意識の向上, 7. 社会における協力, 協同, 民主主義の発展, 8. エネルギー生産手段の民主的所有による生産関係の変化, などである.

これらの影響を通じて, 持続可能な社会の実現に向けた条件が整えられていくものと考えられる. 日本でも, 自然エネルギー普及への取り組みを市民・地域主導で積極的に進めていきたいものである.

引用文献

- 1) IPCC, "The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2007" (Cambridge University Press, 2007).
- 2) 和田 武『脱原発, 再生可能エネルギー中心の社会へ』(あけび書房, 2011).
- 3) International Energy Agency(IEA), "Renewables Information 2010"(2010).
- 4) The European Wind Energy Association(EWEA), "Wind in Power; 2009 European Statistics"(2010).
- 5) International Renewable Energy Agency(IREA) (最終閲覧日: 2011 年 10 月 5 日).
- 6) 和田 武「温暖化防止のための日本のエネルギーシナリオ」. 『環境展望 1999-2000』(実教出版, 1999 年)
- 7) 和田 武「地球温暖化防止と再生可能エネルギー」『経済』(2007 年 10 月号).
- 8) The UN Development Programme (UNDP), the UN Department of Economic and Social Affairs (UNDESA), and the World Energy Council (WEC), "World Energy Assessment (WEA)"(2000).
- 9) 和田 武「自然エネルギー生産手段の住民所有～デンマークとドイツの風力発電を中心に」, 『唯物論研究年誌』(第 7 号, 2002 年), 所収
- 10) 和田 武『飛躍するドイツの再生可能エネルギー』(世界思想社, 2008).
- 11) 和田武, 新川達郎, 田浦健朗, 平岡俊一, 豊田陽介, 伊与田昌慶『地域資源を活かす温暖化対策』(学芸出版, 2011).
- 12) 和田 武「ドイツの再生可能エネルギー普及」『経済』No.190 (2011 年 7 月号).
- 13) Windustry; <http://www.windustry.org/community-wind-map> (最終閲覧日: 2011 年 10 月 5 日).
- 14) Westmill Windfarm Co.op.; http://www.westmill.coop/westmill_home.asp (最終閲覧日: 2011 年 10 月 5 日).
- 15) 和田幸子『再生可能エネルギー先進国インド』(日報出版, 2010)
- 16) 和田 武『拡大する世界の再生可能エネルギー』(世界思想社, 2011).
- 17) 和田 武「市民による太陽光発電所—市民共同太陽光発電所を中心に—」『光発電』No.31(2008). -
- 18) 和田 武「再生可能エネルギー中心の社会は可能だ」『世界』(2011 年 11 月号).
- 19) 和田 武「持続可能な社会に向かって—移行の道筋を描く」, 『環境展望』

Ⅱ 原発縮小下の省エネ・自然エネルギー普及シナリオ

歌 川 学

はじめに

福島第一原発事故を契機に、従来のエネルギー対応の全面見直しが行われつつある。政府は「エネルギー政策の選択肢」¹⁾として、原子力発電所を 2030 年にゼロにする場合を含む選択肢を示した。また経済産業省と環境省の審議会で試算が行われた²⁾³⁾。

原発の発電量が大きく減る新たな段階で、危険な気候変動の抑制のための温室効果ガス排出削減、化石燃料消費削減等の課題を満たすため、省エネ対策を徹底し自然エネルギー(再生可能エネルギー)を増やしていく必要がある。

従来の政府の議論では、原発の増加を前提にエネルギー需給が検討された^{4,5)}。一方、研究者や NGO には原発が 2012 年あるいは 2020 年に全停止した場合^{6,7,8,9)}の温室効果ガス削減シナリオ検討がある。省エネの可能性を検討したシナリオもある^{10,11)}。また自然エネルギーの導入可能性の検討^{5,12,13,14,15)}もある。温室効果ガス排出削減では燃料転換も課題だが^{6,7,8,9)}、ここでは省エネと自然エネルギーをボトムアップ型モデルで検討する。

省エネについては文献 2,3,4,10 などとも参考にして、技術または施設単位で評価し、自然エネルギーについては、先行研究を参考に普及可能性を検討する。

1 エネルギー消費実態

日本の一次エネルギー供給は 2010 年度に約 2 万 2000 PJ (ペタジュール)、原油換算約 5.8 億 KL (キロリットル) と巨大なものである。この効率と構成について以下に述べる。

(1) エネルギー効率

巨大なエネルギーロス：一次エネルギー供給のうち、34%がエネルギー転換部門(発電所など)で失われ、最終エネルギー消費(産業・運輸・業務・家庭での消費)にも約 50%のエネルギーロスがあり、有効利用されるのは全体の 3 分の 1 に過ぎない¹⁶⁾。

なお、一次エネルギー供給とは、日本に輸入または生産されて使われるエネル

ギーの総和を指し、最終エネルギー消費は、そこからエネルギー転換部門（発電所など）でのロスを除いて実際に産業・運輸・業務・家庭などで消費される分を指す。

エネルギー原単位の変化：1990～2008 年の産業(主に製造業)、運輸旅客、運輸貨物、業務、家庭のエネルギー原単位の変化を図 1 に示す。産業(図の製造業)、業務、家庭は、1990 年代に原単位が悪化、最近改善に転じ、1990 年水準に

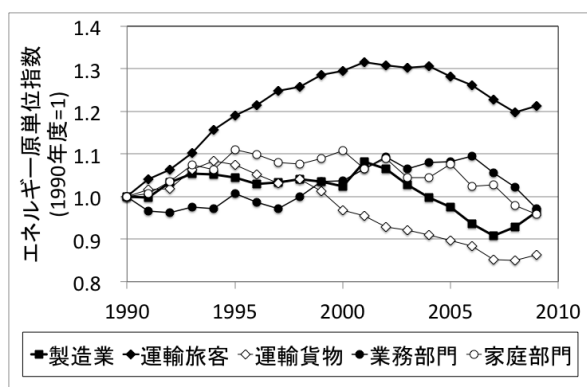


図 1 部門別のエネルギー原単位の推移

戻った。運輸旅客は乗用車の大型化などにより 1990 年水準より原単位が大きく悪化した。改善は運輸貨物のみで、日本が省エネの成果を出してきたとは言い難い。

なお、各部門のエネルギー原単位とは、エネルギー消費量を各部門の活動量（生産指数、輸送量、床面積、世帯数）で割ったもので、部門全体のエネルギーの「効率」の善し悪しを表し、値が小さいほど「効率」がよい。

設備・機器更新の省エネ例：既存設備を最良の省エネ設備に更新する際の削減例を示す。旧型 LNG 火力発電所（発電効率 40%）を最新型（同 53%）にするとエネルギー消費量を 25%削減できる。ビルの旧式冷暖房設備（吸収式）を最新型にするとエネルギー消費を約 30～40%、ヒートポンプ導入で（発電ロスを考慮しても）約 60～70%削減できる。省エネ余地は大きく、優良省エネ技術が普及しないことが問題である。

(2) エネルギーの種類と部門構成

エネルギー種別構成：一次エネルギー供給のエネルギー種別構成は、化石燃料が 84%、原子力が 10%を占め、大規模水力発電を含む自然エネルギー等は 6%である（2008 年度。以下同じ）。発電用エネルギーは、一次エネルギーの 43%を占

め、その構成は化石燃料 65%、原子力 27%、水力を含む自然エネルギー等は 8% である。最終エネルギー消費の構成は、化石燃料 72%、電力 24%、熱供給 4% で、自然エネルギー（熱）は 1% に満たない。現在のエネルギー需給は、環境負荷やリスクの大きなエネルギー源に大半を依存している。

最終エネルギー消費の部門別構成：産業部門（工場など）43%（非エネルギー利用約 11% を含む）、運輸部門（自動車輸送など）24%、業務部門 20%、家庭部門 14% である。産業部門のエネルギー消費の約 70% は、素材製造業つまり鉄鋼、化学、窯業土石（セメント等）、紙パルプの 4 業種が占める。

2 原発停止下の電力需給

(1) 電力の消費

電力消費主体別に、年間電力消費量と、ピーク電力時間帯のピーク寄与率を検討する。

ピーク電力：東京電力のピーク需要について資源エネルギー庁が部門内訳を推定し¹⁷⁾、業務が約 40%、産業（工場など）約 30%、家庭約 30% となっている。この推計における家庭の消費量は実測値より約 20% 多いと指摘され、実際には全消費量の約 4 分の 3 を占める業務と産業がピーク対応の鍵を握る。

年間電力消費量：全国の電力量は、年間約 1 兆 kWh である。電事連によると、全国約 9000 の大規模工場と業務部門施設で電力量の約 4 分の 1 を、これらを含む全国約 75 万の工場と業務部門施設で約 3 分の 2 を消費している¹⁸⁾。節電・省エネの重点は電力消費の約 3 分の 2 を占める大口消費者の業務・産業部門であるといえる。

(2) 原発停止下の電力需給

2011 年夏の電力：2011 年夏には、原発約 4900 万 kW（廃止の福島第一原発を含む）の約 80% が停止した。政府のエネルギー・環境会議は、節電をしないと夏の最大電力が逼迫すると予想した¹⁹⁾。

実際には節電で、沖縄電力を除く 9 電力の 2011 年夏の最大電力の和は約 1 億 5650 万 kW で、2010 年比で約 2300 万 kW 減少した²⁰⁾。

供給力は、9 電力の自社発電所および受電する他社の発電所設備約 1 億 9600 万 kW（停止原発、停止火力、太陽光と風力は稼働分も除く）から、火力発電と一般水力発電の出力低下（政府想定どおり）を考慮し、かつ揚水発電を設備容量の約 8 割しか使わなくても、全体で約 1 億 7100 万 kW が確保された²⁰⁾。

省エネにより供給力が最大需要を 9% 上回り、余裕があった。

2012 年夏の電力：2012 年夏の稼働原発は関西電力の 2 基のみとなる。原発が全て止まった場合の 2012 年夏の電力需給について、エネルギー・環境会議は昨年 11 月、2011 年夏なみの節電で電気がまかなえると予測した²¹⁾。環境エネルギー政策研究所も、2011 年夏並みの節電で、9 電力で 2012 年夏の稼働可能設備 1 億 9325 万 kW から供給力 1 億 8655 万 kW が予測でき、十分余裕（供給余力約 3000 万 kW）があると報告した²²⁾。

一方、政府の需給検証委員会は原発が全て停止した場合の 2012 年夏の電力需給予測について、2011 年夏の節電実績のうち、政策をとくに導入せずに「定着」とみられる節電のみを実施した場合、東日本 3 社では余裕があるものの、西日本 6 社で約 3%、関西電力単独で約 15%、需要が供給力を上回る可能性があるとして発表した²⁰⁾。

この結果の差は、主に政策導入も視野に入れた「2011 年夏なみ節電」想定と、「(政策なしに) 定着した節電」想定²³⁾の違いによる。関西電力で見れば、前者は 2010 年夏比 311 万 kW 削減、後者は 108 万 kW 削減（関西電力が大口需要家と結んだ随時調整契約 28 万 kW を含む）にあたる。需給検証委員会は「定着」節電分だけでは「不足」することを示した上で、デマンドレスポンス（高電力需要時に需要家が積極的に節電に取り組むようなメカニズムを導入することで、電力需給をバランスさせる考え方）やピーク電力料金などで追加対策を促すことも紹介している²⁰⁾。

以下に電力会社などの 2012 年夏の追加対策提案を示す。関西電力は大阪府市のエネルギー戦略会議で需給検証委員会想定に対し、需要削減と供給力増加あわせて最大 10%（2010 年夏比）の追加対策を提案した²⁴⁾。環境エネルギー政策研究所は関西電力の 2012 年夏の需給について、原発全停止でも、2011 年夏比 150 万 kW の追加対策で可能だと報告した²⁵⁾。追加対策は、需要削減、自家発からの調達追加、余裕のある中部・中国電力などからの融通追加、などから選択可能で、いずれも 150 万 kW を超えるポテンシャルがあるとしている。その例として、需要削減による 150 万 kW カットは年間 30 時間のピーク電力カットですむとしている。さらに、エネルギー環境会議や需給検証委員会などの最大需要想定は各社の最大電力の単純合計であるが、各社の最大電力が異なる日・時刻に発生しており、実際の 2010 年夏の最大需要は西日本で 114 万 kW 減、東日本を含めると 446 万 kW 減になる²⁶⁾。高橋はこれに注目し、送電網広域運用を前提にすれば少なくとも西日本分の需要想定を下げる事が出来ると指摘している²⁶⁾。

需給検証委員会報告の「不足」を追加対策不可能、あるいは電力制限など厳しい措置がなければ対応不可能だと解釈するのは無理がある。

(3) 2011 年と当面の節電・省エネ対策

2011 年夏には、東京電力で最大電力を 2010 年比 18%、9 電力で 13%削減の成果を得た。ただし、その手段については反省を残した。

2011 年は、震災から夏のピーク需要期まで数ヵ月しかなく、大きな節電につながる省エネの設備投資をせずに、夏の節電にのぞんだところも多い。消防庁のまとめでは、冷房を切ることとの因果関係は不明なものの、6～9 月の 4 ヶ月だけで熱中症で 4 万 6500 人が救急搬送された^{27,28)}。7～9 月では「猛暑」とされた 2010 年より約 2 割少ない人数である。

対策は、(1) 活動やサービス水準を低下させるもの（エアコン停止、平日休業土日シフトなど）、(2) 無駄あるいは不要不急の電力を停止・緩和（自販機・電光掲示板・エアタオルの停止、空き部屋の冷房停止など）、(3) 機器の使い方でサービス水準を大きく低下させずに電力消費削減になる手段を選択（冷房機器の分散制御、クリーンルームやデータセンターでの温度湿度設定変更など）、(4) 機器の改良や省エネ型への更新、必要以上の設備の停止など（機器更新、照明部分消灯用スイッチ設置、照明の LED 化など）、(5) エネルギー消費を考慮した活動見直し、の五つに分けられる。

サービス水準低下をとまなう対策、特に真夏の冷房停止のような苛酷な対応は、維持・継続すらできなくなるおそれもある。一方、省エネ設備投資や、職場環境を損なわずに監視盤室でできる運用改善は、来年以降もそのまま定着させ、来年以降、対策を上乗せすることも可能である。今後は、前者を減らして後者を増やし、省エネ量を増やしていくことが必要である。

3 中期の省エネ可能性

中期の対策期間として 2020 年までを考えると、この期間に、現在使用されている建物の 3 分の 1、民生用機器や自家用乗用車の大半が更新される。工場も、業種によっては設備の多くが更新される。発電所や素材工場でも設備改修がある。

更新時は、設備を省エネ型に全面転換する絶好の機会である。エネルギー多消費機器は最良の省エネ性能に更新し、システムも省エネ性能を発揮できるよう、無理なく安価に組み替えていくことができる。

