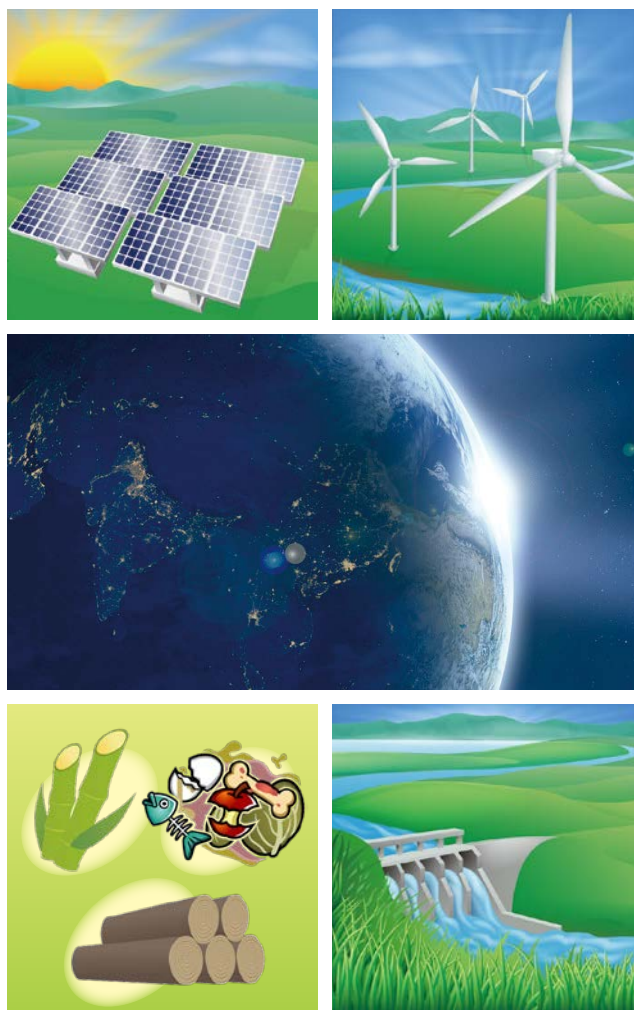


「中部圏における再生可能エネルギーの 利用拡大に関する調査研究」 報告書



2017年4月

公益財団法人 中部圏社会経済研究所

はじめに

ポスト京都議定書として国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）で、いわゆるパリ協定が採択され、これまで温暖化ガス排出削減に消極的であった発展途上国も前向きな姿勢に変わり、先進国の実行性と貢献度が益々重要になりつつある。我が国は、石油危機以来省エネルギー化に絶えず努力して、国内総生産（名目GDP）あたりのエネルギー消費は先進国で最も低いレベルの社会を築いてきたにもかかわらず、諸外国からは消極的との非難を受け、さらなる温暖化ガス排出削減が求められている。日本政府ではエネルギー基本計画を策定し、「乾いた雑巾を絞る」例えのような革新的技術開発を推進している。ところが今年初めに樹立した米国のトランプ政権では、温暖化問題を否定的に捉え、パリ協定離脱と温室効果ガス排出削減政策を転換しつつある。温暖化の真偽はともかくとして、ここしばらくは国際的駆け引きや混乱が続くと思われるが、温暖化問題に対する関心と活動がここまで世界規模で拡大してきた潮流が、停滞することはないと考えられる。むしろ温暖化問題は、かつての化石エネルギーに一辺倒であった経済成長と社会システムの在り方を再考し、化石エネルギー消費の抑制と環境保全を全世界で推進する契機になりうる。また、これまで培ってきた日本の環境エネルギー技術のビジネスチャンスとも捉えることができる。

このような動向の中、中部圏は製造業が多く、名目GDPは首都圏に次ぎ近畿圏と同程度の規模にあり、エネルギー消費量ひいては炭酸ガス排出量もそれだけ多いことになる。日本の削減目標値は現状通り継承されるならば、2030年には2013年比で温室効果ガス26%削減、2050年には80%削減という高い値に設定されている。この目標を達成しようとするれば、中部圏において省エネルギーだけではカバーすることはできず、再生可能エネルギーの導入も相当量に及ぶことは論を待たない。中部圏では産官学あげて再生可能エネルギー事業を大規模に誘致し、また、自治体が先導して実施してきた事例が、他の地域と比べてこれまで少なかった。今後の積極的な推進のためには、中部圏での再生可能エネルギー賦存量や利用可能量を把握しつつ、地域性を考慮して導入が見込まれるシステムの調査をしておくことが必要となる。

そこで、2016年度に「再生可能エネルギー利用研究会」を立ち上げ、本研究会委員間の情報交換、情報収集、見学会等の活動を通して再生可能エネルギー技術の動向ならびに、中部圏9県（富山、石川、福井、長野、岐阜、静岡、愛知、三重、滋賀）における再生可能エネルギーの導入ポテンシャルを調査してきた（※）。

本報告書では第1編で国内外における再生可能エネルギーの利用について概観し、第2編で中部圏における再生可能エネルギーの導入実績、導入ポテンシャルの調査結果を報告し、第3編で中部圏においてそれぞれの再生可能エネルギーの利用拡大を図るために検討すべき課題や導入が期待されるシステムを提言するとともに、再生可能エネルギーをエクセルギーの観点から見た場合の利用システムの考え方と再生可能エネルギーを利用する

地域システムの理想像として想定される将来構想案を例示して提案をおこなうものである。
※調査対象は太陽、風力、地熱、バイオマス、小規模水力に絞り、統計データが得にくい
波力や潮力等は除外した。

2017年4月

公益財団法人 中部圏社会経済研究所

再生可能エネルギー利用研究会委員（50音順）

座長 岐阜大学大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻教授 板谷 義紀
信州大学工学部機械システム工学科准教授 飯尾 昭一郎
岐阜大学大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻教授 神原 信志
岐阜大学フェロー 栗林 志頭眞
岐阜大学大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻准教授 小林 信介
岐阜大学工学部機械工学科機械コース教授 高橋 周平
名古屋工業大学大学院電気・機械工学専攻教授 長谷川 豊
広島大学大学院工学研究院エネルギー・環境部門教授 松村 幸彦

（事務局）

公益財団法人中部圏社会経済研究所代表理事 藤井 良直
公益財団法人中部圏社会経済研究所常務理事（事務局長） 有本 誠二
公益財団法人中部圏社会経済研究所企画調査部部長 梅田 良人

目 次

はじめに

第1編 国内外における再生可能エネルギー利用について

- 第1章 我が国の再生可能エネルギー利用の現状と課題 1
(広島大学大学院工学研究院 エネルギー・環境部門 教授 松村 幸彦)
- 第2章 再生可能エネルギー利用の先進事例 7
(広島大学大学院工学研究院 エネルギー・環境部門 教授 松村 幸彦)

第2編 中部圏における再生可能エネルギーについて

- 第3章 中部圏における再生可能エネルギーの特徴と導入ポテンシャル 16
(岐阜大学大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻教授 板谷 義紀)
- 第4章 中部圏における再生可能エネルギー利用設備の導入実態と課題 35
(岐阜大学大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻教授 板谷 義紀)

第3編 中部圏における再生可能エネルギーの利用拡大に向けた提言

- 第5章 中部圏における太陽光発電の利用拡大について 54
(岐阜大学フェロー 栗林 志頭眞)
- 第6章 中部圏における風力エネルギーの利用拡大について 63
(名古屋工業大学大学院電気・機械工学専攻教授 長谷川 豊)
- 第7章 中部圏におけるバイオマスの利用拡大について 78
(岐阜大学大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻准教授 小林 信介)
- 第8章 中部圏における小規模水力の利用拡大について 98
(信州大学工学部機械システム工学科准教授 飯尾 昭一郎)
- 第9章 再生可能エネルギーを利用する上での課題と新技術について 111
(岐阜大学工学部機械工学科機械コース教授 高橋 周平)
- 第10章 再生可能エネルギーを活用する街づくりについて 123
(岐阜大学大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻教授 神原 信志)

おわりに

第1編 国内外における再生可能エネルギー利用について

第1章 我が国の再生可能エネルギー利用の現状と課題

本章では我が国の再生可能エネルギー利用の現状と課題について紹介する。特に政策の変遷とそれに伴う再生可能エネルギーの導入状況を議論する。

1. 1 我が国の再生可能エネルギー利用の現状

再生可能エネルギーとは枯渇することなく使い続けることのできるエネルギーのことであり、主として太陽光、風力、水力、バイオマス、地熱が挙げられ、このほかにも潮力、波力などのエネルギーが含まれる。これらのエネルギーは地熱と潮力以外は太陽光に起因しており、化石燃料や原子力とは異なり、エネルギー資源を使い尽くしてしまうことがない。

我が国で再生可能エネルギーの利用が大きく注目されたのは石油危機の時であり、この時に新エネルギー促進法が制定され、太陽光、風力を初めとする新エネルギーの導入が推進された。しかしながら、石油危機が終了すると、経済的な利点が得られず再生可能エネルギーの利用は下火となった。その後、石油代替燃料の重要性は指摘され、新エネルギー促進法は継続されたものの、我が国の再生可能エネルギー利用はほぼ水力発電と黒液利用のみとなり、その比率は低いままに留まってきた。

1997年に京都議定書が発効すると、エネルギーコストからではなく、温室効果ガス排出抑制の観点から再生可能エネルギーの導入の必要性が認識された。新エネルギー促進法の政令改正がなされて、バイオマスと氷雪エネルギーが新エネルギーに追加され、さらに2002年6月には「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」（以下「RPS法」という。）が公布された。さらに「揮発油等の品質の確保等に関する法律」によるバイオエタノールの導入、電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法等の一部を改正する法律（以下「FIT法」という。）などの政策を通して再生可能エネルギーの導入が進められている。

再生可能エネルギーの導入はエネルギー基本計画上でも認められており、「第2章 エネルギーの需給に関する施策についての基本的な方針」では「現時点では安定供給面、コスト面で様々な課題が存在するが、温室効果ガスを排出せず国内で生産できることからエネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で、重要な低炭素の国産エネルギー源である」と位置づけられており、2009年8月に策定した「長期エネルギー需給見通し（再計算）」にある2020年の発電電力量のうちの再生可能エネルギー等の割合である13.5%（1,414億kWh）、2010年6月に開催した総合資源エネルギー調査会総合部会・基本計画委員会合同会合資料の「2030年のエネルギー需給の姿」（2030年の発電電力量のうちの再生可能エネルギー等の割合である約2割（2,140億kWh）を越える水準の導入を目指すこととなって

いる。また、「第3章 エネルギーの需給に関する長期的、総合的かつ計画的に講ずべき施策」の中では、「再生可能エネルギーの導入加速～中長期的な自立化を目指して～」という節が設けられている。

現在、再生可能エネルギーの1次エネルギー供給に占める割合は、水力とそれ以外とを合わせて12%程度となっている。

1. 2 再生可能エネルギーの必要性

戦後はエネルギー資源そのものの需要に対して薪炭が、石油危機時にはエネルギー価格の高騰に対して各種新エネルギーが求められたのに対し、現在、再生可能エネルギーは地球温暖化・気候変動問題への対応として求められている。このため、これまでのようにエネルギー供給が潤沢になったから、エネルギー価格が安価になったからといって導入を止めるわけにはいかず、地球温暖化・気候変動問題を解決するために再生可能エネルギーへの移行が世界的に求められる状況にある。

地球温暖化問題は赤外線を吸収する温室効果を有する気体によって引き起こされる。その代表的なものは二酸化炭素であり、特に人間活動によって発生する二酸化炭素の量は近代化してから指数関数的に増加している。この温室効果ガスが地球温暖化・気候変動を引き起こすのは以下に述べるしくみによる。

地球は太陽から太陽光の形で熱を受け取っている。熱を受け取り続けているにも関わらず、地球の温度がほぼ一定に保たれているのは同じだけの熱量を地球が宇宙に向けて光の形で放出しているためである。ところで、地球が受け取る太陽光の大部分は可視光であり、地球が放出する光の大部分は赤外線であるという違いがある。大気中に二酸化炭素のような温室効果ガスがあると、地球から宇宙空間に向けて放出される赤外線の一部はこれらの分子に吸収されてしまう。赤外線を吸収した分子は、同じ量の赤外線を放出するが、その方向はランダムとなり、必ずしも宇宙空間に向けては放出されない。このため、赤外線の一部は地球に戻されることとなり、正味で地球が放出する熱量が減少してしまう。わずかずつではあっても受け取る熱量よりも放出する熱量が小さくなるので、地球に熱量が蓄積し、全体としては地球の気温が上昇する。

気温の上昇は氷河の後退や北極や南極の氷の融解を招くだけでなく、局所的には寒冷化したり、降水量が変化したりすることが予測されており、これらも含めて気候変動問題と呼ばれる。

地球の平均気温が上昇していることが確認され、各地でその影響が確認されたことを受けて、1997年には京都議定書が締結された。これは、先進国が2008年から2012年の間に温室効果ガスの排出量を1990年比で各国の定められた割合削減するというものである。この約束期間は終了したが、その後も温室効果ガスの排出量は増加を続け、平均気温も上がり続けるとともにその大きな悪影響が予測されるとともに、大規模なハリケーンや竜巻の発生が深刻化したことなどを受けてさらなる温室効果ガスの排出抑制への機運が世界的に高

まった。2015年には、第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）においてこれまで、温室効果ガスの排出を行ってきたのは先進国であるという理由から排出抑制に協力的ではなかった発展途上国も、その経済成長によって影響が無視できなくなったとして、共同で温室効果ガスの排出を抑制する枠組みが構築された。これがパリ協定であり、各国での批准が進んで2016年には発効、我が国も対応が求められている。

1. 3 政府の目標

現在、再生可能エネルギーは温室効果ガスの削減のために導入が求められている状況であり、これに関する導入目標は当初地球温暖化対策大綱で閣議決定の形で定められた。その後、再生可能エネルギーの導入普及とともにこの目標は上向きに修正されてきている。上述の通り、温室効果ガスの削減目標はパリ協定において提出されており、2030年に2013年比で26%削減することとなっている。2013年のエネルギー起源の温室効果ガス排出量は二酸化炭素換算で11.9億tであり、削減量は3.09億tとなる。これはひとり再生可能エネルギーのみによって達成されるものではなく、省エネルギーや原子力エネルギーによっても達成されることを目標としている。