以下に、省エネと自然エネルギーの導入可能性について述べる。

（１）省エネの部門別の可能性

全体想定：技術開発は想定せず，更新時に建物と機器を省エネ型に転換することを想定する．工場については，省エネ型への改修などを見込む．まだ研究段階にあるような新技術は見込まない．これを部門別に紹介する．

産業部門：製造業は，生産設備と，ユーティリティ（冷暖房，照明）の対策を考える．

生産設備は，素材系製造業については大規模な改修の際に「省エネトップランナー工場」に転換すると想定した．

非素材系製造業は，生産設備更新の際に最良の省エネ型に転換する他，省エネ改修を大規模に実施すると想定した．これにより生産設備は素材系で 2020 年に 5%，2030 年に 10%，非素材系では 2020 年に 15%，2030 年に 20%の省エネ（生産量当たりのエネルギー消費削減）となる．

ユーティリティでも，設備を更新する際に最良省エネ型に転換する他，省エネ改修を大規模に実施すると想定した．削減率は次に紹介する業務部門の省エネと同じと想定する．素材系工場は，生産設備のエネルギー消費割合が大きいので，この分は見込まない．

業務部門：業務部門とは，オフィスと各種サービス業の施設である．この対策は，電気と熱利用（各種燃料消費と熱供給）に分け，冷房，暖房，給湯，厨房，照明，動力の 6 用途に分けて考える．

冷房は，更新時期をむかえる機器を，最も省エネ型のものに転換することを想定する．暖房は，更新時期をむかえる建物の半分が最新断熱基準を，半分は最新断熱基準を 20%上回るレベルを満たすと想定し，かつ，更新時期をむかえる機器を，最も省エネ型のものに転換することを想定する．エアコン暖房の割合が 2020 年に約 50%，2030 年に約 60%に増加することも想定した．

給湯と厨房は，更新時期をむかえる機器を，最も省エネ型のものに転換することを想定する．電気式ヒートポンプは，現在の 2 倍程度までは導入を見込むが，それ以上は想定しない．また電気温水器は，今後普及せず，更新時にすべてヒートポンプ式に変えることを想定する．

照明と動力は，更新時期をむかえる機器が，最も省エネ型に転換されることを想定する．また，大規模ビルでは，ビルエネルギー管理システムを導入する．

また，2011 年に過剰あるいは不要不急の電力消費を見直した経験を考慮し，冷暖房と動力で 10%，照明で 20%の消費削減を想定する．

また，今後は浪費型機器の大量普及や，浪費的な使い方はしないものとする．

これらの対策により，業務部門の床面積比の電力消費は，2010 年比で 2020 年

に 34%，2030 年に 53%の削減が得られる．熱利用は，2020 年に 38%，2030 年に 43%の削減が得られる．

家庭部門：業務部門と同じ考え方で，ただし，エネルギー管理システムの家庭版の導入は想定していない．家庭部門の世帯当たり電力消費は，2020 年 30%，2030 年 45%を 2008 年比で削減，熱利用は 2020 年に 38%，2030 年に 51%削減される．

運輸旅客部門：運輸旅客部門では，更新時に省エネ車に転換すること，バス，タクシー，鉄道，航空も，更新時に省エネ型に転換することを想定した．これにより輸送量あたり燃料消費は 2020 年に 27%，2030 年に 42%削減される．電気自動車は 2030 年に技術導入ケースで 1 割，エネルギー管理ケースで約 2 割を見込む．

鉄道の輸送量あたり電力消費は，2020 年に 5%，2030 年に 7%改善される．

運輸貨物部門：貨物では，トラック更新時に省エネ車に転換すると想定した．船舶，航空でも，更新時に省エネ型に転換すると想定した．これにより輸送量あたり燃料消費は 2020 年に 7%，2030 年に 11%削減される．貨物の電気自動車の普及は 2030 年に 5%を想定する．

(2) 活動量

エネルギー消費量は，省エネ技術と活動量(生産量など)に依存する．このうち活動量は 2012 年の政府のエネルギー選択 1)2)3)の想定（粗鋼生産量はリーマンショック前の水準をほぼ維持，貨物輸送は増加）を用い，オプションとして建物の長寿命化などによる素材生産と自動車走行量のスリム化を見込む．

(3) 中期の可能性

以上の省エネ対策技術導入で，表 1 のように，中期的に大きな削減の可能性はある．

表 1 省エネによる最終エネルギー消費の削減

	対策技術		エネルギー管理（活動効率化，リサイクル材活用等）	
	2020 年	2030 年	2020 年	2030 年
電気	-19%	-33%	-21%	-34%
熱，運輸燃料	-20%	-32%	-25%	-41%
合計	-20%	-32%	-24%	-39%

2010 年のエネルギー消費総量との比較

4 中期の自然エネルギー普及可能性

前節の省エネ対策を実施することで、自然エネルギー割合を高めることができる。次に自然エネルギーの可能性を検討する。

(1) 自然エネルギー電力

国内の自然エネルギー電力のポテンシャル(表 2)^{12,13,29)} は、近年の電力量を大きく上回る。

2020 年、2030 年の自然エネルギー電力(発電量)予測の一例を表 2 に示す。ここでは政府想定から、風力発電、地熱発電については総合資源エネルギー調査会が示した想定²⁾、太陽光発電、バイオマス発電、水力発電については中央環境審議会が示した想定³⁾を用いた。

大規模水力を含む自然エネルギー電力の合計は、全体の電力量が表 1 の省エネで削減されると、電力量全体比で 2020 年には約 25%、2030 年には約 60%になる。表 2 の電源別組み合わせは一例であり、設備利用率が高い電源、例えばバイオマス、小規模水力、地熱発電の可能性を想定して、別の組み合わせを得ることもできる。

表 2 自然エネルギー電力普及可能性

	2010 年	発電量[億 kWh]		
		2020 年	2030 年	ポテンシャル 予測の一例
太陽光発電	35	547	1058	3,700 ^{12,29)}
風力発電	42	202	901	5,100 ¹²⁾
同洋上	1	15	225	42,000 ¹²⁾
バイオマス	199	372	384	1,182 ¹³⁾
地熱	32	106	386	860 ¹²⁾
小規模水力	699	809	1067	860 ¹²⁾
大規模水力				760
合計	1,008	2,051	4,021	5.3 兆 kWh 以上
自然エネルギー 電力割合	約 10%	約 25% (約 20%)	約 60% (約 40%)	(500%以上)

()内は 2010 年電力量を 100%とした時の比

(2) 自然エネルギー熱利用

自然エネルギーの熱利用と、運輸燃料についても自然エネルギーの導入可能性がある（表 3）。ここでは「自然エネルギー白書¹³⁾」にならい、将来のポテンシャルから求めた。

表 3 自然エネルギー熱利用の推定

	自然エネルギーの熱利用[PJ]	
	2020 年	2030 年
バイオマス	212	346
太陽熱	85	154
地熱	28	57
(地中熱)	46	92
合計	371	649
熱利用・燃料 に占める割合	6%	12%

(3) 中期の可能性

表 2 と表 3 をあわせ、自然エネルギー割合を点検すると、一次エネルギー供給に占める自然エネルギー割合は 2020 年に約 19%、2030 年には約 46%まで増加する可能性がある。

5 中期の省エネと自然エネルギー普及

(1) 導入可能性

2020 年、2030 年の省エネと自然エネルギーの可能性を文献 5 にならい表 4 に示す。対策により、仮に原発の発電量がゼロの場合でも、化石燃料消費を 2010 年より削減可能である。

温室効果ガス 25%削減目標（2020 年に 1990 年比で）の達成には燃料転換の検討も必要であるが、省エネと自然エネルギー普及だけでも 2020 年の化石燃料の消費は、2010 年で約 30%減少の可能性があるが、燃料転換も組み合わせて 1990 年比のエネルギー起源 CO₂ 排出量は、25%以上削減できる可能性がある。

表 4 省エネと自然エネルギーの可能性

	エネルギー種や対策	2010 年	2020 年	2030 年
一次エネルギー	省エネによる削減分	-	28%	44%
	自然エネルギー	8%	14%	26%
	原子力	12%	58%	30%
	化石燃料	80%		
電力	省エネによる削減分	-	21%	34%
	自然エネルギー	12%	20%	40%
	原子力	26%	59%	26%
	化石燃料（火力）	62%		

2010 年のエネルギー量を 100%として計算。一次エネルギーの省エネによる削減分が大きいのは発電所の効率向上と排熱利用向上があるため。

(2) 対策コスト

表 1 の対策に必要な省エネ設備投資として 2020 年までの 10 年間に 50～60 兆円、2030 年までに 80～90 兆円が見込まれる。省エネ設備投資（追加コスト）は、光熱費減で企業の機器対策は 2～5 年程度、家庭の機器あるいは断熱強化対策は、10 年程度で「もと」がとれる。

自然エネルギー電力コスト（系統安定コストを含まない。6 節参照）と火力など既存電源のコストとの差額が電気料金に上乗せされる。類似の自然エネルギー導入試算例では、2020 年に 1.0～2.0 円/kWh をピークに、2030 年に向け低下すると予想される^{14,30)}。これは、化石燃料の値上がりによる電気料金値上げ寄与よりも小さいと予想されている³⁰⁾。

(3) 普及を進めるには

普及は事業者任せでは進まない。現状では投資回収年が短い省エネ技術でさえ十分普及せず、新設時のような省エネや再生可能エネルギーの普及の好機も活かせずエネルギー浪費型施設が建設されてしまう。このため、気候変動政策などと合わせ、政策で後押しする必要がある。

早期普及は、環境改善効果だけでなく、省エネ投資や自然エネルギー投資が国内産業の需要と雇用を増やし、製造業などの競争力を上げたり、地場産業増や中小企業活性化、過疎化緩和のような効果も期待される。省エネや再生可能エネルギー普及により、200 万人近い雇用が拡大するとの試算がある³¹⁾。

6 自然エネルギー電力の安定性

自然エネルギーについては、不安定、コストが高いなどの意見がある。コストについては前節で大きな負担にならない可能性を示した。ここでは、自然エネルギー電力の不安定さをめぐる議論について述べる。

(1) 電源ごとの特徴

電源ごとに、さまざまな特徴がある。大規模集中型電源は、日々の出力変動は比較的少ないが、今回の地震・津波のように、大容量が一度に失われる可能性がある。

自然エネルギー電力のうち、バイオマス、地熱発電は、出力調整可能な電源である。小規模水力もそれに準ずる。またこれらは設備利用率が比較的高い。

太陽光発電は夏の昼間のピーク時に発電する強みがあるが、設備利用率は小さい。風力発電は年間を通じて発電、この二つは、出力調整をしにくい。

(2) 出力変動とその緩和方法

風力発電等では、電圧や周波数変動が見られる。需要家の80%以上は現状のような精度を求めているため、変動精度運用を緩和し、当該電力受入量を増やす方法がある¹⁴⁾。また太陽光と風力の出力変動は、単独機器では変動が大きくても、地域をまとめれば小さい。

また、欧州では、太陽光や風力の出力変動と需要の変動とを天気予報などで予測し、水力や火力など他の電源で調整している。風力発電の変動予測では前日の段階で数%の精度で予測されている。こうした運用により、デンマーク西部やスペインでは多い時間帯には約6割、アイルランドやポルトガルでは約5割を風力発電でまかなっている³²⁾。

デンマークは年間電力量の約25%が風力発電で、隣国ノルウェーの水力を調整に使用する。日本で使える設備に揚水発電がある。従来は原発などの夜間の発電に対応したが、今後は自然エネルギー電力が大量普及する際、出力変動バックアップに使用できる。

最小需要時期（5月連休の朝）に原発と自然エネルギーだけで需要を超えると予測し、これに蓄電池設置で対応するため16～86兆円が必要とされた³³⁾。系統コスト試算の大部分はこの蓄電池コストであった。一方、系統一体運用などによ

り蓄電池を不要とする試算では、系統コストを5兆円に抑えられると報告した³⁴⁾。政府の「エネルギー政策の選択肢」でも後者の値を示した³⁵⁾。今後は、原発の電力が減るので、系統安定コスト議論が大きく変わると見られる。

将来は、自然エネルギー電力を大量導入し、その出力が最大電力需要を超える可能性もある。この場合には、蓄電池があると安定するので、スマートグリッドで電気自動車の電池など各種電池を活用し、コストを下げる手法が検討される。また、自然エネルギーの大量受け入れには、電力網は大きいほどよい。送電網の運営・運用については、今後、議論されることが考えられる。

おわりに

原発縮小下のエネルギー需給について、省エネと自然エネルギーの普及を検討した。

設備更新時の省エネ技術導入と先行研究でも、予測する堅実な自然エネルギー普及により、仮に原発の発電量がゼロになった場合も、エネルギー需給を満たす可能性が示された。

同時に、この需給は、温室効果ガス削減の2020年目標や、化石燃料高騰・枯渇リスク低下等の諸課題と両立させ、コストについて特段の問題もなく達成できる可能性も示された。

注および参考文献

- 1) エネルギー環境会議「エネルギー・環境に関する選択肢」(2012)
http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20120629/20120629_1.pdf
- 2) 総合資源エネルギー調査会「エネルギーミックスの選択肢の原案について」(2012)
http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20120629/sanko_shiryo2.pdf
- 3) 中央環境審議会「2013年以降の対策・施策に関する報告書」(2012)
http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20120629/sanko_shiryo3.pdf
- 4) 政府の中期目標検討委員会の各種シナリオ。
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tikyuu/kaisai/dai07tyuuki07gijisidai.html>
- 5) 環境省「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ」。
http://www.challenge25.go.jp/roadmap/roadmap_detail.html
- 6) 気候ネットワーク「3つの25は可能だ、脱原発の複数シナリオ」(2011)。
<http://www.kiconet.org/iken/kokunai/2011-09-08.html>
- 7) グリーンピースジャパン「自然エネルギー革命シナリオ ―2012年、すべての原発停止で日本がよみがえる」(2011)。
http://www.greenpeace.org/japan/Global/japan/pdf/er_summary.pdf
- 8) ISEP(環境エネルギー政策研究所)『「無計画停電」から「戦略的エネルギーシフト」へ」(2011)。
http://www.isep.or.jp/images/press/ISEP_Strategy110404.pdf
- 9) CASA「原子力発電に依拠せずに25%削減は可能 ～「CASA2020モデル(Ver.3)」の試算結果～」(2011)
http://www.bnet.jp/casa/2020model/CASA2020Model_ver3.pdf
- 10) WWF ジャパン、システム技術研究所「脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ提案(中間報告 省エネルギー)」(2011)。
<http://www.wwf.or.jp/activities/2011/07/1001422.html>
- 11) 小杉昌幸、歌川 学「省エネ技術の普及による削減ポテンシャル」『人間と環境』35(3),147-156(2009)。

- 12) 環境省「平成 22 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」(2011).
<http://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/index.html>
- 13) 環境エネルギー政策研究所「自然エネルギー白書 2012」, 七つ森書館, 2012.
- 14) 再生可能エネルギー普及方策検討会報告書(2009).
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mlt_roadmap/comm/com05_h20a.html
- 15) WWF「脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ提案 (最終報告 100%自然エネルギー)」(2011)
<http://www.wwf.or.jp/activities/upfiles/20111117EnergyScenario02.pdf>
- 16) 平田 賢「21 世紀, 水素の時代を担う分散型エネルギーシステム」『機械の研究』, **54**(4), 2002.
- 17) 経済産業省「夏期最大電力使用日の需要構造推計 (東京電力管内)」(2011)
<http://www.meti.go.jp/setsuden/20110513taisaku/16.pdf>
- 18) 電気事業連合会「電気事業の現状 2012」(2012)
<http://www.fepc.or.jp/library/pamphlet/pdf/genjo2012.pdf>
- 19) エネルギー・環境会議「当面のエネルギー需給安定策」(2011)
http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20110729/siryol_1.pdf
- 20) 需給検証委員会「需給検証委員会報告書」(2012).
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/electricity_supply/20120517/siryol1.pdf
- 21) エネルギー・環境会議「エネルギー需給安定行動計画へエネルギー構造改革の実現に向けた需給安定策の具体化～」(2011)
http://www.npu.go.jp/policy/policy09/archive01_04.html#haifu
- 22) ISEP (環境エネルギー政策研究所)「供給と需要の精査」(2012).
http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20120507/iida_shiryo.pdf
- 23) 需給検証委員会「需給想定論点について」(2012)
<http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20120423/shiryo5.pdf>
- 24) 関西電力「今夏の電力需給について」(2012)
http://www.pref.osaka.jp/attach/15927/00097677/9_siryol1.pdf
- 25) ISEP「情報と市場と需要側管理(DSM)の活用による電力安定供給の必要性」(2012)
<http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20120423/shiryo3-1-1.pdf>
- 26) 高橋洋「地域間の不等率について ～西日本のピーク需要はまだ下がる～」(2012)
http://www.pref.osaka.jp/attach/15927/00099158/11_siryol2.pdf
- 27) 消防庁「平成 23 年 6 月の熱中症による救急搬送状況」(2011)
http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/heatstroke/pdf/230712_kyukyuhanso.pdf
- 28) 消防庁「平成 23 年夏期 (7 月～9 月) の熱中症による救急搬送状況」(2011)
http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/2310/231021_1houdou/01_01.pdf
- 29) NEDO「太陽光発電ロードマップ(PV2030+), 2030 年に向けた太陽光発電ロードマップ (PV2030) に関する見直し検討委員会報告書」, (2009).
<http://www.nedo.go.jp/content/100116421.pdf>
- 30) 田中 信一郎「潜在力高い再生可能エネルギー, 2030 年までに 30%目指せ」『エコノミスト』2011 年 9 月 13 日号, p.76,(2011).
- 31) 藤川清史・下田充「温暖化対策(グリーン投資)の経済効果」(2010).
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mlt_roadmap/comm/com01-05/ref02.pdf
- 32) 安田陽・近藤潤次「第 2 回 IEA Wind セミナー資料」, 日本電機工業会, 2011 年 11 月.
- 33) 経済産業省次世代送配電ネットワーク研究会「再生可能エネルギーの大量導入に伴う系統安定化対策コストについて」(2011).
<http://www.meti.go.jp/report/data/g100426aj.html>
- 34) 中央環境審議会地球環境部会エネルギー供給 WG「現時点でのとりまとめ」(2012)
<http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-105/ref07-15.pdf>

Ⅲ 自然エネルギーに関する先進自治体の取り組み

——地域資源を活かした温暖化対策と地域活性化——

豊田 陽介

はじめに

自然エネルギーは、従来の化石燃料による大規模集中型の供給体制とは異なり、小規模分散による地域供給を基本とする。そのため自然エネルギーへの転換を進めるということは、単に供給源となるエネルギーの種類を切り替えることのみならず、小規模分散に合わせた需要、系統、体制、市場への転換を意味することになる。

現代社会においてエネルギーは、私たち市民の経済活動や生活基盤を支えるライフラインであるにもかかわらずその基本的方向性や政策を主導するのは中央政府の役割であり、その管理・運用は民間のエネルギー事業者任せられ、これまで市民や地方自治体は、エネルギー問題にほとんど関与してこなかったし、また、その機会も与えられてこなかった。

しかしながら自然エネルギーは、地域に分散する資源を用いることから地域でエネルギーを創りだしていくことになる。そうなればこれまでは、地域から切り離されて国や一部のエネルギー事業者の役割であったエネルギーの需給・管理・運用を、地域レベルで行っていくことが現実味を帯びるようになる。

東日本大震災および福島原発事故によってエネルギー問題が大きな焦点となっている今、地域での自然エネルギー利用に大きな期待が集まっている。

1 自然エネルギー普及の主体としての 地域、自治体

自然エネルギーは遍在するエネルギーでありエネルギー密度が希薄であるために、その利用には地域を中心とした小規模設備が向いている。そのため各地域で自然エネルギーの利用を進めることは、エネルギー供給の小規模・分散化を進めることにもつながる。

また自然エネルギーには、その資源の明確な所有者が存在しない。太陽の光や熱、風などは誰にでも利用することができる開かれた資源（オープンリソース）であり、共有財であるともいえる。

そのために、一部の所有者のみならずさまざまな階層、セクターで利用するこ

とが可能になる。現に海外では、市民が共同で風力発電を所有する取り組みが活発に行われ、日本でも同様に、市民や自治体等で自然エネルギーを利用する試みが広がりを見せている。これは、自然エネルギーがもともと地域の共有資源であり、その利用による利益は地域に還元されるべきものであることから、より望ましい自然エネルギー利用のあり方であるといえる。

近年、日本でも一部の先見性を持った地域で、自然エネルギー普及の取り組みが始まっている。温暖化問題への対応として、あるいはエネルギー問題を地域行政の重要な課題として捉え、自然エネルギーを地域の基幹的なエネルギーに位置づけて域内におけるエネルギー自給率の向上に取り組むなど、新たな地域づくりにつながる試みとして注目を集めている。

また市民や地域による自然エネルギー普及の取り組みは、地域社会の公平性や安全を高め、地球環境を守り自然と共存しながら、持続可能な経済活動や社会の活性化につながる可能性を持っている。

現在、経済が停滞し、これまで機能してきた政治や行政のシステムが機能しなくなっている。特に中山間地域においては、農林水産業の衰退にともない都市部への生産人口の流出が激しく、地域社会全体に閉塞感が漂っている。そのようななかで、地域で自然エネルギーを活用することによって、地域の経済や社会を活性化させ、地域の内発的発展、地域の自立につなげていこうとしているのである。

次節ではそうした自然エネルギーを利用した先進的な自治体の取り組み事例について詳しく紹介する。

2 先進事例紹介

(1) 檮原町（高知県）

高知県檮原町は、高知県の西部、四万十川の上流域にあり、町の91%は森林によって占められ、愛媛県との県境にある日本三大カルストの一つ四国カルストの一部を含めた山間に位置する町である。1990年には5000人以上だった町の人口は2010年10月時点で3891人となり、人口流出と高齢化にともなう人口減少と地域の衰退が町の大きな課題となっている。

町では、前・中越武義町長の意向から環境への取り組みをスタートさせ、地域新エネルギービジョン(1999年)、総合振興計画(2001年)、檮原町バイオマスタウン構想(2006年)、さらには環境モデル都市行動計画(2009年)¹⁾を策定してきた。環境モデル都市行動計画の中では、低炭素の地域づくりを目指して、CO₂排出削減量と森林による吸収量を合わせて、1990年比で2030年には-711%、

2050 年には－1081%の削減率の達成を目指している(表 1 参照)。

町では、地中熱を利用した温水プールや四国カルストへの風力発電建設、小水力発電、公共施設での太陽光発電の導入など、率先して自然エネルギーの活用に取り組んできた。特に風力発電は、CO₂削減につながるだけでなく、発電した電力を四国電力に売ることによって得られる収入を森林整備や太陽光発電設備設置への補助金の原資として活用することで、環境・経済を好循環させる仕組みになっている。その成果として、住宅用太陽光発電の世帯設置率は、中山間地ゆえ決して日射に恵まれていないにもかかわらず全国でもトップの 5.9%に達するまでになっている。

これらに加えて近年は、木質ペレット²⁾ 製造工場の建設・稼働、ペレットを燃料とした冷暖房や地元産木材利用の拡大に取り組んでいる。林業自体の成り立ち

表 1 構原町における CO₂ 削減量および吸収量の推移 (2010～2050 年) (出典：構原町環境モデル都市行動計画より作成)

部門・目標年次		1990年	2010年	2020年	2030年	2050年
排出量	産業部門	7,386	6,116	4,056	3,106	2,330
	業務・その他部門	1,994	3,131	1,821	979	216
	家庭部門	5,951	5,621	3,910	2,934	1,451
	運輸部門	8,303	8,125	5,881	4,588	3,285
	エネルギー転換部門	0	-1,398	-9,373	-20,766	-41,369
非エネルギー起源 CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O		2,975	1,643	1,615	1,595	1,555
代替フロン等3ガス		58	53	46	30	15
森林吸収(対策B)		16,200	57,400	52,900	56,400	70,200
差し引き計		10,466	-34,109	-44,944	-63,934	-102,716

は1950年代中頃からと遅いものの、現在は町の重要な産業の一つになっており、森林組合を中心に新たな雇用の創出につながっている。

近年は FSC (森林管理協議会)³⁾ によって森林の品質価値を高め、さらには林地残材と間伐材の有効活用としてバイオマス利用を進めることで、森林の付加価値を高めるとともに森林整備の促進にもつなげていこうとしている。

また、2010 年 8 月末からは、地元木材を使った産直市場兼宿泊施設「まちの駅ゆすはら」が町の中心部に作られ、環境面のみならず商業や農業の活性化につながる取り組みが進められている。

このように構原町は、太陽、風、水、森林、地熱などの町に点在するあらゆる地域資源を活用していくことによって、農林業の新興と周辺産業の活性化、それによる雇用の拡大、さらにはまちづくりへの活用、そして温暖化対策の推進につなげていこうとしているのである。

(2) 葛巻町（岩手県）

岩手県葛巻町は、北上山地北部の山間地帯に位置し、町の総面積の 86%が豊かな森林資源に囲まれた人口 7594 人（2010 年）の町である。東北一酪農が盛んで、林業とともに町の基幹産業になっている。1999 年 3 月に新エネルギービジョンを策定し、以降、クリーンエネルギーの推進に積極的に取り組んでおり、「ミルクとワインとクリーンエネルギーの町」というキャッチフレーズのもとにまちづくりを進めている。

葛巻町では、もともと 1970 年代中頃から大規模牧場開発が始まり、牧場化によって道路や送電網、風況調査などの諸条件が整備され、風力発電に適した条件を有していたことから、第 3 セクターならびに民間事業者による風力発電の建設が進められてきた。

他にも、酪農のまちゆえに問題となっていた畜産廃棄物を有効活用したバイオガスプラントによる電・熱併給と堆肥化の取り組みや、森林整備にもつながるカラマツの間伐材をチップ化しエネルギー利用する木質バイオマスの熱電気供給システム実証実験（ガス化発電）や木質ペレットの利用拡大のための町内施設へのペレットボイラーの導入、ペレットストーブのリース事業などが行われている。

また、こうした再生可能エネルギー利用の取り組みに加えて、「地域省エネルギービジョン」を策定（2004 年）し、エネルギー自給率 100%を目指して省エネルギーにも取り組んでいる。この他、公共施設や福祉施設への太陽光発電の導入や

表 2（2003～2009 年）

導入機器	利用件数
太陽光発電	24 件
木質バイオマス熱利用設備（薪・ペレットボイラー） 一般家庭、事業所	58 基
木質バイオマス熱利用設備（薪・ペレットボイラー） 公共施設	22 基
クリーンエネルギー自動車	8 台
高効率エネルギー設備（エコキュート等）	60 件
その他（地中熱ヒートポンプ）	3 件

（出典：葛巻町提供資料より作成）

市民の新エネ導入補助金事業（太陽光，薪・ペレットストーブ，ペレットボイラー）なども行われている（表 2）。

こうした取り組みの成果として，葛巻町内の電力自給率は 166%（2008 年度実績）を達成している⁴⁾。

近年は，葛巻町へ視察に訪れる人や観光客も以前の約 19 万人（1999 年）から 55 万人（2009 年）に増加し，地域経済の活性化にも寄与している。第 3 セクターによる地域経営の視察やエコツーリズム，牧場体験に訪れる人も増えているため純粋に温暖化対策の効果とは言えないが，環境関連の視察なども増加しており，その数は 200 組 3000 人以上に上る。近年では海外からの視察も増加するなど，国内外から取り組みへの注目が集まっている。

（3）飯田市（長野県）

長野県飯田市は，長野県の南端に位置し，東西を南アルプスと中央アルプスに囲まれた急峻で狭隘な地形に位置する人口約 10 万 7000 人の中山間地域の町である。年間約 2000 時間もの日照時間に恵まれていることもあり，1997 年から融資あっせん和利子補給の太陽光発電設備の設置支援を行ってきた。2004 年からは設備導入補助金も始まり，2010 年末の世帯あたり設置率は 3.6%以上で，全国でも高い水準にある。

また，飯田市は 2004 年に環境省による補助事業「環境と経済の好循環のまちモデル事業」⁵⁾に選定され，その中でパートナーシップによる自然エネルギー普及の取り組みを行ったことで全国的に知られるようになった。

この事業は，市民参加型エネルギー事業として，太陽光発電，省エネルギーの両事業に対して市民出資（南信州おひさまファンド）を募集し，個人・法人あわせて 460 名より，満額の 2 億 150 万円を調達した。これによって，飯田市内の保育園・幼稚園・公民館などの計 38 ヲ所に計 208 kW の太陽光発電が設置された。飯田市と事業主体であるおひさま進歩エネルギー株式会社の間には，公共施設の屋根を 20 年間という長期で提供し，発電された電力を固定価格で買い取る契約が結ばれている。こうした太陽光発電の収益と商店街での省エネルギーサービス事業による収益をあわせて，出資者には出資金額に応じた利回りでの返済が行われる仕組みになっている。

さらに 2006 年には，環境省のメガワットソーラー共同利用モデル事業に応募し，2007 年度から 2009 年度にかけて約 1000 kW もの太陽光発電の設置が行われた。これによって先の市民共同発電所事業とあわせて太陽光発電の設置箇所は計 162 ヲ所，設置容量合計 1281kW にもなっている。

さらに近年では、中部電力との共同による 1000 kW の太陽光発電の建設を行った「メガソーラーいいだ」や太陽光発電を初期費用 0 円で設置し、9 年間、毎月 1 万 9800 円を設置者から支払ってもらうことで、住宅で太陽光発電を設置初期費用 0 円で太陽光発電を設置できる「おひさま 0 円システム」など、全国的にも注目を集める取り組みを継続して展開している。