エネルギー基本計画では2030年には省エネルギーを原油換算5,030万kL行うこととし、1次エネルギー供給は489百万kLを見込んでいる。この内訳として、原子力を10～11%程度、再生可能エネルギーを13～14%程度を想定し、この両者を合わせたものをエネルギー自給率として24.3%程度とすることとしている。即ち、再生可能エネルギーは2030年に63.6～68.5百万kL導入することとなる。

また、この1次エネルギー供給の中で電力部分についてはさらに検討が行われている。電力需要も1,961億kWh程度の節電を行って9,808億kWhとすることとし、その電源構成の20～22%程度は原子力、22～24%程度は再生可能エネルギーとしている。このために発電しなくてはならない電力量は10,650億kWhとし、この電源構成については再生可能エネルギーの内訳も示している。水力が8.8～9.2%程度、太陽光発電が7%程度、風力発電が1.7%程度、バイオマス発電が3.7～4.6%程度、地熱発電が1.0～1.1%程度である。それぞれの発電量は、水力発電が940～980億kWh、太陽光発電が750億kWh程度、風力発電が180億kWh程度、バイオマス発電が390～490億kWh程度、地熱発電が110～120kWh程度となる。

これらの値は第4次エネルギー基本計画の内容を踏まえて策定されているが、単に再生可能エネルギーを入れられるだけ入れるということではなく、3E+Sと呼ばれる、エネルギーの安定供給（energy security）、環境適合（environment）、経済効率性（economic efficiency）、安全（safety）の観点から定められたものである。確かに現在温室効果ガスの排出削減が求められているが、だからといって二酸化炭素を出さない原子力発電を100%にしては福島原発のような事故があった時の国民の安全の問題が生じる。コストをかければ再生可能電力を100%にすることもできようが、電力価格が現在の2倍、3倍となっ

ては経済的に大きな問題が生じる。石油のような価格変動の大きいエネルギー資源による発電は避けることが望ましい。3E+Sの観点を考慮することによって、現実的なリスクを避けた電源構成が実現される。その中で、再生可能電力が4分の1から5分の1を占めていることは、再生可能電力の今後の重要性を示すものである。この実現に向けて各種の政策が今後、立案、実施されていくことになる。

1. 4 再生可能エネルギー電気の導入

再生可能エネルギーの導入が大きく進められているのは電力分野である。ここではどのような取り組みによって再生可能電力が導入されてきたかを確認する。

もともと我が国の発電の大部分は再生可能エネルギー電気である水力発電によって得られていた。しかしながら、電力需要が多くなってダム建設適地が得られなくなると、石油を燃焼して発電する火力発電が多く導入され、さらに国策として準国産エネルギーと言われる原子力発電が導入されるにあたって、京都議定書が締結された1997年には水力発電は800億kWhと、全体の発電量の8%程度まで低下してしまう。この時点で再生可能エネルギー電気としては、このほかに製紙工場で発生する黒液を再生ボイラで燃焼発電した電力が用いられており、これは発電量全体の1%程度を占めていた。

京都議定書の締結に伴い、二酸化炭素排出量を6%削減する必要が生じ、これに伴って再生可能電力をさらに導入することが求められた。無論、エネルギー分野であれば用途は問わないのだが、電力は大規模に発電、利用されており、事業者も限られているために導入が比較的容易と考えられた。

この再生可能エネルギー電気の導入は2002年6月に施行されたRPS法によって大きく進められた。RPS法は電力事業者にその販売する電力の一定割合を再生可能エネルギーを用いて生産された再生可能電力とすることを義務づけるものである。その割合は政府が決定し事業者に割当てることとして、年々引き上げられるものとされた。各電気事業者はそれまでに行っていた太陽光発電の買取をRPS対応を見なした他、再生可能エネルギー電気を付加価値を付けて買い取る形を取ると同時に、各電力会社の石炭火力発電所でバイオマスを混焼することによって自らの発電電力の一部も再生可能エネルギー由来とする対応を取った。

しかしながら、このためのコスト増加を電力会社が負担するやり方では対応しきれず、電力会社はRPS電力の導入目標の引き上げには消極的であった。当初は当該年度の目標値よりも多くの再生可能電力を発電していた電力会社だが、やがて前年度からのバンキング量を利用したり未達を翌年度に繰り越すようになり、この方法での再生可能電力の導入には限界が確認されるようになった。

これに対して海外、特にドイツで有効性が確認されていた固定価格買取（FIT）が導入された。FITは、電力事業者に再生可能電力を生産した事業者から電力を政府の設定した高い値段で所定の期間買い取ることを義務づけるしくみである。そのための経費は電力事

業者が販売電力価格に上乘せして、賦課金という名目で徴収することとなっている。政府は、再生可能エネルギー電気が適正に製造されているかを確認して認定を行うとともに、その買取価格を適正な金額に設定する。ただし、このしくみでは再生可能エネルギー電気が入れば入るほど賦課金が増えて電気価格が上がってしまう。本来の趣旨としては、FITは未来永劫高価な再生可能エネルギー電気の導入を義務的に行うものではなく、初期の導入を促進することで発電技術の発達と安価な発電技術、システムの普及を行って再生可能エネルギー電気を安価に生産できるようにするためのものである。

1. 5 我が国の再生可能エネルギー利用の課題

我が国における再生可能エネルギー利用は、3度ブームがあったと言われる。1度目は戦後すぐで、海外からのエネルギー供給が途絶えた時に、薪炭を利用して生活が行われた。しかしながら、サンフランシスコ講和条約の後に、海外から石油や石炭が輸入されるようになって再生可能エネルギーの利用は下火になった。2度目は石油危機の時で、石油価格の高騰に対して、再生可能エネルギーを安価なエネルギー源として利用する試みがなされた。しかしながら、石油価格がもとに戻るとその動機付けはなくなり、再生可能エネルギーの利用は下火になった。3度目は今回の再生可能エネルギー利用であり、地球温暖化のために化石燃料をこれ以上使うべきではないとし、再生可能エネルギーの導入が進められている。このため、化石燃料が安価に得られる状態であっても導入を続ける必要がある。

とはいっても再生可能エネルギーは経済的には化石燃料に劣ることが多い。安価に利用できる特定の水力発電や廃棄物を利用する黒液などを除けば、通常再生可能エネルギーの利用は化石燃料の利用よりも高コストとなる。このため、政策によるインセンティブの導入が必要となる。再生可能電力についてみたRPSやFITなどはその例である。

また、再生可能エネルギーは変動性という大きな問題を抱えることが指摘されている。太陽光は晴れた日の昼間であれば1㎡あたり1kWのエネルギーを得ることもできるが、雲が出ると太陽光設備の出力は大きく低下し、雨の日や夜間には出力を得ることは難しい。風力発電も同様で、風が吹き続けていれば一定の電源として期待できるものの、風は吹いたりやんだりするためにその発電出力は大きく変動する。このような変動は電力系統に大きな問題となり、系統の大きな部分を占めると電圧や周波数の変動につながる。また、その変動に対応するための予備電源のために設備費用が大きくなる。バイオマスのような化学エネルギーであれば変動性は抑制されるが、それでも稲わらのように秋にのみ発生する場合や、藻の栽培のように夏場には多くの成長が見込めても冬場には生産量が減少するなどの季節変動は問題となる。

変動への対応には電力の形であれば蓄電池の利用が求められ、燃料の形であれば貯蔵設備が必要となる。しかしながら、これらはいずれも再生可能エネルギー利用の更なる高コスト化につながる。電気自動車や家庭用に用いられる蓄電池はまだ高価であり、電力を1度貯蔵して取り出すとその値段がおよそ倍になるような価格となっている。

このため、再生可能エネルギー導入にあたっては二酸化炭素排出抑制などの環境影響効果が経済的な見返りにつながるようなしくみの導入が求められる。従来は再生可能エネルギーを利用して環境によい発電を行っても、それが経済性に反映されず環境に対する価値は外部価値と呼ばれていた。環境によい発電を行うことで経済的な利益を出すしくみを導入することを外部価値の内部化と呼ぶが、上記のRPSやFITの他、排出権取引、炭素税、補助金など各種の方策がある。欧州ではこれらの有効性が示されており、我が国においてもこれらの方策を適切に用いエネルギー価格が高騰しすぎることのないように再生可能エネルギーの導入を進めることが求められている。

第2章 再生可能エネルギー利用の先進事例

本章では再生可能エネルギー利用の先進事例を紹介する。海外での先進事例としてドイツとデンマークの例を紹介した後、国内の事例を各再生可能エネルギーについて紹介する。

2.1 ドイツのFIT

再生可能エネルギー利用を進めるにあたってよく参考とされるものにドイツのFIT制度がある。FITは上述の通り、再生可能エネルギー電気を市場価格よりも高めの価格で購入することによって、再生可能エネルギー電気の導入インセンティブとするものであるが、ドイツにおいてはこれを用いて再生可能エネルギー電気の導入を大幅に促進することに成功している。特に、単純に買取価格を高めを設定するだけではなく一定の価格で買い取る期間を合わせて設定したことにより、事業の見通しがよくなり、多くの事業者の参画を得ることに成功した。太陽光発電やバイオマス発電が急速に導入されている。特に太陽光発電は35GW以上の設備が導入された。しかしながら、それに伴う問題もありドイツの事例からこれらを学ぶことは重要である。

FITの問題点は無理に高い価格で電力を購入するため、その資金を電力料金に上乗せして回収する必要があり、一般の電気利用者の電気代が上がることである。この、再生可能エネルギー電気買取のための上乗せ分を賦課金と呼ぶ。再生可能エネルギー電気の導入初期には、買取コストの総額はそれほど大きくないために、全電力販売量で割り戻せば、賦課金額は大きくならないが、導入割合が大きくなるにつれて賦課金の割合が高くなっていく。再生可能エネルギー電気を使わなかった場合の電力料金に対する割合が大きくなっていくと、国内の産業への影響も大きくなるため、大口産業用需要家に対しては賦課金の減免などを行っており、その分までも一般消費者が負担が増加することとなる。現在のドイツの賦課金は20%程度のかかなり大きな割合となってきた。負担が大きくなりすぎないように、ある程度導入が進んだら買取価格を下げっていくことになるが、20年程度の買取保証があるので、一度認定した買取の契約分は下げることができない。実際、太陽光発電の買取価格は当初の3分の1程度まで引き下げられているが、賦課金は20%となっている。

また、FITが社会に引き起こす影響も考慮する必要がある。バイオマス関連では、この再生可能電気に対応してメタン発酵の導入が進められた。その原料として、畜産糞尿が用いられたが、この場合、発生メタン量は少ない。このために、草類を栽培して原料とする生産系のバイオマスが原料として用いられるようになった。しかしながら、そのことは大規模な単一作物生産圃場の出現につながり、環境保全の観点から問題が提起された。

これらの問題に対応し適切な再生可能エネルギー電気の導入を促進する意味で、各種の条件が付帯されて来ている。例えば、バイオマス関連では大規模なプランテーションを抑制するために、発電出力が小規模なものしかFIT対象として認められなくなっている。また、単に電力利用を促す以上の効果を持たせるために、熱電併給も義務づけられている。

このような制限が、小規模高効率発電の需要を生み、ブルクハルト社やスパナー社のような小型ガス化発電技術を実用化する会社の活動につながるとともに、これらの技術が我が国にも導入されようとしていることは、FITの波及効果として理解するべきと考えられる。近年はFITから市場プレミア制度（FIP）への移行も進められている。

2. 2 デンマークの再生可能エネルギー

再生可能エネルギーの導入を積極的に進める国として、デンマークもよく紹介される。ドイツと並んで再生可能エネルギーの導入を進め、いくつかの面ではドイツに先んじているデンマークからも学んでいく必要がある。

デンマークは地球温暖化ならびにエネルギー安全保障の観点から2050年には化石燃料の使用をなくする目標を立てており、これに向けて各種の政策を導入、再生可能エネルギーの導入を図っている。化石燃料に8割のエネルギーを依存しているものの、再生可能エネルギーは残りの2割を占めるに至っている。再生可能エネルギーについては、国土面積に限界があることと、遮蔽物が少なく風力が利用しやすいことから、特に風力発電とバイオマス発電に力を入れている。

風力発電については、陸上の風力発電の導入が2000年までにかかなり進められ、その後、洋上風力の導入も進められている。日本で問題となっている騒音問題に対する規制も導入されており、住居までの距離についても規制がある。このことによってトラブルを抑制するとともに、風力発電の導入によって地域の住民に恩恵があるしくみを採用している。導入にあたっては補助金やFITが用いられたが、それと同時に、風力発電に投資できるのは地元の住民だけに限定するしくみや、入札洋上風力についても設置地域の住民が一定割合所有権を持っていることを義務づけるしくみなどを併用した。このことによって風力発電などが単純な投機対象とならず、地元で受け入れられて普及が促進される状況を実現している。

風力発電の問題のひとつは変動性であり、需要がないときに多くの発電が行われる場合には調整が必要となる。これについては国全体の送電をまかなう送電会社が調整を行うしくみを導入している。発電量が需要量を上回るときには発電を抑制するように発電会社に指示を出すとともに、ノルウェー、スウェーデン、ドイツなどとの電力の輸出入を一手にまかされており、余剰電力を輸出に回すなどの対応を行う。ただし、デンマークの電力が余剰である時には周辺国も余剰であることも多く、風力発電の発電量予測が重要となるとともに、場合によっては卸電力価格が負となる状況も生じている。電力は貯蔵が容易ではないことからこの負の価格の電力を有効利用する技術開発のニーズが生じており、水の電気分解による水素の生成や電気自動車の有効利用なども検討されている。

一方、再生可能エネルギーの大きな部分を占めるのはバイオマスである。バイオマスは再生可能エネルギーの7割程度を占める状況にあり、薪とわらと廃棄物燃料がほぼ3分の

1 ずつを占めている。その発電利用にあたっては熱電併給が多く、地域熱供給への対応を行っている他、小型熱電併給への優遇措置も取られている。熱需要が高いデンマークで熱利用を発電と合わせて進めることで、再生可能エネルギー全体の導入を進めている状況が見て取れる。一部では木質ペレットを輸入して用いているが、その大部分は農業残渣や国内の森林からの生産物でありエネルギー安全保障の観点で貢献している。また、気候変動対策として大規模石炭火力からの脱却も急速に進めている。