(4) 都留市（山梨県）

都留市は、山梨県の東部に位置する山間部のまちである。市の南西から北東へ桂川が流れ、この桂川に沿って急峻な山と深い溪谷に挟まれた平坦地に市街地が形成されている。まち中には市役所のある谷村地区を中心として、多くの名所・名跡が残され城下町の面影を見ることができる。

もともと市内には 1903 年から 1953 年まで豊富な水資源（河川水）を利用した水力発電所が存在し、県内でも最も早く電力が供給された地域の一つであった。こうした歴史を踏まえ、2002 年度には「都留市地域新エネルギービジョン」の策定をきっかけに、小水力発電⁶⁾の利用検討に取り組んできた。

2004 年度には市制 50 周年を記念し、市役所前を流れる家中川に木製の小水力発電所（愛称「元気くん 1 号」）を建設することを決定した。

この小水力発電の建設にあたっては、必要となる事業費 4300 万円のうち 1700 万円を市民参加型ミニ市場公募債⁷⁾「つるのおんがえし債」の発行により市民から調達している。

小水力発電所で発電された電力は、市役所庁舎で使用され、CO₂排出抑制とともに、市役所の電気料金削減にも貢献している。2006 年 4 月の稼働から 2007 年 9 月までに、市役所庁舎の総電力使用量の約 12.3%に当たる 7 万 5815 kWh を削減している。またあわせて、市民への普及啓発、国内外からの視察者増加の効果

表 3 都留市の小水力発電の発電電力量推移と削減率

年度	元気くん1号 発電量(kWh)	元気くん2号 発電量(kWh)	総発電量 (kWh)	市役所 購入電力量 (kWh)	削減率
2006	45,387		45,387	368,850	11.00%
2007	60,877		60,877	363,750	14.30%
2008	63,445		63,445	357,198	15.10%
2009	45,109		45,109	403,020	10.10%
2010	48,603	55,832	104,435	321,648	24.50%
合計	263,421	55,832	319,253	1,814,769	14.90%

(出典：都留市役所ホームページデータより作成)

も現れるなど、町の新たな観光資源にもなっている。

さらに都留市では 2006 年度には、小水力発電のさらなる推進とまちづくりを目的とした「小水力発電のまち（アクアバレーつる）推進方策」を策定した。その成果の一つとして、2010 年 1 月には新たな小水力発電所（元気くん 2 号）が設置された。これによって 2010 年度は市役所内での電力消費量の 24.5%を賄うまでになっている。

3 自治体による自然エネルギー普及の意義

2 節で紹介した事例からも分かるように、地方自治体が自然エネルギーの普及に取り組む意義としては次のようなものが挙げられる。

第一は、長期的な CO₂削減対策としての自然エネルギー利用である。地球温暖化防止のためにはエネルギー起源 CO₂の削減が必要であり、そのためにはエネルギー消費の抑制とともに自然エネルギーへの転換が有効な対策である。

一般的に地方自治体の温暖化対策は、国の政策・対策の実施を前提に計画されるものが多く、自治体の独自性・特徴を活かして追加的に実施される対策は決して多くない。それに対して自然エネルギーの利用は、自治体内にある地域資源を利用して行われることから、独自に取り組みを推進していくことができる。また、中長期にわたり確実性を持った CO₂削減対策となることから、地域で独自に実施することができる有効な温暖化対策としての意義は大きい。

第二は、自然エネルギーの活用による地域の活性化である。地域資源である自然エネルギーの活用は、地域密着型の事業として行われることが適しているため、新たな地場産業を生み出すことにもつながりやすい。それにより地元を中心とした雇用の増産、関連産業の振興にもつながる可能性を持っている。

特に農林水産業との関わりが深いことから、現在、第一次産業の衰退による人口流出、地域経済の停滞の問題を抱えている中山間地域における新たな産業振興・経済政策としても自然エネルギー利用への期待は大きい。

また、事例にも見られたように、取り組みが大きく注目を集めることで、地域外から多くの視察者や観光客が訪れるなど、新たな観光資源にもなっている。

第三は、地方自治体が域内の自立的なエネルギーの安定供給、つまりは「エネルギー自治」を実現することである。東日本大震災および福島原発事故を契機に、安心・安全な地域づくりの実現が自治体の大きな課題となっている。

なかでもエネルギー自給率の向上は、自治体にとっての喫緊の課題となっている。そういったことから、地域内の資源を利用してエネルギーの供給を行うことが可能な自然エネルギーの普及を進めることの意義は大きい。

おわりに

どの地域にも温暖化対策推進のための資源が存在している。それを探し、地域特性を活かした温暖化対策に取り組むとともに、地域の課題克服や活性化にむすびつけていくことが、地域の環境・社会・経済に相乗効果を持つ事業や活動を展開していくことにつながる。

特に地域資源であり中間技術である自然エネルギーは、地域との親和性も高く、地域自治体や地域住民主導の取り組みを展開することも可能である。自然エネルギーを地域主体の参加のもとで進めることは、地域社会の自律性と自発性を高め、地域固有の課題の克服と地域の活性化につながる可能性を持っている。

先進自治体の事例からも分かるように自然エネルギーを軸にした地域づくりを進めることによって、地球温暖化防止のために実効性ある温室効果ガス削減対策の実施と、疲弊し続ける中山間地域を中心とする地域の活性化という、二つの課題を克服していくことが可能になる。

2011年3月11日の東日本大震災による被害は、農業、漁業、観光業などの産業のみならず、計画停電を通じた日本の産業全体へと拡大し、エネルギー政策の根幹を揺るがす事態になっている。今後、原発のリスク、石油高騰リスクを避け、温室効果ガスの大幅削減と震災復興を両立させていくためにも、自然エネルギーを軸とした持続可能な地域づくりを進めていくことが求められている。

注および引用文献

- 1) 環境モデル都市には、北九州市、京都市、堺市、横浜市、飯田市、帯広市、富山市、豊田市、下川町、水俣市、宮古島市、橿原町、千代田区の13地域が選定されている。
- 2) おが屑やかんな屑などの製材副産物を圧縮成型した小粒の固形燃料のこと。
- 3) FSC (Forest Stewardship Council, 森林管理協議会) は、木材を生産する世界の森林と、その森林から切り出された木材の流通や加工のプロセスを認証する国際機関。その認証は、森林の環境保全に配慮し、地域社会の利益にかない、経済的にも継続可能な形で生産された木材に与えられる。
- 4) 2008年度の町内での電力消費量 3416 万 kWh に対して、町内での風力、バイオマス、太陽光からの発電量は 5662 万 kWh になる。
- 5) 「環境と経済の好循環のまちモデル事業」は、環境省の助成事業の一環として、地域発の創意工夫と幅広い主体の参加によって環境と経済の好循環を生み出すまちづくりに取り組んでいるモデル地域に対し、一般会計による事業とエネルギー対策特別会計の双方から支援を行う取り組み。2004年から2007年にかけて26地域が選定された。
- 6) 小水力発電には明確な定義がないが、「流れ込み式」、または「水路式」と呼ばれ、大規模ダム（貯水池式）、中規模ダム（調整池式）ではなく、河川の水を貯めることなく、そのまま利用する発電方式であり、かつ1000kW以下のものを言う。
- 7) 地方公共団体が、当該地域に居住している個人や営業拠点等がある法人などを対象に発行する債券のこと。

IV 日本周辺海域における風力と潮流力エネルギー利用の可能性

石田 茂資
南 佳成

はじめに

洋上における自然エネルギー（以下、洋上エネルギー）には、波力、潮流・海流力、潮汐、温度差等いろいろな種類がある。また、風力は海洋特有のものではないが、その豊富な賦存量から着床式洋上風力発電が欧州を中心に実用化され、大きな電力を生み出している。本稿ではこれらの例として、洋上風力発電と潮流発電を取り上げ、そのポテンシャルと技術開発動向を述べる。

1 洋上風力発電

(1) 洋上風力発電のポテンシャル

現在日本には約 1800 基の風車が建っており、その設備容量は約 250 万 kW (=2500 MW =2.5 GW) になる。標準的な原子力発電所（以下、原発）の設備容量が 1 GW であるから、原発 2.5 個分である。しかし、実際の発電量はこれに設備利用率をかけねばならない。平均的な設備利用率は陸上風力発電が 20%、原発が 70%程度（東日本大震災前）であるから、全風力発電基の発電量を合計しても、原発 1 基より小さいのが現状である。ちなみに、日本の電力消費量は1000TWh/年とされるので、風力発電の寄与は0.4%程度である。

自然エネルギーの代表選手として風力発電を増やしたいところであるが、日本では陸上風車の建設が徐々にむずかしくなっており、洋上展開が期待されている。陸上の問題点と洋上の利点を整理したものを表 1 に示す。

表 1 洋上風力発電の利点

	項目	陸上の問題点	洋上の利点
①	景観、騒音、シャドウ・フリッカー	影響大	影響小
②	大型風車の輸送	道路建設、森林伐採	専用船、曳航による輸送が可能
③	大規模化（windファーム）	面積の制約	面積の制約小（漁業権等を除く）
④	平均風速	低い→設備利用率 20%	高い→設備利用率 30~40%
⑤	風速変動・乱れ	大きい→効率低下、部材疲労	小さい→効率向上、部材疲労低減

表 1 の①のシャドウ・フリッカーとはブレードの影が地表を走る現象で、人によってはかなり気になるものである。②は 5 MW 風車のローター直径が 120 m に

も達することから理解できる。一方、洋上風車は陸上よりもコストがかかるため、性能面である④と⑤も重要である。洋上風車の設備利用率を 40%とすれば、陸上の 2 倍のコストが許容されることになる。

日本における風力発電のポテンシャルはいろいろな試算がある。最近では、(社)日本風力発電協会¹⁾や環境省²⁾から報告書がまとめられている。洋上について前者は、賦存量(社会的制約要因を考慮せず)を 5716 GW、ポテンシャル(制約要因を考慮)を 613 GW (全発電設備容量の 3.03 倍)としている。一方、後者はさまざまに条件を変化させたうえで、導入ポテンシャルを 782~1900 GW としている。

条件や計算方法によって大きな差があるが、膨大なポテンシャルを持つことは間違いなく、また他の海洋自然エネルギーと比較しても風力は飛び抜けて多い^{2,3)}。

(2) 洋上風力発電の開発動向

世界的に商業ベースで行われているのは、すべて着床式風力発電である。これは海底に風車基礎を置く方式で、水深 50 m 程度が限界とされている。日本でもウィンド・パワーかみす⁴⁾など 3 箇所に設置されているが、遠浅の海底が少ない日本では大規模展開がむずかしく、浮体を基礎とする洋上風力発電が望まれている。

浮体式洋上風力発電システムの技術開発課題は、浮体や風車本体の他、係留法、ブレード・ピッチ角制御法、洋上施工法、保守・管理法、動揺低減デバイス、送電ケーブル等多岐にわたる。ここでは、浮体形式とブレード・ピッチ角制御について紹介する。

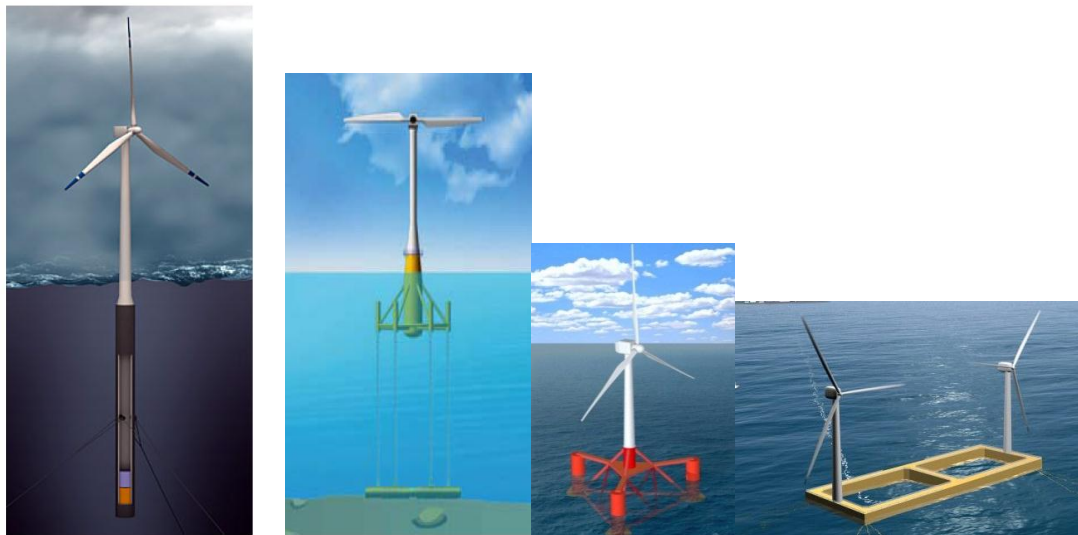
浮体形式の種類：発電効率や荷重の面から、発電用浮体の動揺はできるだけ抑える必要がある。低動揺の浮体は石油リグなどで実現されているが、得られる利益のオーダーがまったく違うため、安価で揺れない浮体の開発が必要である。また、風車はトップ・ヘビーな構造物であることに留意しなければならない。

風力発電用浮体として非常に多くの型式が考案されているが、大別すれば次のような分類が一般的である。

スパー型：釣りの浮きのような単純な形状で作りやすいが十分な水深が必要。また洋上施工に工夫が必要。

TLP 型 (Tension Leg Platform, 緊張係留式)：浮体と海底の基礎とをテンドンと呼ばれる鋼管で接続し、強制浮力によって生じる緊張力を利用して係留。揺れにくいが高価。

セミサブ型：水面を貫通するコラムを細くして浮力体の多くを水面下に配置。揺れにくいが構造が複雑。



① スパー型

出典：Statoil

② TLP 型

出典：Blue H

③ セミサブ型

出典：Henderson

④ ポンツーン型

出典：JRTT

図 1 風力発電用浮体形式のいろいろ

ポンツーン型：単純な形状で作りやすいが波浪影響を受けやすい。

開発状況（実海域実験）：上記の内でスパー型は、商用規模の風車（2.3MW）を搭載した実海域実験（Hywind プロジェクト、ノルウェー、図 1①）が進行中であり開発が最も進んでいる。Hywind の設備利用率は 40%を超えるという報告もあり、有望な型式の一つと考えられている。また縮尺モデルを用いた実海域実験は、他の浮体型式について BlueH（図 1 ②）や SWAY（図 2）等が実施されており、どの浮体型式が優れているか、あるいは海域の諸条件による適不適など、検討が進められている。

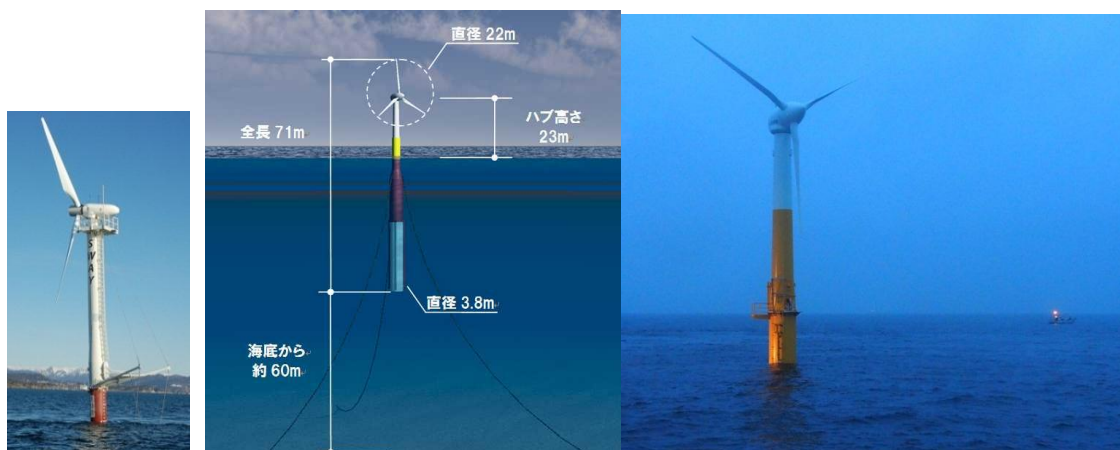


図 2 SWAY の実海域実験⁵⁾

図 3 環境省実証事業によるスパー小型試験機の実海域実験⁶⁾

日本初の実海域実験は小型のスパーを用いて2009年に行われた(京都大学他)。また環境省は戸田建設(株)、富士重工業(株)、芙蓉海洋開発(株)、京都大学、(独)海上技術安全研究所に委託して実証事業を行っており、2012年6月に五島列島の杵島沖に小型試験機(100kW 風車搭載)が設置された(図3)。系統連系を行う浮体式洋上風力発電施設としては国内初となるものである。本事業では次に2MW 風車を搭載した実証機を設置する計画である。

環境省はこの他に、九州大学に委託して風レンズ風車(3kW)2基と太陽光パネル(1.5kW)を搭載した複合型浮体を博多湾に設置して実証実験を行っている(図4)。



図4 環境省による風レンズ風車の実海域実験⁷⁾

ブレード・ピッチ角制御：大型ローターによる発電装置では、ブレード・ピッチ角を変えて高風速時に過回転を抑える制御が行われる。すなわち、風速が高くなるとブレードを風に立てて風を逃がすようにし、回転数(発電量)が一定になるように制御する。

浮体式洋上風力発電で浮体が動揺すると、風車に流入する風速が変化する。その場合に固定式風車と同様の制御をすると、動揺を大きくする効果のあることが知られている。この現象は、浮体運動方程式の減衰力項として整理できることから、ネガティブ・ダンピングとも呼ばれている。

回転数一定制御と動揺を抑える制御とは基本的に相反する方向であるため、これを最適化することが必要である。そのためには、実海域の不規則な風と波の環境下で風車ー浮体ー係留の連成を考慮する必要がある、一体解析手法が開発されているところである。

2 潮流発電

(1) 潮流発電のポテンシャル

海流は利用できる海域が限定されるのに対し、潮流は沿岸部の海峡・水道など対象海域は多い。たとえば、瀬戸内海、九州西岸および五島列島の海域が有望と

いわれている。潮流エネルギーの賦存量(表 2)は, 年間 2190 億 kWh (219 TWh) と見込まれている⁷⁾ (評価の条件が異なるため風力発電の項で示した値との直接比較は不適當である)。

表 2 日本近海でのエネルギー附存量⁷⁾

地点	最大流速 [ノット]	平均最大 流速 [m/s]	断面積 [m ²]	賦存量 [× 10 ³ kW]
鳴門海峡	9.9	3.8	93000	2672
来島海峡	8	3.1	77000	1167
関門海峡	6.8	2.6	12920	120
広島湾	6.3	2.4	48300	328
明石海峡	5.8	2.2	264000	1525
島原湾	5.4	2.1	286000	1334

潮流は 12 時間周期で正弦状に変化し, 半周期ごとに方向が反転する。流向が反転することを転流といい, 転流時に海水の動きが停止する時を憩流という。潮流は, 流速・流向変化に周期性を持っているのでエネルギー変化量を予測可能であり, 系統連携や電力平滑化に好都合である。

(2) 潮流発電の開発動向

海外で行われている主な開発プロジェクトを以下に示す⁸⁾。

英国： Marine Current Turbines 社は, 海中に支柱を立てて, 保守時に空中に出るよう, 昇降機能を備えた潮流発電装置の開発を行っている。2003 年にプリマスにおいて, 直径 11 m の 2 翼プロペラ式タービンを備えた発電出力 300 kW の潮流発電システムを設置し, 実証プロジェクト (Seaflow) を行った。

Seaflow プロジェクトは現在, SeaGen プロジェクトに引き継がれており, 1.2 MW の商用プラントが稼動している(図 4)。

同社はさらに, RWE power 社と共同で 2011～2012 年に運用開始予定の 10 MW 潮流発電プロジェクトを進めている。

アイルランド： OpenHydro は, ローター外周に取り付けられた永久磁石とそれを包むダクトに置かれたステーターによって発電する潮流発電装置を開発した(図 5)。ローター中心の穴は, 効率向上のため流速を制御するとともに, 魚の逃げ道としても有用であるとしている。



図4 SeaGen プロジェクト⁹⁾出典：JRTT



図5 1MW 級の OpenHydro 装置

この装置は、カナダのノバ・スコシア電力からファンディ湾における大規模潮流発電ファーム計画の候補に採択され、英国およびアイルランドからの資金支援によって、英国 Orkney の欧州海洋エネルギーセンターでの実海域実験を行っている。

米国：米国ではニューヨークにおいて、Roosevelt Island Tidal Energy (RITE) プロジェクトと呼ばれる潮流発電プロジェクトが Verdant Power 社により実施され、電力供給が開始されている。

イーストリバー(East River)の水底にパイルを打ち込み、ヨー制御（首を振る制御法）した 6 基のプロペラ式潮流発電システム（発電出力 200 kW）が稼働している（図 6）。

現在は 2 回目の実証段階を終了しており、最終的には 10 MW に達し 8000 世帯分の電力供給を目指している。



図6 Verdant Power turbine¹⁰⁾



図7 Uldolmok Tidal Plant 建設風景

韓国：韓国南西部の Uldolmok 水道は最大流速が 13 ノットもあり、潮流発電の適地である。KORDI の 2006 年の年次報告書によれば、鉛直軸のヘリカル

(Gorlof)形水車による 1 MW のパイロットプラントが 2009 年に完成した。報告書の写真と図面から判断すると、海峡にジャケットフレームを設置し、その中に水面貫通の 4 段ヘリカル水車をおき、発電機はジャケットのデッキに置く計画である。発電機は、同期型と非同期型でそれぞれ 500 kW の発電を行い、性能を比較することを計画している。

図 7 は 2008 年のジャケットフレーム設置時の写真であり、大がかりな工事であったことが分かる。

このように、海外では欧米を中心にプロジェクトが進んでおり、商業化の一手前まで来ていることが分かる。

一方、日本では 1980 年代に日本大学が来島海峡で 3kW のダリウス水車、徳島大学が鳴門海峡で 0.8kW のクロスフロー水車で実海域実験を行った実績があるが、実験段階で終了していた。

最近になり、潮流発電の実用化に向けた複数のプロジェクトが開始されている³⁾。例えば、(一般財団) エンジニアリング振興協会は、2MW の海流発電システムの事業化を目指し、新たに開発されたループ型タービンを用いて MW 級の海流発電システムの基本設計等のフィージビリティスタディを行っている。

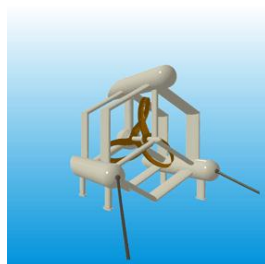


図 8 ループウィング型潮流発電システム

(3) 潮流発電の商業化への課題

潮流発電を事業として発展させるための課題を以下に整理する。これらの多くは、洋上風力発電や他の洋上エネルギーにも共通するものである。

エネルギー変換性能の向上：流速変化が予測可能なことは利点であるが、変動流速に対応した最適なエネルギー変換を行うためには、設置海域の特性に合わせ、タービン特性、増速機、発電機特性を考慮した発電システムの設計、および制御技術の開発が必要である。

タービン単体の性能だけでなく、システムとして共通化や大出力化を図ることが効率向上につながる。たとえば、複数基のタービンを組み合わせることが考え

られる（図 9）。

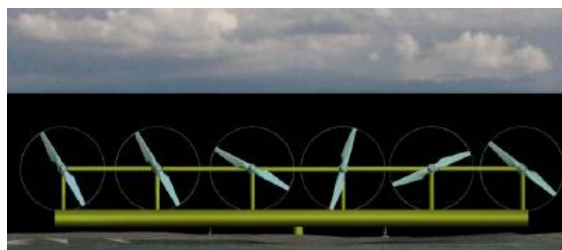


図 9 MCT 社の提案する複数基の発電タービンのイメージ図⁹⁾

コスト低減：風力発電におけるウィンドファームのように，変電や送電設備等のインフラ設備を複数の発電システムで共有化することで，全体のコストを抑える必要がある．変電・送電設備を海上に設置すれば陸上用機器を転用することができ，コスト低減が可能になる．

信頼性：タービンを水中に設置するため水密等の信頼性を十分に確保する必要がある．また，故障時に容易にメンテナンスできる技術の確立が必要である．積極的な保守技術として，センサーを設置して遠隔モニタリングを行うことで故障の事前に予知することも考えられる．

流況把握，環境影響評価：潮流エネルギーの賦存量には地域的な片寄りがあるため，詳細な賦存量マップを作成し，潮流発電に適した場所を選定することが必要である．また，海洋環境に対する影響を実証プラントで検証し，必要に応じて適切な対策を施し，周辺地域の理解を得ながら共生できるよう開発を進めていく必要がある．

おわりに

本稿では，海洋におけるさまざまな自然エネルギーの内，風力と潮流エネルギーを例として，そのポテンシャルと開発動向を簡単に述べた．紙面の制約から詳しく触れることができなかったが，洋上ではアクセス性，保守性等の問題に加え，浮体式では基盤浮体の動揺・係留といった技術課題がある．また，コストや環境負荷の低減が商業化への重要な課題である．しかし，現在は実海域実証実験が実施・計画される段階に入っており，これらの課題が徐々に解決され，近い将来の実用化が期待されるところである．

その際には，各エネルギー単独ではなく，それぞれの特徴を生かした複合利用も考えられる．一例として，浮体式の風力発電・潮流発電・波浪発電（内部空間を利用）複合型プラントのイメージを図 10 に示す．さらに，海洋観測，漁業関

連等，エネルギー以外を含めた総合利用を図り，付加価値を高めることも検討する必要がある。

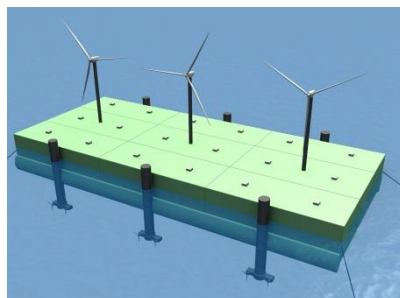


図 10 複合型海洋エネルギー発電施設のイメージ例

引用文献

- 1) (社)日本風力発電協会「風力発電の賦存量とポテンシャルおよびこれに基づく中長期導入目標とロードマップ(V2.1)」(2010)。
- 2) 環境省「平成 22 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」(2011)。
- 3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)「再生可能エネルギー技術白書」(2010)。
- 4) <http://komatsuzaki.co.jp/windpower/kamisu.php>
(最終閲覧日：2011 年 11 月 2 日)。
- 5) <http://sway.no/> (最終閲覧日：2011 年 11 月 2 日)。
- 6) <http://www.toda.co.jp/news/2012/20120612.html> (最終閲覧日：2012 年 6 月 27 日)。
- 7) <http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/Hakatawan.html> (最終閲覧日：2012 年 6 月 27 日)。
- 8) NEDO 海外レポート「欧米における潮流・波力発電技術の最新状況」No.977, (2006)。
- 9) <http://www.marineturbines.com/18/projects/> (最終閲覧日：2011 年 11 月 2 日)。
- 10) <http://verdantpower.com/> (最終閲覧日：2011 年 11 月 2 日)。

V 地熱エネルギー開発利用の可能性と課題

江 原 幸 雄

はじめに

地球の中心部の温度は約 6000°C といわれる。これは偶然であるが太陽表面の温度にほぼ等しい。一方、地表の温度は 15°C 程度である。したがって、常に、地球内部から地表に向かって熱（地殻熱流量と呼ばれる）が流出することになる。地球内部に蓄えられている熱の総量は 10^{31}J といわれている。

この地球内部に蓄えられている熱が地殻熱流量によって地球外に運び出されるのに数 10 億年を要する。すなわち、地球内部には膨大な熱が蓄えられており、地球は火の玉と言ってもよい。地球体積の 99% は 1000°C 以上であり、 100°C 以下は、なんと 0.1% 以下である¹⁾。

この無尽蔵とも言える莫大な熱のごく一部を地上に取り出して人間生活に利用するのが地熱エネルギーの利用である。

1 地下における熱と水の流れ

(1) 火山と熱水系

日本列島は火山列島である。現在の地球科学の基礎的理論になっているプレートテクトニクス説によれば、日本列島を乗せたユーラシアプレートあるいは北米プレートの下には太平洋プレートあるいはフィリピン海プレートが沈み込んでいる。この沈み込んだプレートの上面深さが 110 km あるいは 170 km に達するとプレート上面から脱水し、上昇した H_2O は上部マントルの融点を下げ、微小溶融体（メルト）が生成する。上昇したメルトは集合し、地殻を温めるとともに、地殻上部（深さ数 km～10 数 km）に岩石溶融体の固まり「マグマ溜り」を形成する。これが何らかの理由により地上に噴出すれば火山噴火となるが、ゆっくり冷却し、その上部にある地殻岩石中に溜まった H_2O を加熱すると熱水の対流が発生し、その一部が地表に達し、温泉や噴気となる。このように、マグマに加熱され、水が対流している自然の熱システムを熱水系と呼ぶ。

(2) 地熱貯留層と地熱発電

上述の熱水系のうち、加熱された H_2O が上昇し、地下 1~3 km 深に溜まった領域を地熱貯留層と呼ぶ。この地熱貯留層は、やかんの中に溜まっているお湯のように 3 次元的な広がりを持っているというより、お湯を含んだ畳のように薄い 2 次元的構造になっており、地上からこれを検出することはそれほど容易ではない。ここに地熱開発のリスクが存在する。

このような状況はあるが、地質学的、地球化学的そして地球物理学的な各種の地熱探査法を駆使して、地熱貯留層を見出し、これをボーリングにより掘削・確認して、熱水および蒸気を地上に取り出す。このうち、蒸気を使ってタービンを回し、発電を行うのが地熱発電である。なお、多くの場合、熱水はそのまま地下に還元されるが、その熱を暖房、浴用、あるいは農林水産業にも使うことが可能であり、直接利用と呼ばれる。