2. 3 太陽光発電

太陽光発電は各種の再生可能エネルギーの中で設置までの時間が最も短くてすむために、FITの導入でも力を入れて進められ最も高い買い取り価格が設定された。その結果、他の再生可能エネルギー電気に比較してFITとして1 番多く導入が進められている。特に、FITの買い取り価格が高く設定されていることから大規模太陽光発電を導入するメリットが大きく、従来にない規模の大規模太陽光発電の導入が進められた。これらの中でも、1 MW以上の発電出力のものをメガソーラーと呼び、我が国においては数百の導入が行われている。導入主体も電力会社、自治体、一般企業など各種の事例があり、導入場所も日本全国に広がっている。大きな設置面積が必要となるが、メンテナンスがほとんど不要であることからほぼ初期投資のみで運用ができる利点もある。ただし、出力の変動が大きく、このために電力系統の安定の観点からは電力会社の既存発電設備に大きな負担をかけることになる。電力の安定供給の観点から再生可能エネルギー電気の接続を制限する電力会社もあり、その導入は系統電力の安定という点で制限される恐れが高い。また、導入の進展に伴ってFITの買い取り価格が低く設定され、その導入速度も抑えられつつある。ここでは、関西国際空港に設置されたメガソーラーの事例を紹介する。

関西国際空港は、新関西国際空港株式会社によって運営されているが、スマート愛ランド構想という構想を策定、その一環としてメガソーラーの設置が行われた。太陽光発電の事業主は、ソーラーフロンティア株式会社と株式会社日本政策投資銀行の共同設立によるSF関西メガソーラー株式会社であり、関西国際空港から敷地と倉庫の屋根を借りた上で、太陽電池を設置、発電を行っている。借り上げた土地の面積は敷地が約96,700㎡、屋根が約23,000㎡であり、発電容量は11.6MWである。発電事業の開始は2014年2月1日で、年間の発電量として約1,200万kWhを見込んでいる。これは、一般住宅の年間電力使用量の約4,100世帯分に相当するという。発電した電力はFITで販売するが、その電力量は関西国際空港での使用電力の約7%に相当し、これによるCO₂削減量は年間約4,000tとしている。

発電容量11.6MWを借り上げた土地の面積の合計119,700㎡で割ると97W/㎡となる。地表における太陽光の強度は1㎡当たり1kWと言われるので、発電効率としては9.7%程度と低めの値ではある。一方、設備利用率は1,200万kWh/年を11.6MWで365×24h運転したとして得られる1億160万kWh/年で割って、11.8%となる。日本の平均設備稼働率は14

%程度と言われているので、これも多少少なめの値となっているが、発電効率から予想されるほどではない。これは、用いられている太陽電池の種類によるものと考えられる。

利用している太陽電池は銅、インジウム、セレンを主成分とする薄膜型のCIS太陽電池であり、温度が上がっても発電効率が低下しにくい特徴を有している。また、部分的に影がかかった場合でも出力低下が少ない特徴もあり、発電効率は低くても年間の発電量を確保することができる。また、シリコン太陽電池などと比較して太陽光反射が少ないという特徴もある。設置の時点でアジアの空港で最大級の空港発電所をうたっている。

2. 4 風力発電

我が国の風力発電は、強い風が継続して得られる土地が限られており必ずしも海外と比較して有利な状況にはない。また、経済的にもなかなか成立されることができず、FITの高い買い取り価格があって普及が進んできている状況にある。しかしながら、太陽光と比較して採算を取ることは必ずしも容易ではない上、落雷による破損、ブレード（回転翼）の風きり音、国立公園などの景観の問題などがあってその導入も限定的となっている。出力変動が大きいのも太陽光と同様であり、電力システムの安定確保の観点で問題となる。このため、やはり電力会社から制限をかけられることもある。風を遮るものが多い陸上に比べて洋上に設置することで比較的安定した出力を効率よく得られることから、洋上風力発電も進められているが、設置コストが陸上の場合の2倍程度かかるといった状況であり、漁業権の問題などもあって陸上と比べて今後のさらなる導入は限定的である。ここでは北条砂丘風力発電所の事例を紹介する。

北条砂丘風力発電所は鳥取県の中央に位置する東伯郡北栄町にあり、市町村直営で運営されている。地方自治体が直営する風力発電設備としては日本最大のものであり、1,500kWの風車が9機設置されている。日本海に面した海岸に伸びる砂丘にこれらの風車が海沿いに並んで設置されている。2005年11月に完成したものであり、比較的先駆的な事例としてとらえることができる。地上高さ70mでの年間平均風速が5.7m/sあることを生かしての発電事業であり、発電した電気はすべて中国電力に売電している。

風車はドイツのリパワー社のMD-77型であり、タワーの高さは65m、ブレードの回転面の直径は77mである。発電形式はプロペラ式で、水平軸・右回りの3枚のブレードによって風力を回転エネルギーに変え、これによって中心部のナセル（発電部）で発電を行っている。ブレードの位置はアップウィンドである。風力発電の場合には、風が強すぎても弱すぎても発電が困難となるが、この風力発電設備の定格風速は12m/s、低い方の運転限界であるカットイン風速は3m/s、高い方の運転限界であるカットアウト風速は20m/sである。1,500kWの風車が9機あることから、全体では13.5MWの定格出力となる。

事業費約28億円であり、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の補助金7億円に加えて、公営企業債で20.5億円をまかなっている。常に定格の風が吹けば13.5MWに365×24hをかけて得られる118,260MWhが発電量となるが、実際には年間推定発電電

力量が26,600MWh、年間推定売電電力量が23,900MWhとなっており、売電電力量を基準とした設備利用率は20.2%にとどまっている。実際にはFITの始まる前の導入であり、補助金も入っているのでFITで定められた金額での売電はできないはずだが、1 kWhの売電コストが20円だったとして事業性を計算すると、1年当たりの売電収入は4.8億円で単純に初期費用の28億円を4.8億円で割れば6年程度で元が取れる計算となる。

2. 5 バイオマス利用

バイオマスは他の再生可能エネルギーと異なり化学エネルギーの形態を取るために貯蔵性に優れる特徴がある。発生源によっては廃棄物あるいは未利用物として得られるので、システムをうまく構築すれば廃棄物処理コストの削減や未利用物の有効利用にもつなげることが可能となる。このため、太陽光発電や風力発電のような変動性の高い電力に対して需要のあるときに発電を行い、電力系統を安定させるために適した再生可能エネルギーとして重宝される。RPSが導入された時には、各電力会社は既存の石炭火力発電において石炭にバイオマスを混合して燃焼する混焼の形でバイオマス発電を行った。FITでも導入が進められているが、設備の新設が必要となるためにその導入は太陽光、風力よりも遅れている。ここでは、岡山県真庭市にある銘建工業のバイオマス利用ならびにこれを中心とした地域の取り組みについて紹介する。

真庭市の銘建工業は日本有数の製材工場であるが、製材を行った時におがくずやかんなくずが発生し、これを有効利用するためにRPSが導入されるより前に発電事業を開始、当初は所内電力をまかなうのに用いていた。その後、RPSが導入されたのでこれに対応、さらにFITへの対応を行って現在に至っている。直接燃焼発電でありバイオマスを燃焼して得られる熱で水蒸気を得、これを用いて蒸気タービンを回して発電するものである。水蒸気を作るボイラはタクマの木屑焚ボイラN-600H型で、270°C、1.7MPa（16kgf/cm²G）の水蒸気を20 t/h生産する。この蒸気を用いて得られる発電出力は1,950kWである。また、銘建工業の事業は発電だけにとどまらず、ペレット生産も行っている。木質ペレットは直径6～8 mm程度で長さが1 cm程度に木粉を圧縮成形したものでありストーブやボイラの燃料として利用される。大量の製材残材を用いて生産するために比較的安価に製造することができ、国内有数のペレット供給施設となっている。もともとの原料が製材工場が発生した残材であり、それまでは廃棄物として処理していたものであることから十分に事業性が得られている。また、大規模な製材工場であるために一定の発電規模も確保できている。バイオマスの直接燃焼発電は規模が小さいと効率が大きく低下するため、この点でも有利な運営が可能となっている。

注目すべきなのはこの取り組みを単に会社の取り組みに終わらせず、地域の活動として展開している点である。真庭市はバイオマスタウンの認証を得るとともに、銘建工業の活動を中心としてバイオマスツアー真庭を用意、銘建工業の他、エコ・ディーゼル燃料化事業、木質エタノールの生産実証プラントとE3自動車事業、木質コンクリートの製造な

どを組み合わせて、市外からの見学者を受け入れることから始めた。現在は、20名以上を対象とした実施で、8,000円の日帰りコースと15,000円の1泊コースが設けられている。地域の再生可能エネルギーを利用したエコツアーの先駆例であり、多くの見学者を受け入れ、専門のガイドを雇用するなど、地域の活性化に資する再生可能エネルギー利用を実現している。さらに、2015年6月からは真庭バイオマス発電ツアーを追加、2017年3月にはツアー10周年記念企画を開催するなど、その内容も拡充している。

2. 6 水力発電

水力発電は流れる水の落差を利用して水車を回し、発電を行うしくみであり古くは日本の電力の大部分をまかっていた。そのエネルギーのもとには太陽光によって蒸発した水が雨として高い地形に落下してたまったものであり、再生可能な発電技術である。しかしながら、安定した発電のためにはダム建設が必要であり、発電規模が大きくなるとそのために必要な水の流量も大きくなるために大規模なダムが求められ、大規模発電については適地がほとんど得られない状況にある。これに対して、近年農業用水などを利用する小水力発電の導入が進められている。川などの水には水利権があり、適切な手続きがもとめられるが、FITの対象ともなっており地域にある未利用の水力エネルギーを利用できること、一度設備を設置すれば長期間大きなメンテナンスなく無人でも発電ができることなどの利点から地域としての導入なども進められている。ここでは西粟倉村の事例を紹介する。

西粟倉村は岡山の東端に位置する人口1,500人程度の小さな村であるが、ここには1966年から小水力発電施設が設置され、発電が行われていた。吉井川と大海里川の水を水路を通して貯水、これを水力発電設備に落下させることで発電を行うものである。水路長はおよそ1.8kmであり、落差は69m、出力は280kWである。なお、用いている水車はフランス水車である。このような小水力発電は50年ほど前には各地に設置されていたが、設備が老朽化して休止しているところが多い。しかしながら、水力発電電力は再生可能電力であり、これを利用することができれば持続可能な社会の実現にも温室効果ガスの削減にも寄与する。西粟倉村の場合には休止はしていなかったが、老朽化が進行していたために村が主体となって改修工事を行った。発電機、熱機、水車の更新、基礎工事、電気設備更新、建屋の新設がその具体的な内容となる。2012年に設計、2013年には工事を完了、2014年には運用を開始した結果、出力は293kWと5%ほど増加し、FITの対象設備としての認定も得ている。使用する水量は0.55m³/sであり、年間発電量は254万kWhとなる。FITとして売電することによって年間7,500万円の収入が得られるようになった。工事にかかった費用は3億円ほどであり、単純に工事費用を売電収入で割れば4年で元が取れる計算となる。また、村の税収はおよそ1億4,000万円であり、この小水力発電による売電の収入は半分以上を占めることになる。

小水力発電を新たに導入しようとするると水利権の確保や新規施設の導入コストが問題となって困難が多いが、既存の老朽水力発電設備を改修することによってこれらの問題を避

けることができる。さらにFITの対象として売電収入が得られるようになれば、改修コストが数年で回収できる運用も可能となることがわかる。

2. 7 地熱発電

地熱発電は、火山地域などの地中の比較的浅いところまで高温になっている場所に水を送って蒸気を得、蒸気タービンを回して発電する技術である。比較的浅いといっても、地表温度が目に見えて高いわけではなく、最適地を見つけるのが困難であることが問題となっている。ボーリングで試掘を行う必要があるが、そのコストが高価であるためである。初期コストが高いため投資回収のためには時間がかかる。近年は比較的沸点の低い有機物やアンモニアなどと熱交換を行って、これらの物質を熱媒といて発電サイクルを回すバイナリー発電も導入されるようになってきている。この場合、高い水蒸気圧が得られない熱源温度であっても発電を行うことができるメリットがある。我が国においては20カ所程度の地熱発電所が存在するが、その総発電量は500MW程度にとどまっている。さらに、我が国においては温泉が重要な観光の柱となっており、地熱発電の導入によって温泉が出なくなる懸念もある。地熱発電の適地は火山の近くということになるが、この場合には国立公園の敷地内などに発電所を建設することになり、景観が損なわれるという反対意見もある。このためFITの対象となっているものの、その導入は他の再生可能エネルギーと比較して限定的なのが現状である。また、地熱を回収する蒸気回収管の中に各種の鉱物が析出して閉塞してしまうのも問題となっている。ここでは先駆事例として大分県の八丁原発電所を紹介する。

八丁原（はっちょうばる）発電所は大分にある日本最大の地熱発電所である。55MWの発電設備が2台と2MWのバイナリー発電設備が1台あり、合計で112MWと国内の総地熱発電量の5分の1を占める。1号機の運転開始は1977年6月で全国5番目、2号機の運転開始は1990年6月、バイナリー発電の運転開始は2006年4月である。最深で地下3,000mまで穴を掘り、蒸気を取り出している。この穴を蒸気井と呼ぶが、全部で31本あり、浅いものでも760 mである。発電所全体では890 t/hの蒸気を回収している。蒸気井を通して戻ってくる水は液体と水蒸気が混合した形となっているので、水蒸気部分のみを取り出して蒸気タービンに送っている。また、液体の水も高温であるので、これをより圧力が低い部分に導いて蒸発させて蒸気とし、この低圧蒸気も発電に用いている。これをダブルフラッシュシステムと呼ぶが、発電効率を20%ほど向上させる効果がある。