2 地熱資源量評価と地熱エネルギーの利用

さて、地熱エネルギーの具体的な利用の話に入る前に、その前の段階で行われる地熱資源量評価について記すことにする。

(1) 地熱資源ポテンシャル

ここでは、地下に存在する熱を地上に取り出し、電気に変換して利用する場合の地熱資源量、すなわち地熱ポテンシャルを評価すること（ここでは、容積法について説明する）を考える。地下にある、水を含んだ岩石の温度がわかればその持つ熱量がわかる。一般に、地表面温度（ほぼ年平均気温に等しい）以上の熱量 Q_0 を考える。そして、そのような地殻浅部にある熱水あるいは蒸気を取り出して、どの程度の発電が可能かを評価する。

評価にあたって、まず、地下に存在する熱量のうちどの程度が地上に蒸気として取り出し得るかを評価する。次に蒸気によってタービンを回すことを考える。蒸気を持つ熱の一部がタービン回転の機械エネルギーとなる。そして、その機械エネルギーの一部が発電機を介して、電気エネルギー E に変換される。最終的に、平均的な地熱貯留層の場合、地下に存在した熱量 Q_0 と E の比は 0.02~0.04 程度になる。すなわち、地下に存在する熱量のうち 2~4% が電気に変換されることになる。

この値は、一見小さいように見えるが、地球内部の熱量は莫大であり、地表か

ら 3 km 深程度の範囲に限っても、多量の熱を獲得することができ、たとえば、日本列島全体から、地熱発電に利用できるポテンシャルは 2000 万 kW を超える値が得られている^{2,3)}。

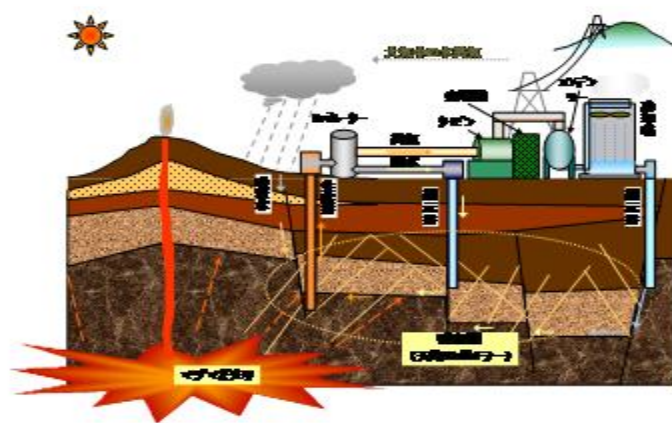
(2) 発電利用

地熱発電所建設にあたっては、初期には上述のような容積法による資源量評価も行われるが、当該地域において実施された各種調査結果から得られる、地下における熱と水の流れのイメージ（概念モデルという）を定量化した数値モデルを作成する。一般には、コンピュータを使って、温度や圧力等の観測値に合うように 3 次元的な数値モデルを作成する。そして、この数値モデルにより、長期間安定して発電することが可能な発電規模を決定する。発電規模が決定されれば、環境影響評価等を行い、発電所建設に進む。

このように地熱発電所建設に当たっては、事前の地下調査、環境影響評価等に時間がかかり、調査開始から発電所運転開始までの時間、いわゆるリードタイムが 10～20 年程度かかることが大きな問題となっており、コストを上げる要因にもなっている。

さて、以下では、地熱発電システムについて説明する。まず、地熱発電所の地上および地下部分を分かりやすく示した（図 1⁴⁾）。

図1 地熱発電システム



地下に浸透した雨水はマグマからの熱によって温められ、地層の割れ目等（地熱貯留層）に蓄えられる。これを地上から見出し、掘削によって、地上に地熱流体（蒸気と熱水が混合した気液 2 相の状態）を取り出す。この気液 2 相の流体を

セパレータにより分離する。分離された熱水は還元井から、自然流下により地下に戻される。この還元熱水の一部は地下で温められて、再び生産井から生産される。

一方、分離された蒸気はタービンに導かれ、それに直結した発電機を回転させることにより、電気を発生する。発生した電気は昇圧され、送電線を通じて、系統に連結され、配電され、工場や家庭で使用されることになる。タービンから出た圧力の下がった蒸気はコンデンサーで冷却され、凝縮する。これは発電効率をより高めるために行われる。凝縮した温水は冷却塔で冷却された後、コンデンサーに入り、タービンから排出される蒸気の冷却に使われる。なお、余分の冷却水がある場合は、還元井から地下に還元される。

このように地熱発電システムは、火力発電と基本的に同じシステムであるが、火力発電にあるボイラーがなく、そのかわり、地熱により蒸気を作る、いわば天然のボイラーがあるといってもよい。

上述のように、地熱発電所の多くは、天然の蒸気を使ってタービンを回し、発電をするのであるが、圧力の弱い蒸気や高温の熱水により、低沸点の媒体を加熱して作られた蒸気によりタービンを回すシステム(バイナリー発電という)も近年増加してきた。わが国において特に注目されることとして、80℃以上の高温の温泉を使った温泉バイナリー発電がいろいろな温泉地で計画されていることがある。

このシステムでは、発電後の温泉水が 50℃程度と浴用温度に近く、高温泉を無理に冷やす必要がなく、しかも、発電によって地熱の有効利用ができるという一石二鳥になっており、今後の発展が期待される。さらに、温泉事業者の発電への理解が深まり、その結果、地熱発電一般への理解が深まることが期待される。

(3) 地熱直接利用

上述のように、近年、高温の熱水（あるいは温泉水）を使ったバイナリー発電が行われるようになってきたが、高温熱水あるいは温泉には、高温の水の持つ熱エネルギーを熱としてそのまま使う直接利用は、従来より、広く行われてきた。温度は 100℃以上程度の高温から常温よりやや高い温度まで、多様な目的に利用されてきた。このことから、従来、熱水の多目的利用という表現もされてきた。図 2 に温度別に多様に利用される直接利用の例を示した⁵⁾。

なお、直接利用の一形態として、地中熱利用がある。この場合、熱源は、マグマ等ではなく、特別な熱源はない。地下数 10 m の地温は、年間を通じてほぼ一定である。たとえば、普通の土地の地下 50 m 程度では 18℃程度で一定である。一方、地上の気温は夏高く（たとえば 28℃）、冬低い（たとえば 8℃）。したがっ

て、夏は 10℃程度、地中の方が温度が低く、冬は 10℃程度、地中の方が高い。

そこで、地中の熱を冬は温熱源として、夏は冷熱源として使うことができる。パイプを通じて、地下に水などの熱交換媒体を流し、その循環により熱をやり取りする。一般に、それだけでは十分な暖房・冷房温度にならないため、ヒートポンプを介在させ、適当な温度を得ている。

図2 温度別地熱直接利用



なお、直接利用の一形態として、地中熱利用がある。この場合、熱源は、マグマ等ではなく、特別な熱源はない。地下数 10 m の地温は、年間を通じてほぼ一定である。たとえば、普通の土地の地下 50 m 程度では 18℃程度で一定である。一方、地上の気温は夏高く（たとえば 28℃）、冬低い（たとえば 8℃）。したがって、夏は 10℃程度、地中の方が温度が低く、冬は 10℃程度、地中の方が高い。

そこで、地中の熱を冬は温熱源として、夏は冷熱源として使うことができる。パイプを通じて、地下に水などの熱交換媒体を流し、その循環により熱をやり取りする。一般に、それだけでは十分な暖房・冷房温度にならないため、ヒートポンプを介在させ、適当な温度を得ている。

このシステムでは、大気を熱源とする普通のエアコンに比べ、使用電力量が少なく（一般に 3 分の 1 程度削減される）、また、夏に温められた排気を大気中に放出せず、地下に戻すので、ヒートアイランド現象の緩和に貢献するとともに、排熱を冬に使うという賢いシステムとなっている。欧米では爆発的に増加しているが、わが国では導入が進み始めた状況であるが、今後の発展が期待される。

3 わが国における地熱発電開発の課題

わが国の商用的地熱発電は1996年岩手県松川地熱発電所で始まった。そして、2000年までに18ヵ所、総設備容量約54万kWに増加した。しかしながら、その後10年以上にわたって、新規の地熱発電所（1万kW以上のもの）が建設されてこなかった。その間、世界の地熱発電は順調に進展し、2010年に1000万kWを超え、さらに、2015年までには1850万kWに増加することが予想されている⁶⁾。

このような世界の潮流に、残念ながらわが国は乗り遅れている。この根底には、わが国政府の地熱発電に対する消極策があったと言わざるを得ない。その消極策の結果、発電コスト問題、国立公園問題、温泉問題という三つの障壁を乗り越えることができず、2000年以降、わが国の地熱発電開発は停滞した。以下では、三つの障壁について述べる。

まず、発電コスト問題である。地熱発電のコストを原子力発電や他の化石燃料発電と比較してみる。発電コストに関しては、十分な情報公開がなされておらず、異なる電源間でのコストの比較は一般に困難である。しかしながら、例えば、経済産業省によれば、1kWhあたりの発電コストは（1999～2003年の平均）、石油火力10.2円、石炭火力6.5円、原子力5.9円、水力13.6円、太陽光66～73円、風力10～23円、地熱13～16円となっており、地熱を含めた自然エネルギーは、原子力・化石燃料に比べて一般に高い。

このようなコスト評価の問題点、特に原子力については、3.11後、多くの指摘がなされ、その妥当性が疑問視されているが、少なくとも、3.11以前は、電力自由化の流れの中で、上述のような数値が背景となって電源選択が行われてきたと考えられる。このような状況の下では、地熱発電が選択される可能性はなかった。このコスト問題に関しては、実施が決定されている全量買取制度において適切な価格が設定されれば、条件の良い地域では発電所建設に進み出すであろう。

今後、価格等の詳細は、第3者委員会で決定されることになるが注意深く見る必要がある。なお、地熱発電の場合、地下資源特有のリスクが存在するため、全量買取制度だけでは抜本的解決にはならず、資源量評価リスク低減のための国による支援が必要であろう。

次の問題は国立公園問題である。国立公園内の開発に関しては、昭和47年、当時の通産省と環境庁が、「当分の間、国立公園特別地域では新たに地熱発電所は建設しない」という覚書を作成したことに起因している。国立公園内では自然環境を十分考慮した地熱発電所の建設を行うべきであることは論を待たない。

この問題については、現在、環境省内で検討が行われているが、平成 22 年 6 月 18 日に閣議決定された「地熱発電が自然公園の環境保全に影響を及ぼす可能性については、既に昭和 47 年通達における 6 地点で長期に渡り操業をしているが、問題は発生していないという事例を以って証明が可能である」とされており、国立公園内における地熱発電所を一律に禁止するのではなく、開発可能地域のゾーニング等を行うことによって、建設可能な地点を模索すべきであろう。

有望な地熱資源が存在する地域のうち、80%以上が国立公園特別地域内にある³⁾という現実を考えると、地熱発電が量的に意味のある貢献をするためには、国立公園問題がきわめて重要であることが理解される。

3 番目の問題は、温泉問題である。地熱発電所が建設されると温泉に悪影響を与える可能性があるとの理由で温泉事業者の反対があり、調査すら行えない場合がある。これに関しても、わが国の地熱発電所 18 カ所は、長いものでは 45 年以上操業を続けているが、これまで 1 カ所の温泉地にも悪影響を与えていないという事実からも、地熱発電と温泉利用は十分共生できることが証明されてきている。

この問題に関しても、現在、環境省内で検討が行われているが、地熱発電の温泉への影響問題は科学的見地から解決が図られることが望まれる。温泉利用も地熱発電利用も元は同じ地球の熱にある。両者が棲み分け、共生することはこれまでの経験からすれば可能である。両者にはそれぞれ固有の価値があることをよく認識することは重要であろう。

わが国には、現在の技術で開発利用できる地熱発電のポテンシャルは 2000 万 kW を超えている。現在のわが国の地熱発電進展のための三つの障害が解決されれば、地熱発電はわが国の電力需要に重要な貢献をすることができるであろう。

4 わが国の自然エネルギーの将来

本稿では地熱発電に関して述べてきたが、地熱発電を含めた自然エネルギー全体の将来における貢献を最後に考えることにする。

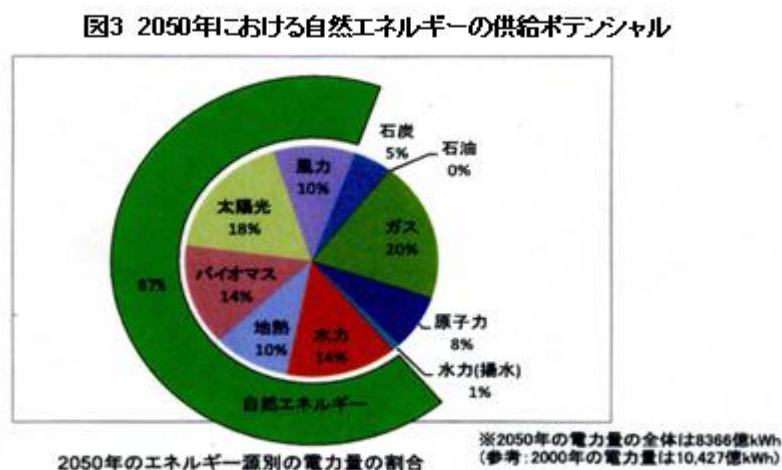
電源供給のリスク分散という観点からは、特定の電源に過度に依存することは危険であることは論を待たない。福島原発事故は他の原発の操業に影響を与え、2011 年の夏は計画停電の実施などの電力危機が生じた。現在、原子力発電はわが国電力供給の 30%程度を占めており、これのかなりの部分が使用できないという状況下では、計画停電もやむを得なかったことになる。したがって、一つの電力によるシェアが 30%というのは危機管理上問題ではないかと考えられる。

一方、計画停電あるいは節電要請によって、2011 年夏の電力使用量は各地で約 20%程度削減されたことが新聞等で報じられている。このことは、必要となれば、

この程度の削減は可能ということである。逆に言えば、危機管理上、一つの電力源のシェアは20%程度以内に収めるという考え方ができるであろう。

実は、3.11 以前であるが、自然エネルギー各々が10～20%程度シェアすることによって、将来のわが国の電源のかなりの部分を供給できるというシナリオが提出されているのでそれを紹介したい。

自然エネルギーに関する諸団体が連携した自然エネルギー政策プラットフォーム（当初は任意団体であったが、2011年9月より、法人組織の、再生可能エネルギー協議会に発展）は、2050年に向けた、わが国の各自然エネルギーポテンシャルを評価した（3.11以前の段階において）。その結果、図3に示されるような、2050年に予測される電力需要のうち、67%は自然エネルギーで賄うことができ、太陽光、風力、中小水力、バイオマス、そして、地熱それぞれが10～20%程度のシェアであることが示されている（なお、この評価では、依然原子力には一定の役割を認めており、3.11の経験から見直すべきかもしれない）。



この中で、地熱は10.2%のシェアを示している。今後、省エネルギー、エネルギー利用の高効率化、あるいは2050年には、現在の人口の3分の2になるという人口減少等を考えると、地熱発電の寄与はさらに増えることも可能である。

特定のエネルギーに頼らず、多様な自然エネルギーが応分の貢献をすることによって、わが国の将来の電力の大半を賄うことができるのが望ましい姿と言える。エネルギーによっては、単独でもっと多くの寄与が可能な場合もあろう。地熱発電の場合も、より深部の高温岩体あるいはマグマからの熱エネルギーの利用を考

えれば、上述の 10%をはるかに超える数値を算出することができるが、エネルギーセキュリティの観点からは必ずしも得策とは言えない。もちろん、マグマからのエネルギー利用等に関する研究を今からでも進めておくことは、十分価値があると考えられ、研究は進めておくべきと考えられる。

上述のように、わが国は自然エネルギーのポテンシャルに恵まれている。ただ、それを開発利用していくうえで、特に政策的に十分な支援をしていく必要があると考えられる。

おわりに

わが国における地熱発電の現状と可能性について述べた。わが国は世界に冠たる地熱資源大国であるが、発電コスト問題、国立公園問題、そして温泉問題という三つの障壁により、十分に開発利用が進んでいない。エネルギー危機、地球温暖化、それに加えて、3.11以降のわが国のエネルギーに関する状況は、わが国のエネルギーを自然エネルギーに転換していくことを要請している。その中で、地熱エネルギーは、他の自然エネルギーに比べて、24 時間安定して発電可能という長所を持ち、また、一定の量的貢献も可能である。国による適切な政策的支援がなされれば、十分その責任を果たすことができると考えられる。

引用文献

- 1) Rybach, L. and Mongillo, M.: Geothermal sustainability - A review with identified research needs-, *GRC Transactions*, **30**, 1083-1090 (2006)
- 2) 宮崎芳徳, 津 宏治, 浦井 稔ほか: 全国規模地熱資源量評価の研究, 地質調査所報告, **275**, 17-43 (1991)
- 3) 村岡洋文, 阪口圭一, 駒沢正夫ほか: 日本の熱水系資源量評価 2008, 日本地熱学会平成 20 年学術講演会講演要旨集, B01.
- 4) 日本地熱開発企業協議会, 地熱技術開発株式会社: 地熱発電—日本と世界の動向, 1-2 (2011)
- 5) 日本地熱学会 IGA 専門部会 (訳): 地熱エネルギー入門, 1-38(2006)
- 6) Bertani, R.: Geothermal power generation in the world 2005-2010 Update report, Proceedings of World Geothermal Congress2010, CD-ROM (2010)
- 7) 環境エネルギー政策研究所: 2050 自然エネルギービジョン, 「再生可能エネルギー展望会議」参考資料, 1-12 (2008)

VI「新段階」に入った世界の自然エネルギー開発

——進む国際社会の取り組み——

阿 部 博 光

はじめに

現在、世界の自然エネルギー事情は目まぐるしい変化の中にある。多くの国が普及に向けて政策を強化し、産業、投資などほとんどの分野で成長が続く。自然エネルギーの技術は予想を上回る速さで進化を続け、今や新たな主要産業として世界経済を引っ張っていく存在となった。さらに 2011 年 3 月の東日本大震災の影響で起きた福島第一原子力発電所の大事故は、そのような動きに拍車をかける結果となった。

自然エネルギー開発の流れが、もはや逆戻りすることはない。これまで普及のけん引役だった欧米諸国だけでなく、中国、インドなど新興国も技術開発でしのぎを削っているほか、エネルギーの恩恵をまともに享受できなかった国・地域にも普及が広がりつつある。こうしたグローバルな動きは、世界の自然エネルギー事情が新たな段階に入ったことをうかがわせるものだろう。

ここまで来た背景としては、国際社会に自然エネルギー開発に取り組むための枠組みが形成されてきたことが挙げられる。ここ数年、主要な国際会議では、地球温暖化やエネルギー安全保障の問題が深刻化しつつあることもあって「自然エネルギー」が決まって議論されるようになった。これに呼応する形で、各国政府も促進のための政策目標を定めたり、補助金や法整備などによる支援策を打ち出したりしており、これが自然エネルギー産業の自律的成長を促した。

また産業振興を目的とする国際的な団体も活動の勢いを増し、地域単位での普及に大きく貢献した。さらに「21 世紀のための自然エネルギー政策ネットワーク」(REN21)のような国境を越えた自然エネルギーの政策ネットワークも登場し、ついには自然エネルギーに特化した国際機関「国際再生可能エネルギー機関」(IRENA) が 2011 年 4 月に正式発足するに至った。

自然エネルギー開発が「新段階」を迎えた現在、今後の取り組み体制に注目が集まっている。特に IRENA は、世界の自然エネルギー開発の基盤としての機能を発揮できるのか。本文ではまず、世界の自然エネルギーに関する投資、産業、雇用などの現状を確認し、そのうえで国際社会の動向などに焦点を当てたい。後

半では IRENA の組織としての特徴を紹介し、国際機関として今後進む方向性などについて論じていきたい。

1 成長の勢い衰えず

(1) 変わる「勢力地図」

REN21 が発行した『自然エネルギー世界白書 2011』¹⁾によると、2010 年の自然エネルギーへの新規投資総額（大規模水力を含む）は 2110 億ドルとなり、前年（1600 億ドル）比約 32%の急増となった。新規投資総額は 2004 年で 220 億ドルだったことから、この 6 年間で約 10 倍に達したことになる。また大規模水力を除いた場合でも 2030 億ドルと初めて 2000 億ドルを突破し、成長の勢いが続いていることを裏づけた。

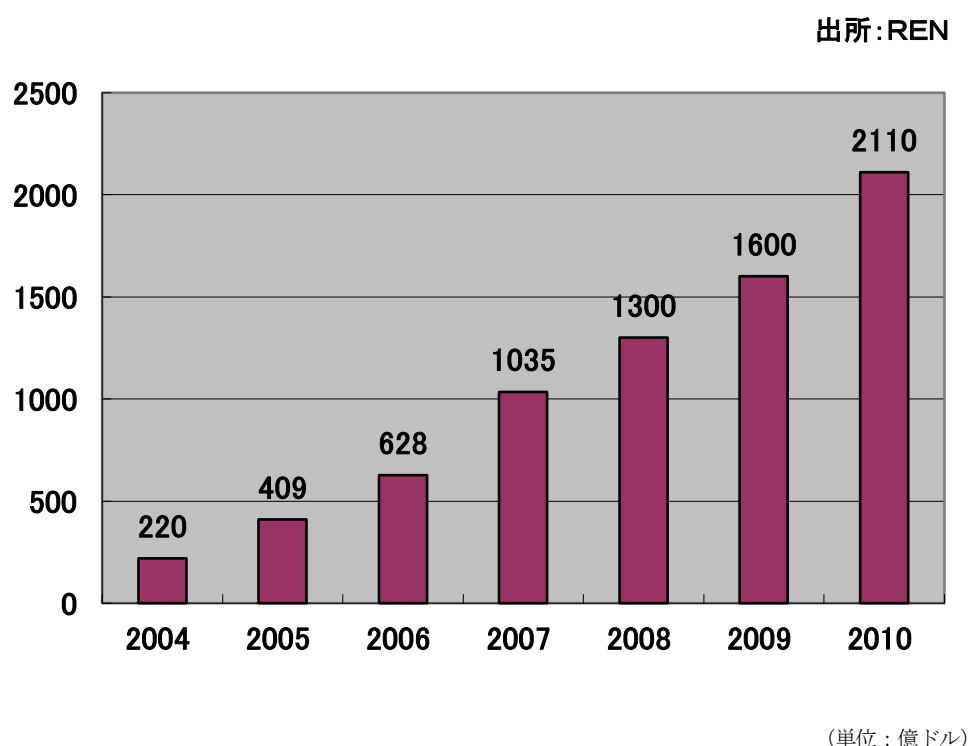


図1 世界の自然エネルギー投資額推移

一方、発電規模でみると、2010 年の世界の自然エネルギーによる発電容量（水力発電含む）は推定で 1320 ギガワット（以下:GW）となり前年比 9%増加した。これは世界の全発電容量である推定 4950GW の 26.6%を占め、電力供給量（同）では 20%近くとなる。このうち 2010 年に最も大きな伸びを示した自然エネルギーは、風力（39GW）で、世界全体の風力の発電容量は 198GW に達した。風力

エネルギー分野は、バイオ燃料分野とともに開発コストの低下が追い風になっているという。

また、このような自然エネルギーの急成長にともなって、新興国の市場進出が大きく目立つようになった。例えば風力エネルギーの場合、数年前まではデンマークのヴェスタスやスペインのガメサ、米国の GE、ドイツのエネルコンなど欧米メーカーが世界のシェアの大半を占め、これらメーカーが中国など自然エネルギー導入に前向きな諸国へ進出する傾向にあった。しかしハイテク技術を大きく向上させた中国メーカーが急激にシェアを伸ばし、2010 年時点では Shinovel Wind(華鋭風電)が 10.7%と GE(9.3%)を抜いて世界第 2 位に踊り出たほか、Goldwind (金風科技), Dongfang (東方電気), United Power (総合電力) が政治的な背景や安価な労働コスト・生産コストを理由に世界のトップ 10 に食い込んだ。

このような傾向は、風力発電だけでなく太陽光発電など他の分野でも目立っており、自然エネルギー産業における世界の「勢力地図」は大きく塗り替えられつつある。

産業	世界の雇用推計	各国別の雇用推計
風力発電	～63 万	中国 15 万／ドイツ 10 万／米国 8 万 5000／スペイン 4 万／イタリア 2 万 8000／デンマーク 2 万 4000／ブラジル 1 万 4000／インド 1 万
バイオマス発電	—	ドイツ 12 万／米国 6 万 6000／スペイン 5000
バイオ燃料	150 万超	ブラジル 73 万:サトウキビとエタノール生産
太陽熱温水	～30 万	中国 25 万／スペイン 7000
太陽熱発電	～1 万 5000	スペイン 1000／米国 1000
太陽光発電	～35 万	中国 12 万／ドイツ 12 万／日本 2 万 6000／米国 1 万 7000／スペイン 1 万 4000
水力発電	—	EU 2 万／米国 8000／スペイン 7000
地熱	—	ドイツ 1 万 3000／米国 9000
総計	350 万超	

表 1 自然エネルギーによる世界の雇用情勢 (2010 年)

自然エネルギー産業による世界の雇用者数も拡大の一途をたどり、2010年には推計で350万人を上回った。主な内訳をみると、バイオ燃料でブラジルに73万人の雇用が創出されたほか、風力発電で中国に15万人、ドイツに10万人、バイオマス発電でドイツに12万人、太陽熱温水で中国に25万人、太陽光発電で中国とドイツにそれぞれ12万人の雇用があった。

(2) 総合的な関与が奏功

このようなことから判断すれば、世界の自然エネルギー開発は成長軌道に乗ったといえるだろう。そして今や、世界の産業構造すら大きく塗り替えようとしているように思える。それは政治、企業、市民など多くのレベルで普及に向けての努力が総合的かつ着実に行われていたことが奏功したとみられる。

その一つが世界の政治・経済に大きな影響を与える国際会議の動きであろう。最近の例を挙げると、2011年5月にフランスのドービルで開催された主要国首脳会議（G8サミット）では「首脳宣言」の中で、各国は「自然エネルギーを含む効率的で持続可能な資源の使用を奨励するために様々な措置を採用することもまた極めて重要であると信じる」²⁾ことを確認し合った。またアフリカ諸国との協議の後に発表した「アフリカ共同宣言」でも、アフリカのエネルギーへのアクセスが限定されていることが経済発展、貧困削減を妨げていると指摘したうえで、自然エネルギー源に焦点を当てつつ、持続的なエネルギー・アクセスを確保する必要性を強調した³⁾。

このほか、先進国と新興国が集まって世界の経済問題を話し合う20カ国・地域（G20）首脳会議などでも自然エネルギーの重要性について認識を示している⁴⁾。さらには各国の閣僚クラスが集まってボン（2004年）や北京（2005年）、ワシントン（2008年）、デリー（2010年）で「自然エネルギー国際会議」を開催するなど、自然エネルギーの成長を「国際政治」が後押しするケースが、このところ目立つようになった。

これを受けて多くの国が政策目標を打ち出すようになるのは当然の流れだろう。なかでも発電量に占める自然エネルギーの割合を目標に定める国が目立ち、最も多いのが、「向こう10~20年以内に発電量の10~30%を自然エネルギーから賄うようにする」内容だという。現在は、少なくとも98カ国が何らかの目標を設定している。

これに加えて各国は発電促進政策を強化した。広く採用されている政策としては、初期投資補助・助成金、投資税額控除、そして自然エネルギーからの電力を一定割合購入することを義務づける「自然エネルギー割当基準」（RPS制度）、自

然エネルギーからの電力をコストに見合う価格で電力会社が買い取る「固定価格買取制度」(FIT) などがある。FIT は、技術革新を促進するほか投資を呼び込む効果が大きいため、促進策の中では最も普及し、少なくとも 61 カ国、26 の州・省が導入している¹⁾。

日本ではすでに家庭用の太陽光発電の余剰電力のみを電力会社が買い取る制度が導入されているが、2012 年 7 月からはあらゆる自然エネルギーからの電力を全量買い取る制度が施行される予定となっている。

一方、REN21 のような各国政府、国際機関、研究機関、事業者、NGO などが関与する「グローバルな政策ネットワーク」の貢献も目立った。幅広い分野から寄せ集めた経験、知識、人脈などを最大限に生かし、世界規模でフォーラムを提供しており、日本からは環境エネルギー政策研究所 (ISEP) が発足当初から理事を務めている⁵⁾。

REN21 が 2005 年から毎年発行する『自然エネルギー世界白書』は、世界の研究者ネットワークを活用して数千種のデータ、数百種類のレポート・資料、専門家の情報などを結集させ、自然エネルギーの現状、課題などを総合的にとらえている。白書作成などの活動に際して、独米など主要国政府は、国連環境計画 (UNEP) など国際機関が資金面で支援しているのも強みだろう。

このほか世界自然保護基金 (WWF)、グリーンピースなど世界を代表する環境保護団体、NGO も、自然エネルギー普及に向けて個々の活動に力を入れているほか、各国、各地域、または世界規模で自然エネルギーに関する業界団体が結成され、これらが各国・地域、国際機関などの政策に圧力をかける存在となっている。