八丁原発電所の熱源はマグマだまりであるが、230～280℃の蒸気が地中にためられたものである。通常の石炭火力発電所では800℃程度の蒸気を使うことができ、温度が高いほど発電効率は高くなるが、八丁原発電所の場合は、どうしても発電効率が上げられない。比較的低温の熱で効率よく発電できる技術としてバイナリー発電が注目されている。八丁原発電所のバイナリー発電はイスラエルのオーマット社製の設備を用いており、熱媒としてはペントンをしている。ただし、熱力学的に低温の熱から取り出せる発電量には限

界がある。

地域との連携も進められており、関連会社を含めた雇用の創出の他、八丁原地熱発電所展示館をもうけて観光客の呼び込みを図っている他、工事の時の宿に地元の旅館を用いるなどの経済効果ももたらしている。

2. 8 再生可能エネルギー利用に求められること

前節までに、再生可能エネルギー利用の先進事例を紹介してきた。再生可能エネルギーは従来型の化石燃料または原子力と比較して高価になるために、適切な経済性を得る仕組みが求められる。先進事例からは制度として導入を義務づけるRPSや、固定価格買い取りで高い価格を設定するFIT、廃棄物を利用する処理コスト収入の利用、廃棄物を内部利用することによる処理コスト削減など様々な工夫がなされていることが見て取れる。逆に、このようなくみがあれば再生可能エネルギーの利用は限定的なものとなってしまう。

再生可能エネルギー利用に関してもうひとつ重要なのは太陽光や風力の変動性への対応である。特に太陽光と風力は、初期コストは高いものの一度導入すればメンテナンスや運転の費用はほとんど発生しないために導入が進められる状況にある。経済性を除いた時にその導入を妨げるもっとも大きな理由は変動性となる。太陽が出ている時や風が吹いている時だけ発電が行われるしくみは、系統の需要とのマッチングが難しく、電力系統の安定運転にとっては妨げとなる。このため、これらの再生可能エネルギー電気の受け入れを制限している電力会社もある。欧州では他の国への販売などを行っても捌ききれずお金を払って買ってもらおうネガティブコストも発生している。電力貯蔵が望まれるが蓄電池の価格がまだ高いために普及は進んでいない。CIS型太陽電池のように太陽光が多少弱ってもある程度の発電電力量が確保できるような設備なども求められる。

再生可能エネルギー導入にあたってもうひとつ考慮すべき要素は地域性である。再生可能エネルギーは地域特性の影響を受けやすく、例えば太陽光発電では低緯度で晴天の日が多い地域ほど有利となる。風力発電も瀬戸内海地方などでは風は弱く適地が少ない他、洋上風力を考えた場合には海岸線がなければ導入は困難となる。バイオマスについても森林が多ければ木質バイオマスが、都市部では下水汚泥などの廃棄物系バイオマスが多いなど地域特性に応じて対象となるバイオマス資源が変わってくる。さらに、再生可能エネルギーは希薄性のために小規模で運用することが多く、従来の大規模火力や原子力発電が大きい電力会社の主導で導入されたのに対し、再生可能エネルギーは地域の活動と密着した形で進められることが多い。地域に経済的な見返りが得られるような仕組みを考えていくことも、導入を進める上では必要である。真庭市のようにバイオマス設備を用いた見学ツアーを通して地元へ貢献するしくみや地熱発電の見学設備や工事関係者の宿泊などを通して地元へ貢献するしくみなどが使われている。

従来から再生可能エネルギーには、希薄性と変動性の問題が指定されているが、実際の

導入にあたってはこれらとも深く関連して、経済性、変動性、地域性を考えていくことが重要である。

第2編 中部圏における再生可能エネルギーについて

第3章 中部圏における再生可能エネルギーの特徴と導入ポテンシャル

再生可能エネルギーの種類と賦存量は地理的位置や地形、気象等の要因に依存して地域性のみならず時間的変動が大きく、再生可能エネルギー利用計画を図る上で種類ごとの賦存量とポテンシャルを把握しておくことが必須である。本章では中部圏9県における各県ごとの再生可能エネルギー利用上の特徴と環境省、NEDO、その他調査機関が提示している導入ポテンシャル調査を実施し、その概要を述べる。

3.1 これまでの中部圏における再生可能エネルギー利用の特徴

現在、日本全国で再生可能エネルギーを利用した設備の普及やエネルギー自給率の上昇を目指してそれぞれ地域ごとの自然環境や地形、資源などの特徴を活かした再生可能エネルギーの導入が行なわれている。中部圏には自動車産業を中心に数多くの工業地帯が広がり多様な企業が存在するため電力の使用量が多い。また、中部圏は日本海から太平洋まで縦断しており、平野部や山岳部、森林、溪流のある地形に恵まれているため太陽光発電や風力発電のための十分な敷地を有しており、森林資源、流水落差などの再生可能エネルギーを生かした電力供給にも適していると考えられる。そのため、今後中部圏においては再生可能エネルギーによるエネルギー自給率の上昇が期待でき、再生可能エネルギーの積極的な導入が望まれている。そこでまず、これまでに富山、石川、福井、長野、岐阜、静岡、愛知、三重、滋賀の中部圏9県において導入されてきた再生可能エネルギーの種類や供給量の特徴を述べる。

表3.1に中部圏9県における再生可能エネルギーの総供給量およびその内訳別の再生可能エネルギーの利用状況¹⁾を示す。

表3.1 中部圏9県における再生可能エネルギーの総供給量と内訳別の利用状況¹⁾

	総供給量 [TJ/年]	内訳 [%]							
		太陽光 発電	風力 発電	小水力 発電	地熱 発電	バイオマス 発電	太陽 熱利用	バイオマス 熱利用	地中 熱利用
富山	13,450	1.7	0.5	93.7	0	0.4	0.7	0	3
石川	5,554	2.8	38.1	47.9	0	2.4	1.8	0	7
福井	2,537	7.9	15.9	62.7	0	0.7	5.3	5.3	2.3
長野	17,401	7.6	0	81.1	0	0.4	4.3	0	6.6
岐阜	6,940	12.1	2.2	61.3	0	3.4	9.8	0.5	10.7
静岡	11,434	16	19.8	40	0	0.1	8.9	0.2	15.1
愛知	8,522	29.9	11.7	36.2	0	0	20.2	0	1.9
三重	4,504	19.2	24.4	20.6	0	0	9.3	14.4	12.1
滋賀	2,052	29.5	1	46.2	0	0	21.1	2	0.2

富山県

富山県は川の傾斜や年間を通した大量の雨や雪などによる水資源に恵まれているため、水力を利用した発電が盛んに行われている。中部圏において富山県の再生可能エネルギーの総供給量は2番目に多く、その9割以上を小水力発電が占めている。富山県では、2014年に再生可能エネルギーの導入促進によるエネルギーの多様化、エネルギーの効率的な活用の推進、エネルギー関連の研究開発の加速化を3本柱とする「富山県再生エネルギービジョン」が策定され官民一体の施策が進められている²⁾。

石川県

石川県の再生可能エネルギー供給量は中部圏では少ないが、全国的に降雨量の多い地域であるため、砂防ダムなどを生かした小水力発電が行われており県内の再生可能エネルギー総供給量の半分を占めている。また、奥能登を中心に好風況であるため風力発電も高い供給割合を占めている。さらに、森林資源を利用したバイオマス発電も再生可能エネルギーとして供給されている。石川県では2014年に「石川県再生可能エネルギー推進計画」が策定され、地域産業の振興、地域特性を生かしたエネルギー利用、自然環境、景観や生活環境との調和を方針とする取り組みが進められている³⁾。

福井県

福井県には原子力発電所が数多く存在し大量の電力を供給できるため、再生可能エネルギーの総供給量は少なかった。供給割合では小水力発電が多く、次いで風力発電、太陽光発電や太陽熱利用となっている。また、森林資源から得られるバイオマスの熱利用も再生可能エネルギーの供給源となっている。現在エネルギーの多様化を目的に地域主導型の再生可能エネルギー等の事業化促進事業を進め、さらに地域経済の活性化も含めた「1市町1エネおこし」を目標に再生可能エネルギーの導入事業が推進されている⁴⁾。

長野県

長野県は中部圏において再生可能エネルギーの総供給量が1番多く、全国的にもエネルギー自給率の高さが知られている。また、エネルギー自給率が100%を超える町や村が多く存在している。その中でも豊富な水資源や自然の地形を活かした水力発電の供給割合は群を抜いている。次に、牧草地やゴルフ場などの広大な跡地を活かした太陽光の利用による供給割合が続く。さらに、地熱利用も県内における再生可能エネルギーの供給源として貢献している。長野県では2013年に地球温暖化や環境エネルギー政策を統合して推進するため「長野県環境エネルギー戦略」を策定し、再生可能エネルギーの導入普及に力を注いでいる⁵⁾。

岐阜県

岐阜県は3,000m級の山々が並び、広大な濃尾平野には木曾三川が流れていることから、水資源を利用した小水力発電が再生可能エネルギーの供給量の6割程度を占めている。次いで太陽光発電や太陽熱利用が再生可能エネルギー源となっており、地中熱の利用も再生可能エネルギーの供給に貢献している。また、森林資源も豊富にあるため林業から発生するバイオマス発電による供給割合も高い。岐阜県では2011年に「岐阜県次世代エネルギービジョン」を策定し再生可能エネルギーだけでなく、燃料電池や蓄電池、電気自動車などの最先端のエネルギー技術を組み合わせるとともに持続可能なエネルギー社会の実現を目指す方針を打ち出している⁶⁾。

静岡県

静岡県の再生可能エネルギーの総供給量は中部圏において多い地域であり、内訳としては水力発電が最も多い。次いで風力発電、太陽光発電、地熱利用が均衡しており再生可能エネルギーの供給割合に大きな偏りが少ないことが特徴としてあげられる。静岡県では、2011年に「ふじのくに新エネルギー等導入倍増プラン」を策定し、自然資源を活かした新エネルギー先進県を目指して各発電についての2020年目標を定めている⁷⁾。

愛知県

愛知県における再生可能エネルギーの供給量の内訳は、小水力発電が最も多いものの、平野部が多く日照面積も広いため太陽光発電や太陽熱利用として太陽光を利用した再生可能エネルギーの供給割合も高い。また、沿岸部を中心に風力を利用した再生可能エネルギーの供給割合も高くなっている。愛知県では2012年に低炭素社会を実現するため「あいち地球温暖化防止戦略2020」を策定し、2020年までの住宅用および事業用太陽光発電などの設置目標や太陽熱利用の導入目標を定めている⁸⁾。

三重県

三重県は県内の3分の1程度に平均風速5.5m/sの風が吹く地域があるため、再生可能エネルギーの供給割合は風力発電が最も多い。また、日照時間にも比較的に恵まれていることから太陽光発電や熱利用としての太陽エネルギー供給割合も多い。さらに森林資源によるバイオマス熱利用の供給割合も高い。三重県では2012年に「三重県新エネルギービジョン」を策定し再生可能エネルギー導入を促進するため太陽光発電・熱利用、風力発電、バイオマス発電、熱利用、中小水力発電などについて2020年度目標を定めている⁹⁾。

滋賀県

滋賀県の再生可能エネルギーの供給量は中部圏9県において最も少なく全国的にも決して高くない。県内にある琵琶湖は県内面積の6分の1程度を占めているため水資源を利用

した小水力発電が県内における再生可能エネルギーの供給割合の半分程度を占めている。次いで太陽光発電や熱利用への供給となっている。滋賀県では、「滋賀県再生可能エネルギー振興戦略プラン」を策定し再生可能エネルギーについて2030年度目標を定めている¹⁰⁾。

3. 2 中部圏における再生可能エネルギーの導入ポテンシャル

3. 2. 1 導入ポテンシャルについて¹¹⁾

環境省は、「平成27年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書」において、図3. 1に示す賦存量、導入ポテンシャルおよびシナリオ別導入可能量の概念を以下のように定義している。

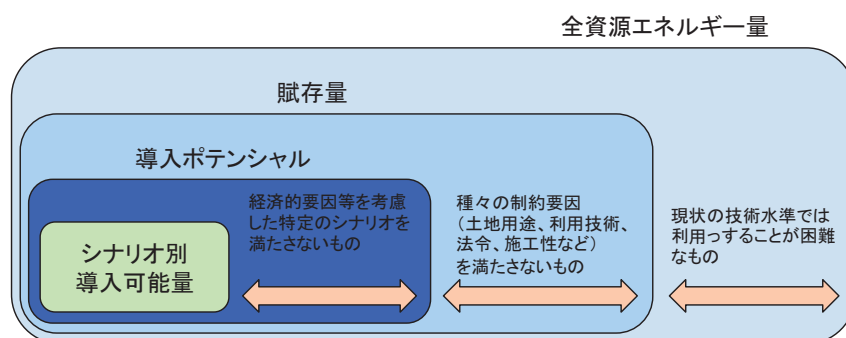


図3. 1 賦存量、導入ポテンシャル、シナリオ別導入可能量の概念図¹¹⁾

賦存量¹¹⁾

賦存量とは再生可能エネルギー利用にあたり設備の設置可能面積、平均風速、河川流量等から理論的に算出することのできるエネルギー資源量のことである。現在の技術水準では利用することが困難なもの、例として風速5.5m/s未満の風力エネルギーなどを除き、土地の傾斜、法規制、土地利用、居住地からの距離等の制約要因は考慮していない。「現在の技術水準では利用することが困難なもの」をエネルギー別に定義し、賦存量の推計条件としている。また、現在の技術水準を前提としているため技術開発によって将来的には増加する可能性はあるが、ここではエネルギー種別に一義的に決まるものとしている。

導入ポテンシャル¹¹⁾

導入ポテンシャルはエネルギーの採取・利用に関する種々の制約要因による設置の可否を考慮したエネルギー資源量のことである。「種々の制約要因に関する仮定条件」を設定した上で推計されている。導入ポテンシャルの推計結果は基本的に設備容量(kW)と年間発電電力量(kWh)で示される。再生可能エネルギーの種類によって標準的な設備利用率は異なり、また発電電力量(kWh)への換算も異なるので異なるエネルギー種間の比較に際しては注意が必要である。

シナリオ別導入可能量¹¹⁾

シナリオ別導入可能量はエネルギーの採取・利用に関する特定の制約条件や年次等を考慮した上で、事業採算性に関する特定の条件を設定した場合に具現化することが期待されるエネルギー資源量のことであり、導入ポテンシャルの内数である。事業採算性については対象エネルギーごとに建設単価等を設定した上で事業収支シミュレーションを行い、税引前のプロジェクト内部収益率（PIRR*¹等）が一定値以上となるもので集計されている。詳細なシミュレーションや集計方法はここでは割愛する。

なお、導入ポテンシャル及びシナリオ別導入可能量は中小水力を除き既開発分を含んだ値として推計している。既開発分は事業採算性以外の観点で導入されているものもあり単純な比較はできないことに留意する必要がある。

3. 2. 2 全国における各再生可能エネルギーの導入ポテンシャル

表3. 2にみずほ情報総研がまとめた日本国の主な再生可能エネルギーである太陽光発電、風力発電、地熱発電、水力発電、バイオマス・廃棄物発電の導入ポテンシャル¹²⁾を示す。日本全体において太陽光発電と風力発電が多いことが分かる。地熱発電は国立・国定公園を除いているため低くなっている。また、バイオマスや廃棄物は含水率が高いため、実際に得られる熱量は低くなり発電電力量は低くなる。

表3. 2 日本国における再生可能エネルギーの導入ポテンシャル¹²⁾

	内訳	導入ポテンシャル [億kWh]	備考
太陽光発電	住宅設置 (10kW未満)	693	<ul style="list-style-type: none"> ・戸建住宅：1戸あたり4kWとし、物理的制約条件などを考慮した値 ・集合住宅：物理的制約条件などを考慮し、設置可能な屋根面積にパネルを設置した値
	非住宅設置 (10kW以上)	1,566	
風力発電	陸上風力	3,549	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギーの採取・利用に関する種々の制約要因を考慮したエネルギー資源量
	洋上風力	11,667	
地熱発電		260	<ul style="list-style-type: none"> ・国立・国定公園の特別保護地区・特別地域を除く150℃以上の熱水資源
水力発電	一般	529	<ul style="list-style-type: none"> ・包蔵水力（技術的・経済的に利用可能な水力エネルギー量）、包蔵水力に含まれない既設構造物を利用した水力エネルギー量
	中小	882	
バイオマス・廃棄物発電	バイオマス	189	<ul style="list-style-type: none"> ・各資源の含水率を考慮した利用可能量における各熱量を発電利用・熱利用に配分、林地残材の利用拡大を想定したもの
	一般廃棄物	95	
	化石由来産業廃棄物	67	

* 1 PIRR：Project Internal Rate of Return（プロジェクトIRR）

IRR は内部収益率と呼ばれ、初期投資を将来の売電等収入で賄う際の将来金利に相当する指標。投資した設備が生み出す収入を、IRRを用いて現在価値に置き換え、「現在価値に置き換えた将来収入総額＝投資額」によりIRRを算定することができる。

投資額＝ $\sum (n\text{年後のフリーキャッシュフロー}/(1+R)^n)$ 、RはPIRR

3. 2. 3 中部圏における各再生可能エネルギーの導入ポテンシャル

環境省が提示している導入ポテンシャルの概念を用いて中部圏9県における太陽光発電、風力発電、地熱発電、中小水力発電の再生可能エネルギー利用における導入ポテンシャルを以下に示す。なお、これらの値は原則として既開発分を含んだものとして推計されている。また、バイオマスのポテンシャルについてはNEDOが試算したバイオマスの有効利用可能量をポテンシャルとして示すこととする。

太陽光発電

図3. 2に中部圏9県における太陽光発電の導入ポテンシャルマップ¹³⁾を示す。愛知を

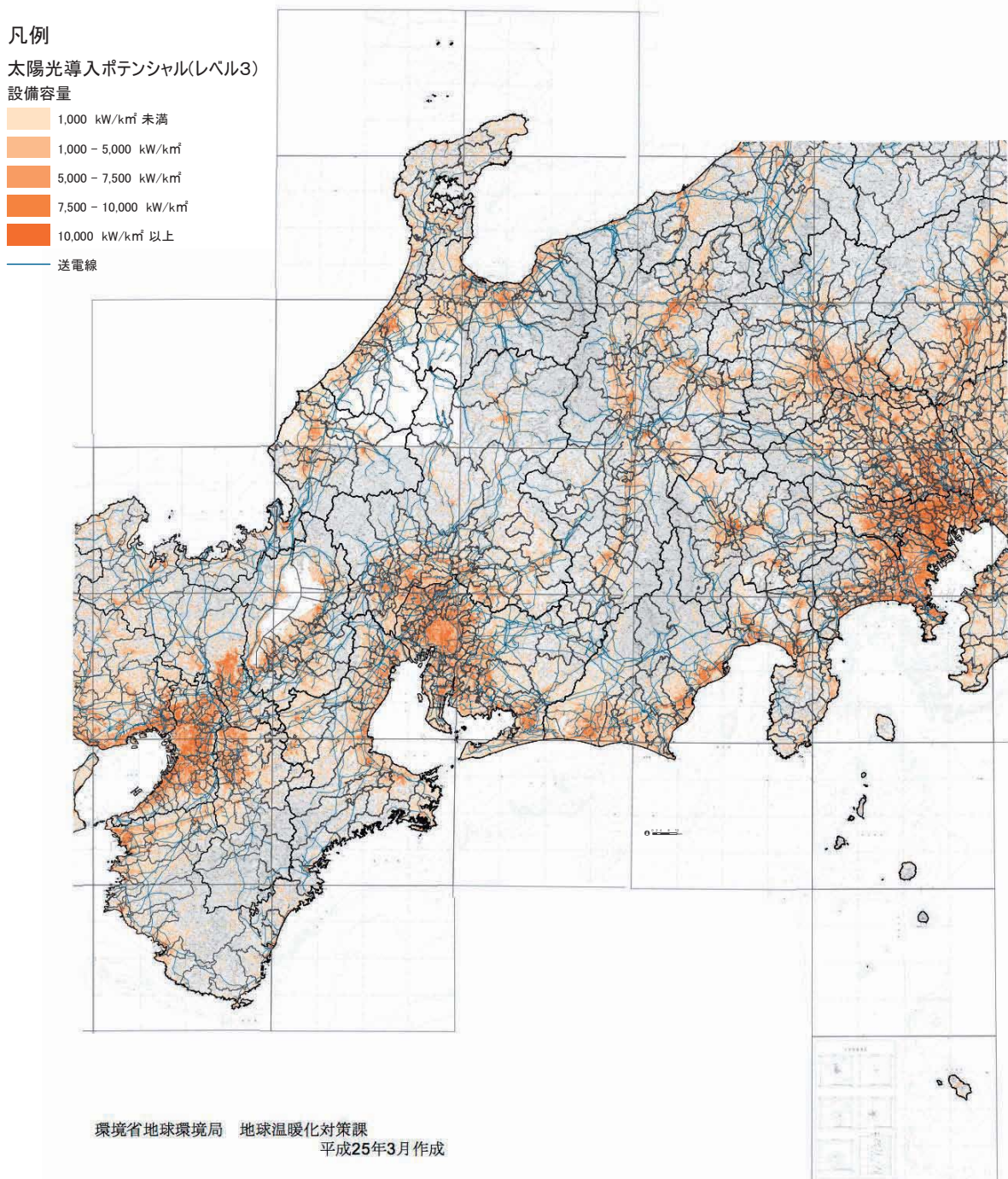


図3. 2 太陽光発電の導入ポテンシャルマップ¹³⁾

中心に岐阜、三重に導入ポテンシャルが高く、富山、石川の沿岸部にもポテンシャルの分布が見られる。

図3. 3に環境省が試算した中部圏9県における住宅用等太陽光発電の導入ポテンシャルを示す。また、図3. 4に一例として中部電力管内の供給対象施設別の導入ポテンシャルを示す¹⁴⁾。導入ポテンシャルは (a) 設備容量^{*2}と (b) 年間発電電力量^{*3}で示される。太陽光発電の設備容量および年間発電電力量ともに太平洋側に位置している愛知、静岡、三重および岐阜と長野に高い導入ポテンシャルがある。導入ポテンシャルの電力供給対象施設別では戸建て住宅が圧倒的に高い値となっており、次いで中規模の共同住宅に高いポ

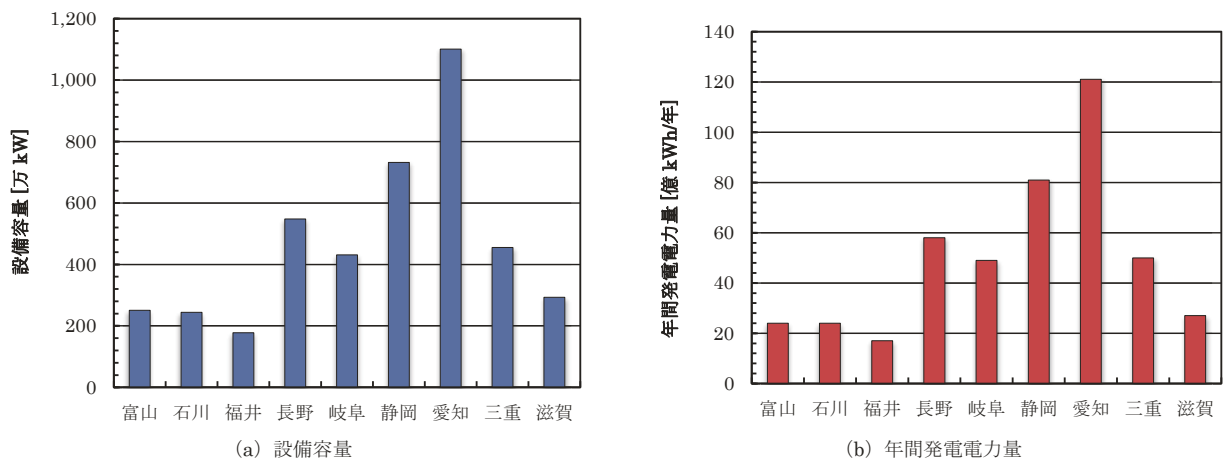


図3. 3 太陽光発電の導入ポテンシャル¹⁴⁾

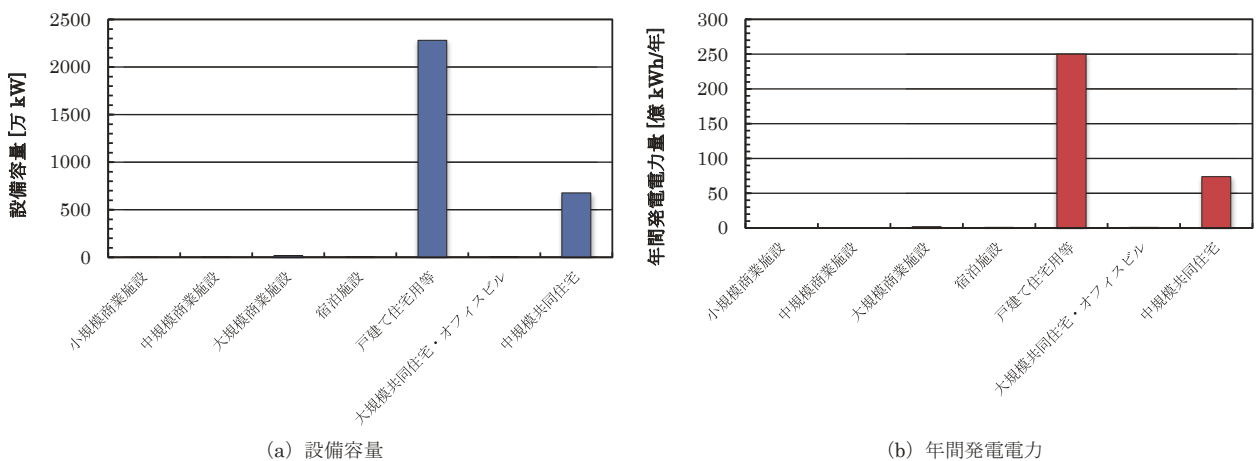


図3. 4 中部電力管内における電力供給対象施設別の導入ポテンシャルの分布状況¹⁴⁾

* 2 太陽光発電における設備容量の推計方法

・戸建住宅以外：設備容量 (kW) = 設置可能面積 (㎡) × 0.0667 (kW/㎡)

・戸建住宅：設備容量 (kW) = 設置可能面積 (㎡) × 0.1000 (kW/㎡)

(戸建住宅以外は1kW/15㎡、戸建住宅は1kW/10㎡)

(50㎡未満の戸建住宅は推計対象外とする)

(設置可能面積は建築面積あるいは延床面積に、それに対応した設置係数を乗じることで算定している)

* 3 太陽光発電における年間発電電力量の推計方法

・年間発電電力量 (kWh/年) = メッシュ別設備容量 (kW) × メッシュ別発電量係数 (kWh/年/kW)

テンシャルが示されている。

図3. 5に中部圏9県における導入可能量を示す。図3. 6に一例として中部電力管内における電力供給対象施設別の導入可能量の分布状況を示す¹⁴⁾。図3. 5と図3. 6の導入可能量を算定したシナリオの設定条件を表3. 3に示す。図3. 5から愛知、静岡、長野、岐阜、三重において導入可能量が多い。特に広大な工業地帯が広がる愛知の太陽光発電の導入ポテンシャルおよび導入可能量は他県と比べて群を抜いている。一方で日本海側に位置する県では、太陽光発電の導入ポテンシャルおよびシナリオ別導入可能量は比較的低い値を示している。中部電力管内の電力供給対象施設別の導入可能量では、戸建て住宅より中規模の共同住宅における年間発電電力量が高くなっている。