2 IRENA の「役割」に注目

(1) 産油国も加盟

IRENA は、自然エネルギーの開発・普及をグローバルなレベルで進める国際機関として発足した。自然エネルギー開発自体はすでに、1990 年代から欧米諸国を中心に進み、2000 年代に入ってからはその動きが急速に拡大していたことから、IRENA の発足は遅きに失した感は否めない。しかし発展途上国を中心に、これから自然エネルギーの導入を本格化させようとする国も少なくない。このような国に対して財政的・技術的支援を行う基盤が整ったことは大きな意義があり、結果的に世界的な普及、経済成長に拍車をかけることになる。

2011 年の正式発足からさかのぼること約 2 年前の 2009 年 1 月、IRENA はド

イツのボンで設立総会を開いた。先進国、途上国の計 124 カ国と欧州連合 (EU) が参加し、このうち 75 カ国が設立のための文書「IRENA 憲章」に署名した。日本は米国などとともに設立総会にオブザーバーの立場で参加するにとどまったが、同年 6 月にシャルム・エル・シェイク (エジプト) で開かれた第 2 回会合で憲章に署名し、自然エネルギー普及のため国際的枠組みへの参加の意思を明確にした。同年 10 月 1 日までに署名国は 149 カ国にのぼり、うち 84 カ国で批准作業を終えている⁶⁾。

総会では国連事務局や UNEP など手腕を振るったケニア出身のアドナン・アミン氏が事務局長に任命された。任期は 4 年。また本部がアブダビ (UAE) に設置されることが決まったほか、ボンにテクノロジー・イノベーションセンター、ウィーン (オーストリア) に国際協力リエゾン・オフィスも開設されることになった。

IRENA の主要な組織は、総会、理事会、事務局に大きく分かれる。全加盟国が参加する総会は、最高意思決定機関に位置づけられ、毎年 1 回開催される。規約に関する重要案件を討議・決定するほか、理事会のメンバーを選出する権限を持つ。総会においては各国が 1 票を有し、手続き問題についての決定は加盟国の単純多数による議決で行い、実質事項についてはコンセンサス方式を採用する。なお第 1 回総会では、日本、米国、ドイツ、インド、韓国、UAE など 21 カ国の理事会メンバー (任期は原則 2 年) が選出された。

一方、理事会は、作業計画や予算案の検討および総会への提出、活動に関する年次報告案の総会への提出などを行い、会合は半年に 1 回の割合で開かれる。理事会メンバーはそれぞれ 1 票を有し、手続き問題は単純多数決、実質事項は 3 分の 2 以上の賛成で議決される。また理事会の下部組織として財政、ガバナンス・法務、政治・戦略の 3 委員会の設置が決まった。

そして事務局は、総会や理事会、下部組織が円滑に機能するよう支えていくことになる。事務局長および必要な職員によって構成されるが、任務の遂行にあたって、いかなる政府や機関のいかなるところからも指示を求めたり受けたりしてはならない。

また、予算は各国の義務的な分担金と、任意の拠出金などを財源とする。義務的な分担金は国際連合の分担率に基づいて調整が行われ総会で決定された。2011 年 4 月の第 1 回総会に提出された「2011 年の作業計画および予算の決議案」によると、2011 年の主要な活動・運営予算は総額で 1326 万ドルとなり、日本は国連分担率 (12・530%) をベースに調整・算出した比率 15・175%にあたる 201 万 2175 ドルの拠出を求められた⁷⁾。

これからの時代、深刻なエネルギー不足が到来する可能性が指摘されている。原因としてまず挙げられるのが、世界人口の爆発的増加である。世界の人口は2050年には100億人に達すると推定される⁸⁾。さらに中国、インドをはじめとする多くの新興国の工業化がいちだんと進み、エネルギー需要はますます拡大する。まして化石エネルギーは地球温暖化を悪化させるため積極的に使用できない。

特に石油に関しては、早ければ今世紀半ばにも掘り尽くされてしまうとの予測も浮上するなど化石エネルギーの枯渇に対する懸念は強い。IRENA 憲章に署名した国の中に、UAE のほか、イラン、イラク、クウェートなど主要な産油国が含まれるのも、このような危機感が根底にあるとみられている。

そして、再生可能であるうえ地球温暖化にもほとんど影響を及ぼさない自然エネルギーに注目が集まったのは当然の成り行きだった。さらに福島原発事故は、原発に「安全」という言葉は無縁であることを世界中に知らしめる結果となり、これを受けて多くの国が原発政策を見直す方針を打ち出した。つまり IRENA は、世界の自然エネルギー開発の旗振り役としての地位を確立させ、普及を早急に進める必要が出てきたのである。

(2) 世界の調整役に期待

IRENA は「活動目標」として①エネルギー安全保障の強化、②持続可能な開発の支援、経済成長の促進—など5項目を挙げている⁹⁾。しかし発足して間もないこともあって、具体的な内容が見えてこない。ヨーロッパの風力発電事業急成長のけん引役となった欧州風力エネルギー協会 (EWEA) のクリスチャン・ケール最高経営責任者 (CEO) は2010年3月、筆者がブリュッセル (ベルギー) で行ったインタビュー¹⁰⁾の中で、IRENA が世界の「政策の枠組み作り」の調整役になることに期待を表明した。

ケール CEO は、「ヨーロッパやその他の地域、すなわちインド、米国、中国など世界には (自然エネルギー開発で) 多くの経験を持った国がある」と指摘したうえで、国際機関として、各国が学んだ経験を情報として集約し、自然エネルギーへの魅力的な投資の枠組み設定に関してさまざまな可能性を見いだすことが主要な任務だとの見解を示した。「最も重要なことは、組織としてその知識を伝えることであり、自然エネルギーに関してグローバルな視点から政策を進め、行動に移していくことになる」(ケール CEO) という。

また既存の国際機関との連携も重要となる。現在、国際エネルギー機関 (IEA) がエネルギー分野を担当する国際機関として活動が続けている。石油を中心としたエネルギーの長期対策の検討などを行っているが、自然エネルギーが世界的に

注目されるようになってからは、同エネルギーの情勢分析なども行うようになった。今後 IRENA は、IEA と連絡を密にしながらも、自然エネルギーに特化した国際機関としての独自色を出す必要があるだろう。

また IEA だけではなく、国連環境計画（UNEP）や世界銀行などとも、「役割分担」を行う必要が出てきている。「役割」の重複を避けることが、国際機関同士の効率を上げるだけでなく、予算の無駄遣い防止にもつながるということを念頭に置く必要がある。特に現在は世界的な景気低迷が続いている。拠出金の一部または全額を支払えず、未払い分を持つ国が出てくる事態になれば、資金面から運営がスムーズにいかなく恐れもある。さらに、IRENA の設立が決まって以降、早くも政治的・官僚的な動きが出ていることに懸念の声も出始めており¹¹⁾、国際社会での「自然エネルギー体制」で IRENA がイニシアチブをとるのであれば、これらの課題を克服する必要があるだろう。

(3) アフリカ支援も課題

このような中、IRENA はまず、アフリカへの支援に着手することになった。アフリカでは 48 諸国が IRENA の設立条約に署名をしたが、このうち 28 カ国は 1 人あたりの年間の国民総所得（GNI）が 905 ドル（約 7 万円）以下であるなど、いわゆる後発開発途上国（LDC）である。現在、アフリカで電力供給を受けられる環境にない人は農村地域を中心に 5 億 8700 万人に達しており、このようなインフラ欠乏がアフリカの開発、経済発展を阻害し、また住民の学習、文化的生活を奪う結果にもなっている。電力を使用できない人は、主にエネルギー源を伝統的なバイオマスに頼っており、これが森林破壊、ひいては国民の健康問題を引き起こしていることも見逃してはならない。

それでは、なぜアフリカになかなか電力が普及しないのか。開発が遅れてしまうのか。IRENA 総会議長のスルタン・アーメド・アル・ジャベール博士（UAE）は「首尾一貫した政策、技術的・地域的・組織的な能力、実現可能なメカニズムや規制的枠組みが欠如しており、その結果、企業家や投資家にとって相対的に魅力の低い地域となっている」と指摘する¹²⁾。

また途上国の農村地域は、経済的な理由によるインフラ未整備などから電力系統への接続が困難なところが多い。このため自然エネルギー導入にあたっては、家庭用太陽光システム、小水力、発酵槽によるバイオガス、太陽光と風力の複合システムなど「独立型」が前提となる。つまりこの独立型がうまく機能し、教育向上や経済成長に結び付けることができれば、結果的に近代的な自然エネルギーシステム導入に結び付けることが可能になる。

IRENA は 2011 年 7 月、アブダビで「自然エネルギーに関するアフリカ・ハイレベル諮問フォーラム」を開催した。アフリカ諸国のエネルギー担当大臣や専門家のほか、アフリカ連合（AU）、国連工業開発機関（UNIDO）、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）、国連環境計画（UNEP）などの国際機関、インド、中国、ドイツ、フランス、日本、UAE など多くの国も参加した。

会議では自然エネルギーについての技術の普及、エネルギー創出能力の構築、資金調達などの側面について、集中的な協議を行い、コミュニケには、国際社会が知識、技術、適応力、政策などの面で具体的かつ現実的な支援を行うことを確認したうえで、自然エネルギー導入に際してどのような問題点があるかなどの評価を迅速かつ客観的に行う共同プロセス「自然エネルギー・レディネス」を策定することなどを盛り込んだ¹²⁾。

これによって、アフリカでの自然エネルギー普及プロセスが本格稼働する見通しがたった。しかしアフリカ諸国の中には、紛争などで政情不安に陥っている国も少なくない。貧困や人口増加など LDC 特有の問題も普及の阻害要因になるとみられる。IRENA としては、各方面からの支援を仰ぎながらアフリカに対する活動を継続させる必要があるだろう。



写真1 アブダビで開催された「アフリカ・ハイレベル諮問フォーラム」 （IRENA 提供）

おわりに

2012 年 6 月、気候変動枠組み条約締結などのきっかけとなった歴史的な国際会議「国連環境開発会議」（地球サミット）開催から 20 年が経過するのを機に、同

じ開催地のリオデジャネイロで「国連持続可能な開発会議」（リオ+20）が開かれる。自然環境の保全や天然資源の循環活用によって将来にわたる持続可能な経済成長を実現させようとする「グリーン経済」が主要テーマとなる見通しであり、国際社会の自然エネルギーへの取り組みについても議論されることは間違いない。

潘基文国連事務総長は 2011 年 9 月、国際機関、民間企業、市民団体などの高官・幹部ら約 30 人で構成する「すべての人々ための持続可能なエネルギーに関するハイレベル・グループ」を立ち上げた。ユムケラーUNIDO 事務局長とバンク・オブ・アメリカのホリデー会長が共同議長を務めるほか、ヴェスタス、国連開発計画（UNDP）、世界銀行などの幹部、そして IRENA のアミン事務局長らがメンバーに名を連ねた。

グループは、2030 年までに達成すべき目標として、近代的なエネルギーサービスへのユニバーサルなアクセス達成、エネルギー効率の 40%向上、さらに世界エネルギーの 30%を再生可能な資源から調達することを掲げており、これらはリオ+20 を見据えた動きと位置づけることができる。

国際社会が自然エネルギー開発に取り組む勢いは2012年も衰える兆しはない。むしろ拡大することが予想され、リオ+20 は、新しい段階に入った自然エネルギー開発を後押しする結果となるのではないだろうか。現在、欧州の「ユーロ危機」が世界的に波及し、世界経済に対する悲観的な見方が多くなった。それだけに急成長を続ける自然エネルギー産業への期待は強まるばかりである。

また日本では福島原発の重大事故を受けて自然エネルギーへの関心が急速に強まった。今後は日本企業の自然エネルギー開発に拍車がかかるのは必至であり、欧米、新興国に押されがちだった世界の自然エネルギー産業への参入が本格化することが予想される。これまで培った日本の高度な技術を自然エネルギー分野にうまく生かすことができれば、世界の産業構造をいちだんと変える可能性すら秘めており、自然エネルギーを取り巻く世界の情勢は、2012 年を「元年」として、まさに新しい飛躍を遂げることになるのではないだろうか。

注および引用文献

- 1) Ren21: Renewables 2011 Global Status Report.
- 2) 外務省 G8 ドーヴィル・サミット首脳宣言「自由及び民主主義のための新たなコミットメント」（仮訳）（グリーンな成長 37, 2011）.
- 3) 外務省 G8 アフリカ共同宣言「共有された価値、共有された責任」（仮訳）（経済発展及び環境 21, 2011）.
- 4) 外務省 首脳声明・ピッツバーグサミット（仮訳）「エネルギー安全保障及び気候変動 31」（2009）.
- 5) 21 世紀のための自然エネルギー政策プラットフォーム『自然エネルギー白書 2011 “Renewables Japan Status Report 2011”』p.6-7. (2011).
- 6) <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=cat&PriMenuID=46&CatID=67>（最終閲覧日：2011 年 10 月 1 日）.
- 7) IRENA: 'Draft decision regarding the Work Programme and Budget for 2011' (2011).
- 8) IRENA: 'IRENA VISION AND MISSION STATEMENT' (2011).
- 9) <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=cat&PriMenuID=13&CatID=9>（最終閲覧日：2011 年 10 月 4 日）.

- 10) 阿部博光『大分発 自然エネルギー最前線 自給率日本一の実力』（大分合同新聞社，2011）
- 11) <http://www.taro.org/2010/08/post-798.php>（最終閲覧日：2011年9月20日）.
- 12) IRENA: 'IRENA Hosts High-Level Africa Consultative Forum on Renewable Energy, Abu Dhabi, UAE, 8-9 July' (2011).
- 13) IRENA: 'Abu Dhabi Communique on Renewable Energy for Accelerating Africa's Development' (2011).

執筆者のプロフィール

第Ⅰ章：和田 武

1941 年生まれ，日本環境学会会長，工学博士，環境保全論・資源エネルギー論
著書に、『拡大する世界の再生可能エネルギー』（世界思想社，2011 年）他

第Ⅱ章：歌川 学

1964 年生まれ，産業技術総合研究所，工学博士，機械工学，環境工学
著書に、『地球温暖化交渉のゆくえ』（共著，大学図書，2007 年）他

第Ⅲ章：豊田陽介

1977 生まれ，社会学修士，NPO 法人気候ネットワーク，環境政策
著書に、『地域資源を活かす温暖化対策』（共著，学芸出版，2011 年）他

第Ⅳ章：石田 茂資

1956 年生まれ，博士（工学），（独）海上技術安全研究所洋上再生エネルギー開発系，
洋上風力発電，船体運動学

第Ⅳ章：南 佳成

1970 年生まれ，（独）海上技術安全研究所洋上再生エネルギー開発系，潮流発電，シス
テム工学

第Ⅴ章：江原幸雄

1947 年生まれ，理学博士，九州大学大学院工学研究院，地球熱システム学
著書に、『火山の熱システム』（権歌書房，2007 年）他

第Ⅵ章：阿部博光

1959 年生まれ，別府大学准教授，環境エネルギー政策
著書に、『大分発自然エネルギー最前線』（大分合同新聞社，2011 年）

2012 年 7 月 1 日

日本科学者会議 JSA e マガジン編集委員会
The Japan Scientists' Association (JSA)