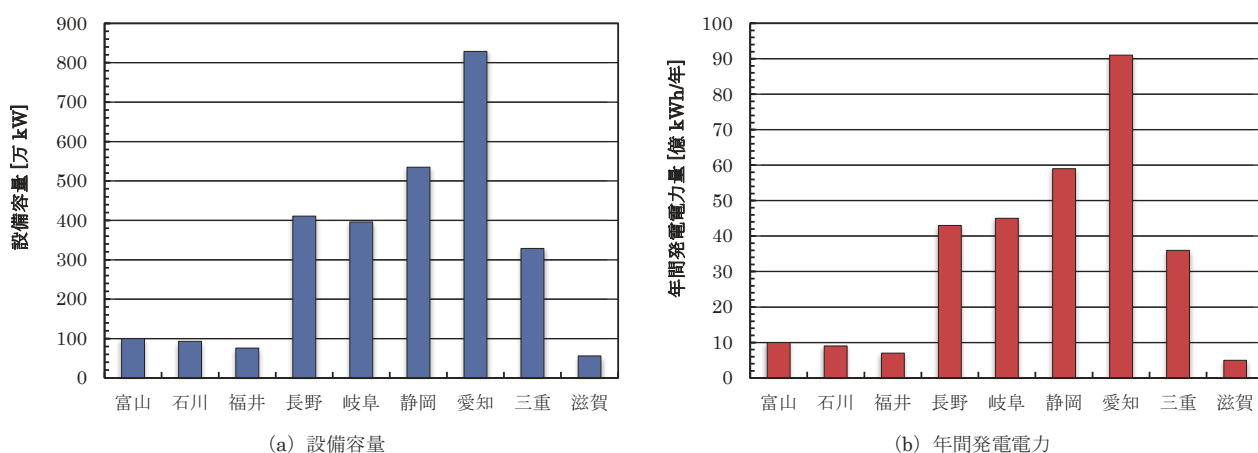


図3. 5 太陽光発電の導入可能量¹⁴⁾

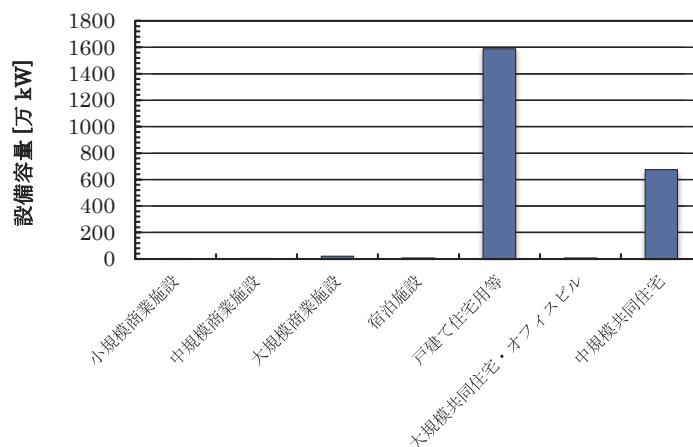


図3. 6 中部電力管内における電力供給対象施設別の導入可能量の分布状況¹⁴⁾

表3. 3 導入可能量シナリオの設定条件¹⁴⁾

カテゴリー	設置規模	買取価格	買取期間
戸建住宅用等	10 kW未満	40円/kWh	10年間
戸建住宅用等以外	10 kW以上	40円/kWh	20年間

風力発電

図3. 7に中部圏9県における風力発電の導入ポテンシャルマップ¹³⁾を示す。愛知、三重の沿岸部では風速が速く、導入ポテンシャルが集中して高い。5.5m/s～6.0m/sの風速は長野、岐阜の山岳部にも広く分布している。

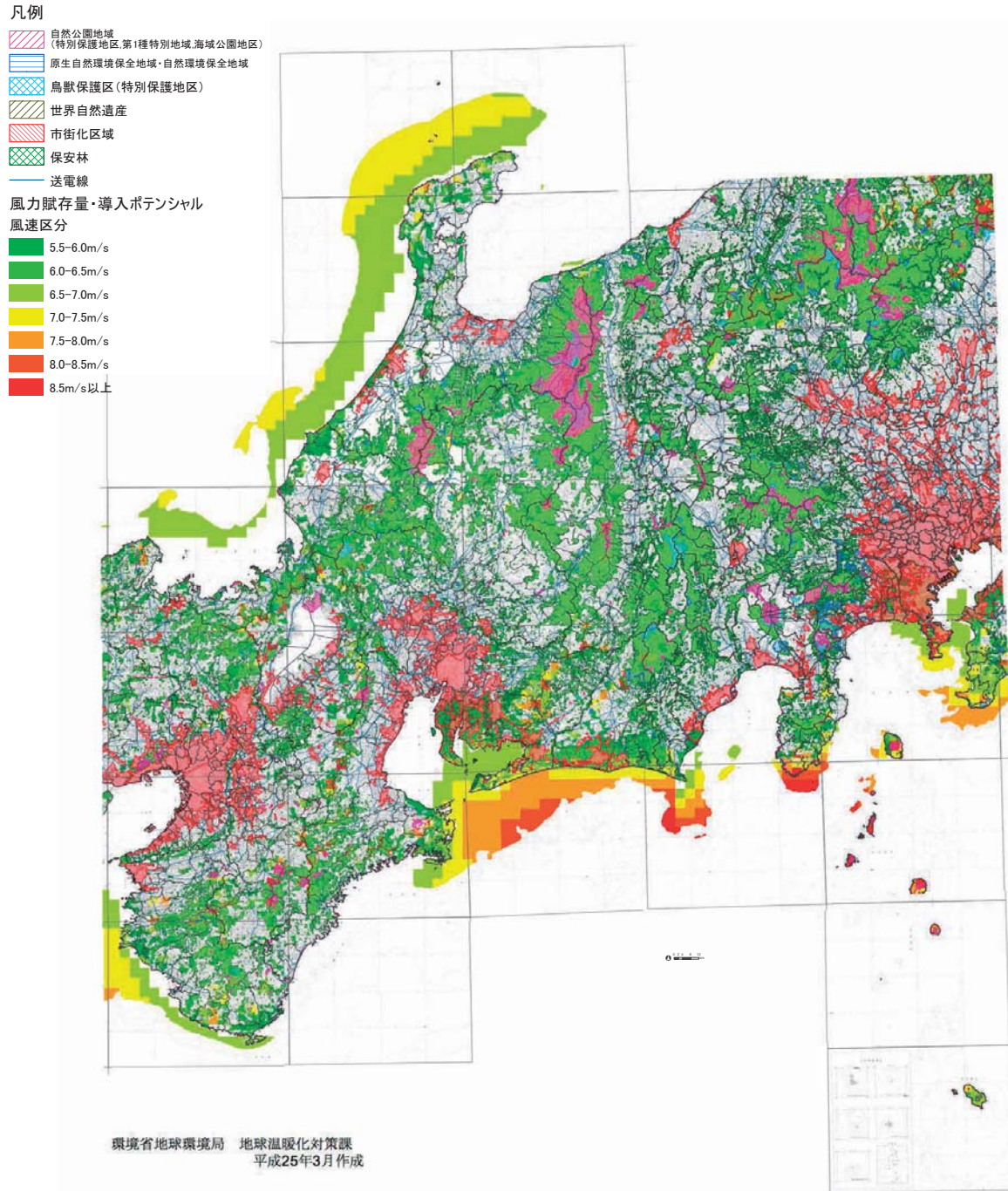


図3. 7 風力発電の導入ポテンシャルマップ¹³⁾

図3. 8に環境省が試算した中部圏9県における各風速を対象とした風力発電の導入ポテンシャル¹¹⁾、図3. 9にシナリオ別導入可能量¹¹⁾を示す。図3. 9における各シナリオ別における条件を表3. 4に示す。導入ポテンシャルおよびシナリオ別導入可能量は (a)

設備容量*⁴と (b) 年間発電電力*⁵で示される。ここでの風力発電は陸上風力のみを対象としており、技術的な課題が残る洋上風力は除外している。中部圏における風力発電の導入ポテンシャルおよびシナリオ別導入可能量は半島に位置している三重や石川で高い設備容量や年間発電電力量の値が示されている。導入ポテンシャルおよびシナリオ別導入可能量における設備容量と年間発電電力量を比較した場合も、各県ごとの設備容量と年間発電電力量の差は同様の傾向となっている。また、岐阜や滋賀といった海に面していない県においても比較的高い風力発電の導入ポテンシャルおよびシナリオ別導入可能量を有している。

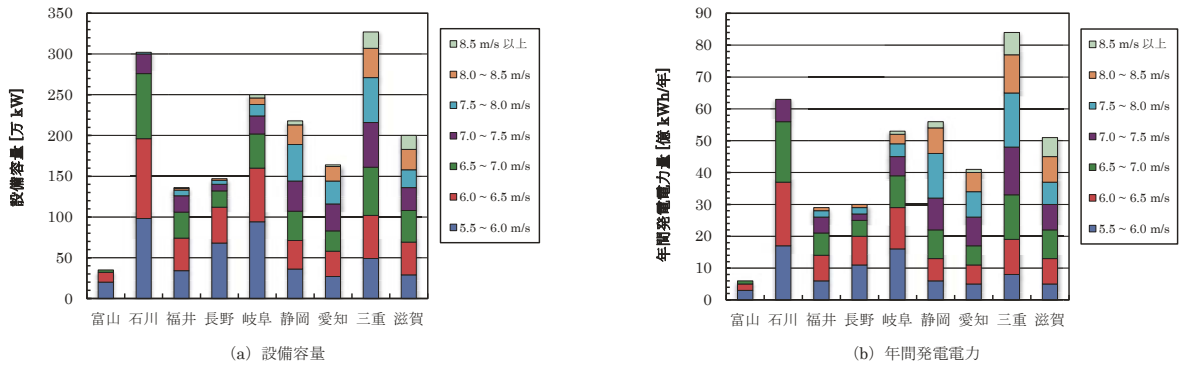


図 3. 8 風力発電の導入ポテンシャル¹¹⁾

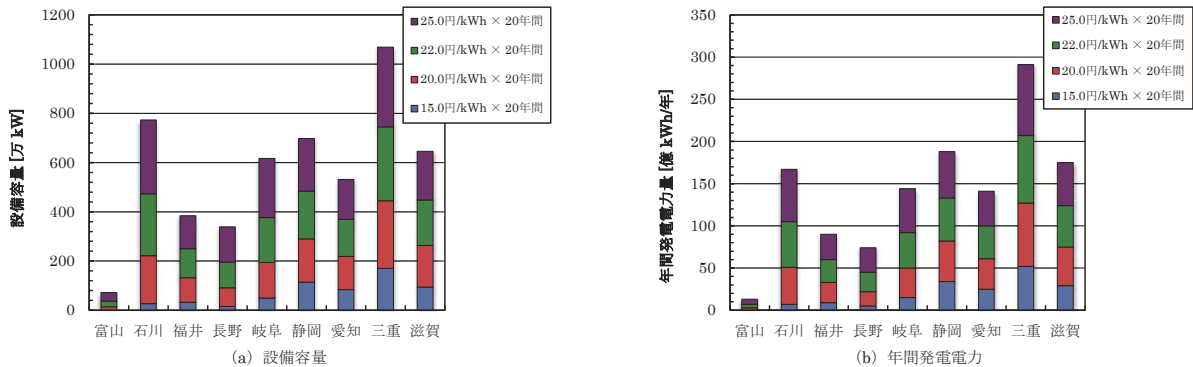


図 3. 9 風力発電のシナリオ別導入可能量¹¹⁾

表 3. 4 各シナリオ条件¹¹⁾

シナリオ	シナリオの考え方
シナリオ 1	FIT単価15円/kWh×買取期間20年間で表出すると考えられるポテンシャル
シナリオ 2	FIT単価20円/kWh×買取期間20年間で表出すると考えられるポテンシャル
シナリオ 3	FIT単価22円/kWh×買取期間20年間で表出すると考えられるポテンシャル
シナリオ 4	FIT単価25円/kWh×買取期間20年間で表出すると考えられるポテンシャル

* 4 風力発電における設備容量の推計方法

・2,000kWの風力発電機を用いたこととしている

* 5 風力発電における年間発電電力量の推計方法

・年間発電電力量 (kWh/年) = 設備容量 (kW) × 理論設備利用率 (%) × 利用可能率 (%) × 出力補正係数 × 年間時間 (h)
 (利用可能率及び出力補正係数は、NEDO 風力発電導入ガイドブック (2008) を参考にそれぞれ0.95、0.90としている)
 (ウィンドファームではウェイクロスが発生するが、本調査では考慮しないこととしている)

地熱発電

地熱発電のポテンシャルについて環境省が試算した中部圏9県における地熱発電のシナリオ別導入可能量¹⁶⁾を示す。地熱発電のシナリオ別導入可能量は地熱発電の代表的な方法である蒸気フラッシュ発電とバイナリー発電については、120℃～150℃および120℃～180℃に分けて個別に示す。

・蒸気フラッシュ発電

蒸気フラッシュ発電とは主に200℃以上の高温地熱流体での発電に適しており、地熱流体中の蒸気で直接タービンを回して発電する¹⁵⁾。

図3. 10に蒸気フラッシュ発電のシナリオ別導入可能量¹⁶⁾（設備容量のみ）^{*6)}を示す。各シナリオの設定条件を表3. 5に示す。蒸気フラッシュ発電のポテンシャルは主に長野、岐阜の中部圏の内陸部に集中している。一方、中部圏の他5県ではシナリオ導入可能量の設備容量は0となっている。中部圏における蒸気フラッシュ発電の見込みは少ないものとされている。

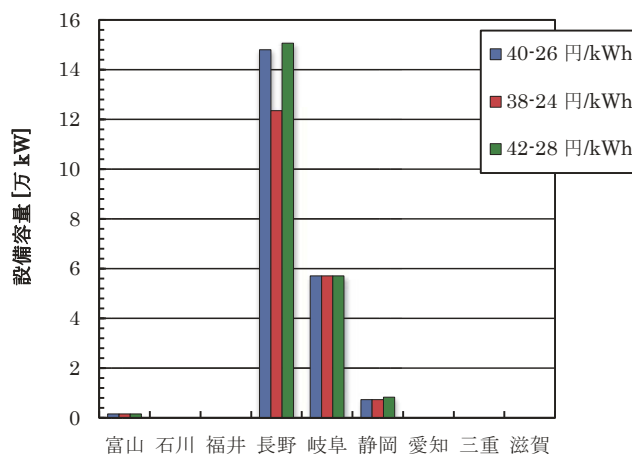


図3. 10 蒸気フラッシュ発電のシナリオ別導入可能量¹⁶⁾（基礎となる導入ポテンシャル^{*7)}

表3. 5 シナリオの設定条件¹⁶⁾

シナリオ	買取期間	買取価格
現行FIT維持シナリオ	15年間	15,000kW未満 40円/kWh
		15,000kW以上 26円/kWh
FIT価格低下シナリオ	15年間	15,000kW未満 38円/kWh
		15,000kW以上 24円/kWh
FIT価格上昇シナリオ	15年間	15,000kW未満 42円/kWh
		15,000kW以上 28円/kWh

* 6 蒸気フラッシュ発電に関するシナリオ別導入可能量の推計方法

地熱発電（熱水資源開発）のシナリオ別導入可能量推計においては、多様なパラメータが事業性に影響するため、一元的に開発可能条件を設定することは困難である。そのため、賦存量が存在する約11,500個の500mメッシュに対して、事業収支シミュレーションを行い、シナリオ別の税引前PIRRを算定している

* 7 基礎となる導入ポテンシャル

150℃以上の温度を対象とし、国立公園を含まない条件

・バイナリー発電

バイナリー発電は水よりも沸点の低い2次媒体を使うため、より低温の地熱流体での発電に適しており地熱流体で温められた2次媒体の蒸気でタービンを回して発電する。

図3.11に中部圏9県における地熱発電(120°C~150°C)のポテンシャルマップ¹³⁾、図3.12に中部圏9県における地熱発電(150°C以上)のポテンシャルマップ¹³⁾、図3.13にバイナリー発電120°C~150°Cのシナリオ別導入可能量¹⁶⁾(設備容量のみ)*⁸⁾を示す。バイナリー発電120°C~150°Cのポテンシャルは中部圏において長野、静岡に集中しているもののいずれも低い設備容量となっている。図3.14にバイナリー発電120°C~180°Cのシナリ

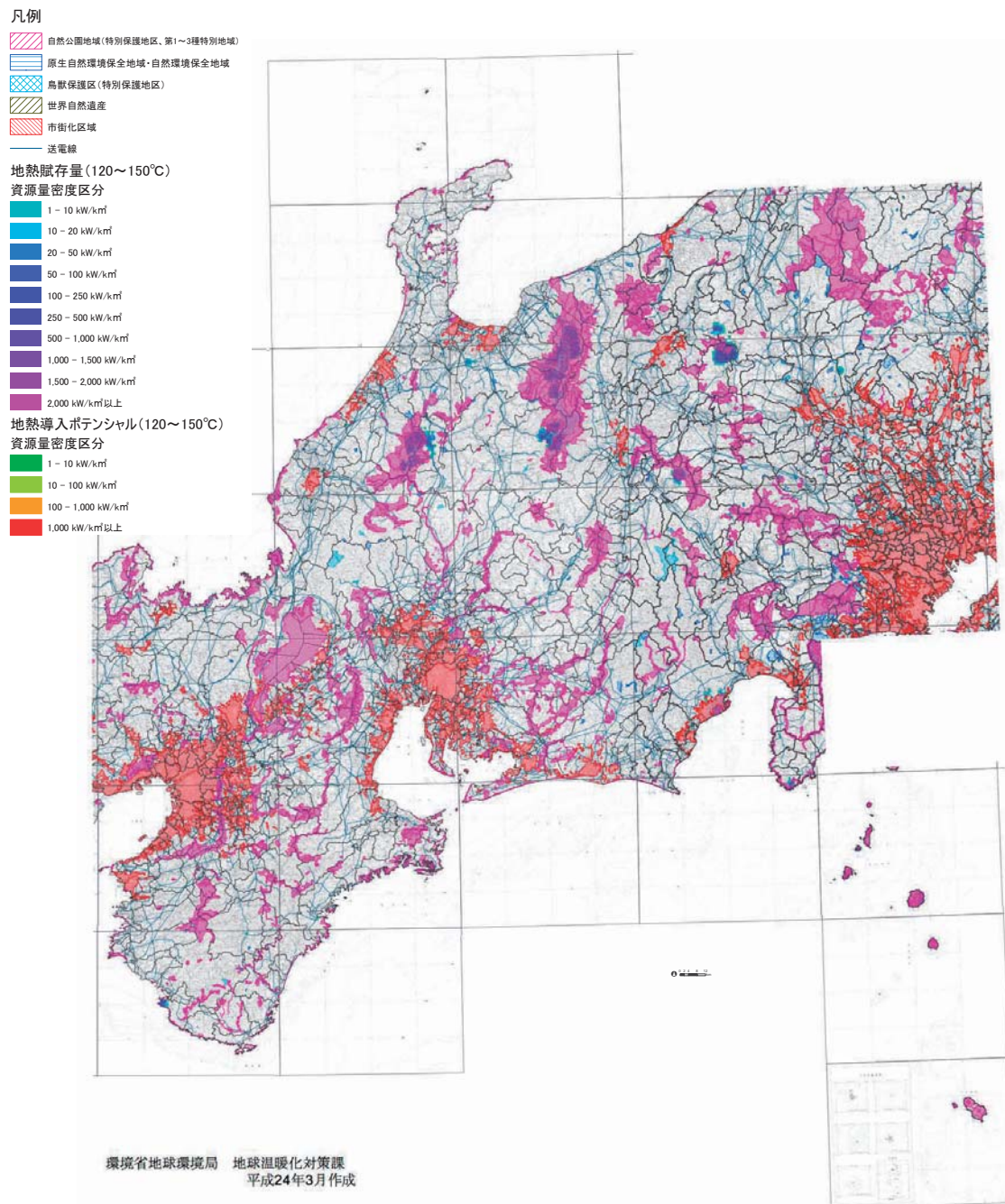


図3.11 地熱発電(120°C~150°C)のポテンシャルマップ¹³⁾

別導入可能量¹⁶⁾ (設備容量のみ)^{* 8}を示す。各シナリオ条件を表3. 6に示す。バイナリー発電120℃～180℃のポテンシャルは長野、岐阜、静岡に集中しているものの低い設備容量となっている。バイナリー発電において高温の地熱ほど有利である。また、シナリオによって導入可能設備容量が大きく異なる。これは地熱発電導入の初期コストが高いため、導入の普及にはFIT価格を高く設定することが必要となることを示唆している。このようなデータから中部圏においてはバイナリー発電への見込みも低いものとなっている。

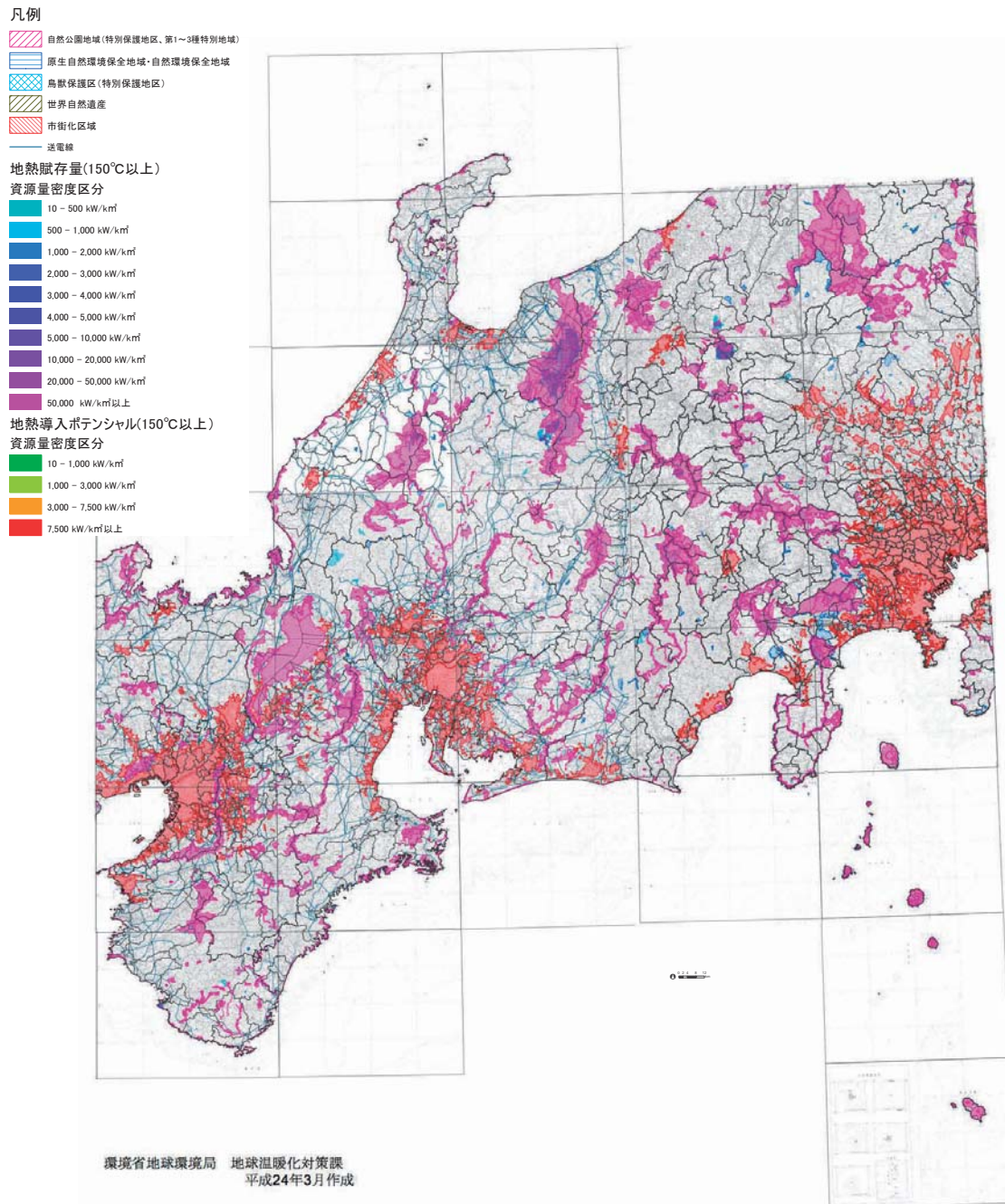


図3. 12 地熱発電(150℃以上)のポテンシャルマップ¹³⁾

* 8 バイナリー発電に関するシナリオ別導入可能量の推計方法

バイナリー発電については、120℃～150℃及び120℃～180℃の温度区分を対象に、基本となるポテンシャル(国立公園なし、傾斜掘削なし)に対して、推計が行われている。推計方法は蒸気フラッシュ発電に関する推計方法と同様であり、賦存量が存在する約24,200個の500mメッシュに対して事業収支シミュレーションを行い、シナリオ別の税引前PIRRを算定している。

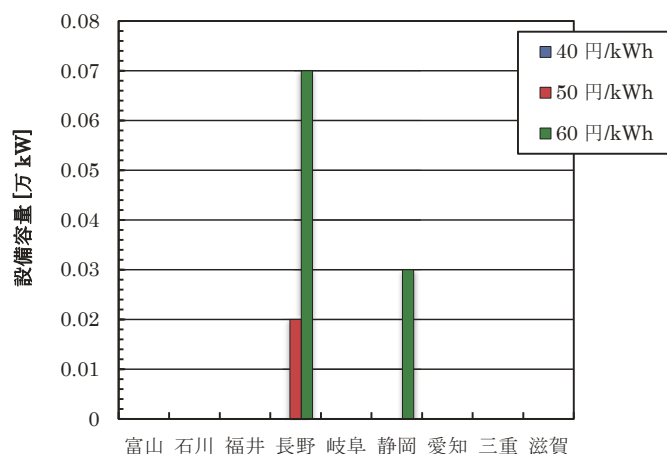


図 3. 13 バイナリー発電120°C~150°Cのシナリオ別導入可能量¹⁶⁾ (基礎となる導入ポテンシャル、掘削込^{*9)})

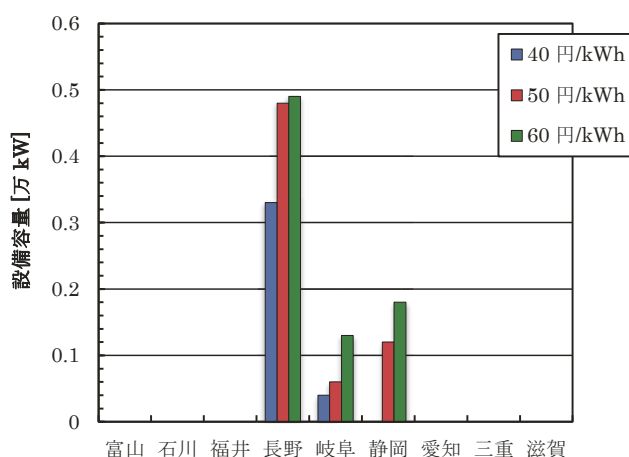


図 3. 14 バイナリー発電120°C~180°Cのシナリオ別導入可能量¹⁶⁾ (基礎となる導入ポテンシャル、掘削込^{*9)})

表 3. 6 シナリオの設定条件¹⁶⁾

シナリオ	買取価格区分	FIT単価
現 行 FIT 維 持	15,000 kW未満	40円/kWh
FIT 価 格 上 昇 1	15,000 kW未満	50円/kWh
FIT 価 格 上 昇 2	15,000 kW未満	60円/kWh

水力発電

図 3. 15に中部圏 9 県における小水力発電の導入ポテンシャルマップ¹³⁾を示す。

図 3. 16に環境省が試算した中部 9 県における小水力発電の既設水力発電所を除外し、各設備容量に応じた導入ポテンシャル¹¹⁾ (設備容量のみ)を示す。山岳部に位置している岐阜、富山、長野の設備容量は大きい値を示している。また、静岡にも小水力発電の高い導入ポテンシャルがある。

* 9 掘削込とは、掘削費 (生産井・還元井、調査用、追加投資分を含む) を事業の初期投資に含む場合のこととしている。掘削込の買取価格は40円/kWh、50円/kWh、60円/kWhとされる。

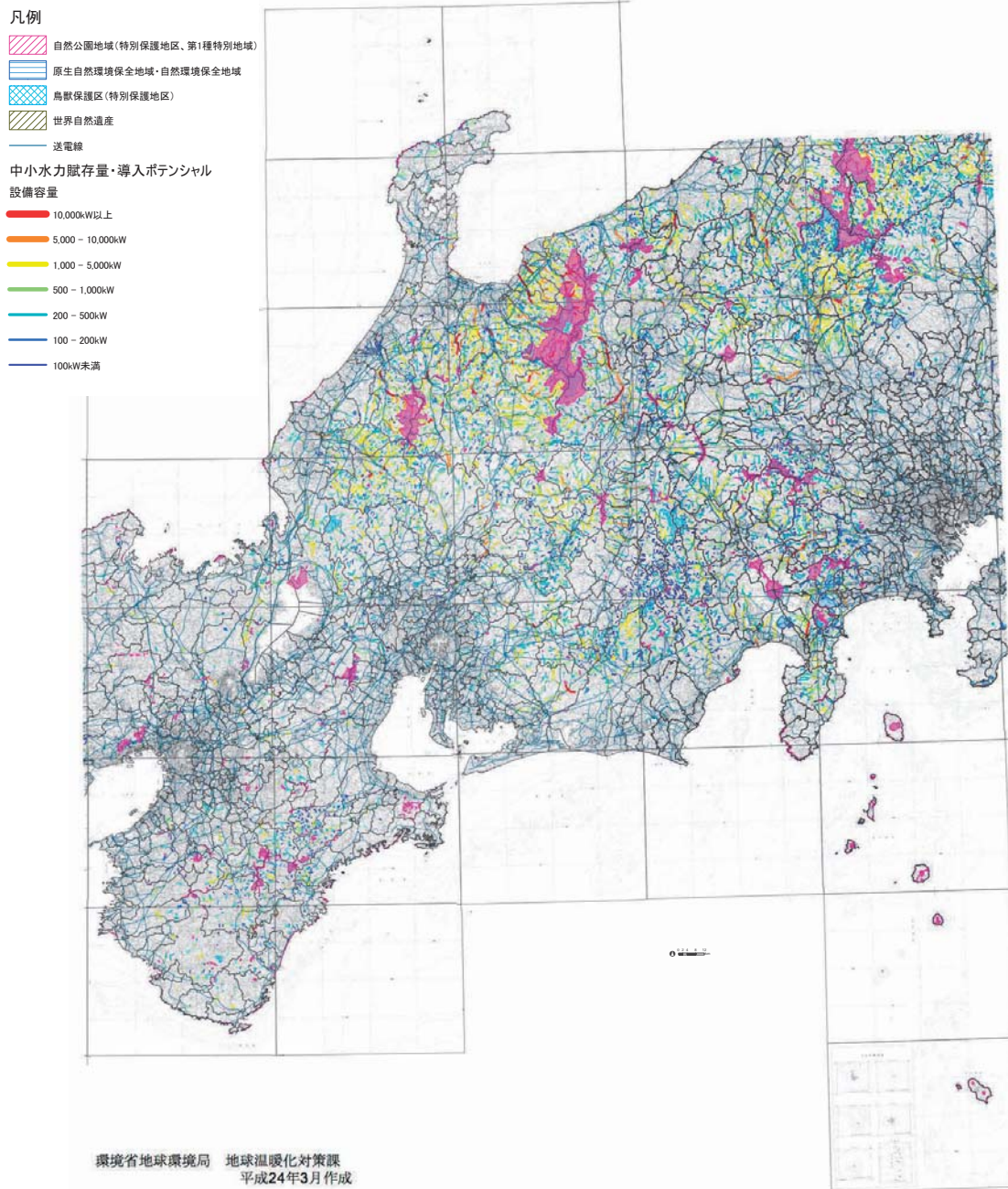


図3. 15 水力発電の導入ポテンシャルマップ¹³⁾

図3. 17に環境省が試算した中部9県における小水力発電のシナリオ別導入可能量¹¹⁾を示す。シナリオ別導入可能量は(a)設備容量と(b)年間発電電力で示される。各シナリオの条件^{*10}を表3. 7に示す。中部圏における小水力発電のシナリオ別導入可能量は富山が最も多く、次いで岐阜、長野、静岡となっている。また、全国的にも富山、岐阜、長

*10 水力発電におけるシナリオ設定およびシナリオ別開発可能条件の算定方法
 中小水力発電では、「事業単価」をパラメータとしてシナリオ別の開発可能条件を設定している
 <事業単価の定義>
 「事業単価」(円/kW) = 現状の全事業費(円) / 設備容量(kW)
 現状の全事業費(円) = (電気設備費 + 土木工事費 + 道路整備費 + 送電線敷設費 + 開業費)

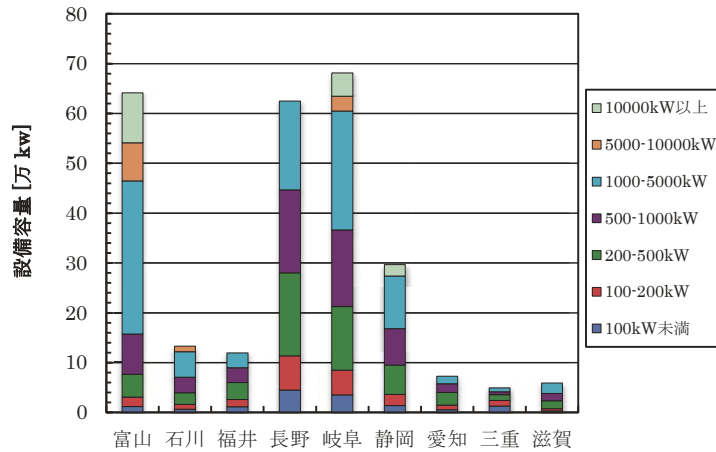


図 3. 16 既設水力発電所を除外した小水力発電の導入ポテンシャル¹¹⁾

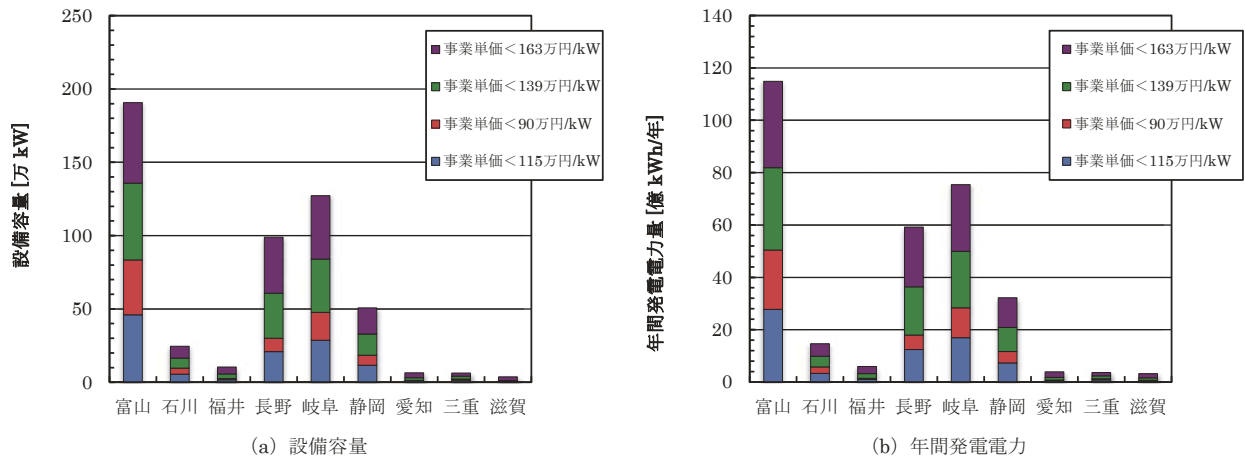


図 3. 17 小水力発電のシナリオ別導入可能量¹¹⁾

表 3. 7 シナリオ別開発可能条件¹¹⁾

シナリオ	開発可能条件
シナリオ 1	事業単価 < 115万円/kW
シナリオ 2	事業単価 < 90万円/kW
シナリオ 3	事業単価 < 139万円/kW
シナリオ 4	事業単価 < 163万円/kW

野は大きな値を示している。設備容量および年間発電電力量においてシナリオ別に比較した場合、設備容量に対して事業単価が高い方の導入可能量が多くなっている。

バイオマス

図 3. 18に中部圏 9 県における林地残材のバイオマス賦存量のマップ¹⁷⁾を示す。林地残材は静岡、愛知、三重の山間部に多く存在しており、さらに長野、岐阜の山岳部ではより大きなポテンシャルが存在している。

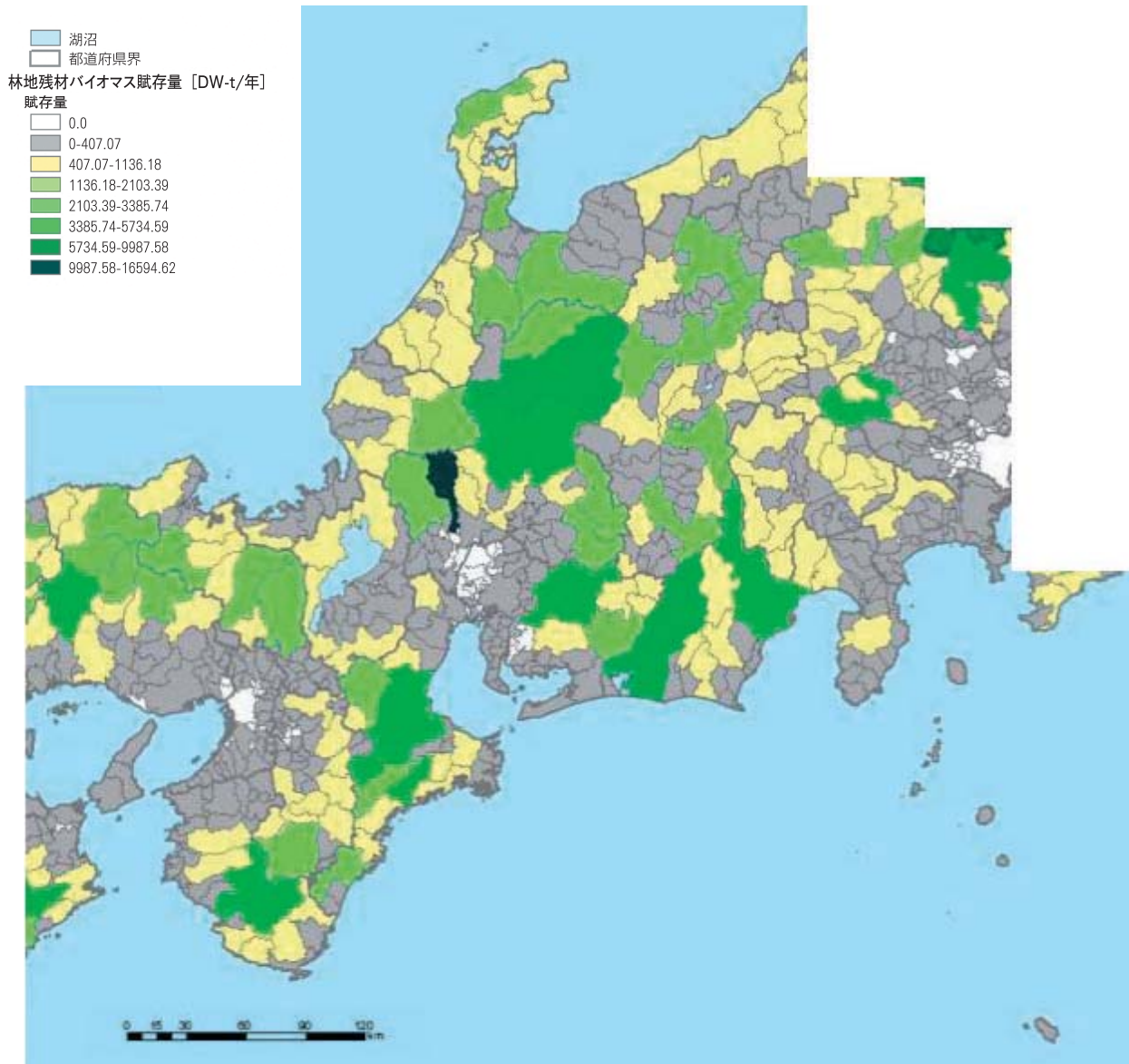


図3. 18 林地残材バイオマスの賦存量マップ¹⁶⁾

図3. 19に中部圏9県においてNEDOが試算したバイオマスの有効利用可能量^{*11}のポテンシャル¹⁷⁾を示す。図3. 19において対象としたバイオマスの種類を表3. 8に示す。有効利用可能量の推計値は原則として乾燥重量とし、下水汚泥とし尿・浄化槽余剰汚泥は固形物重量としている。特に、最も人口の多い愛知の利用可能量は他県に比べて群を抜いている。一方で日本海側に位置している県においてはバイオマスの有効利用可能量は比較的低くなっている。

*11 有効利用可能量

賦存量より既にエネルギー利用、堆肥、農地還元利用等に利用されている量を除き、収集等に関する経済性を考慮した量のこと

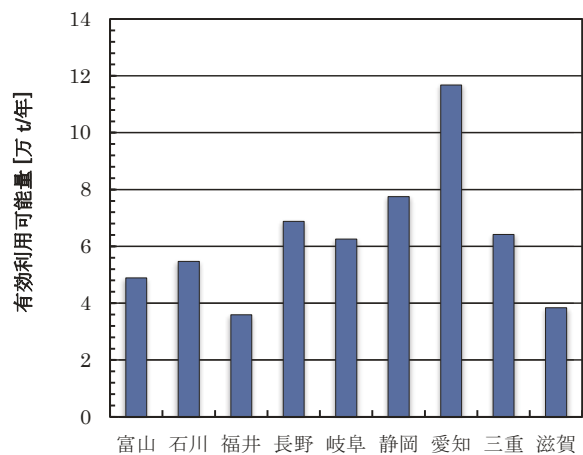


図 3. 19 バイオマスの有効利用可能量¹⁶⁾

表 3. 8 有効利用可能量の対象としたバイオマスの種類¹⁶⁾

未利用系資源	林地残材・切捨間伐材
	稲わら・もみ殻・麦わら
廃棄物系資源	乳用牛、肉用牛、豚、採卵鶏ふん尿
	下水汚泥、し尿・浄化槽余剰汚泥
	食品加工廃棄物
	建築廃材

参考文献

- 1) 日本の再生可能エネルギー、永続地帯研究会編著、旬報社
- 2) 富山県ホームページ「富山県再生エネルギービジョン」(www.pref.toyama.jp)
- 3) 石川県ホームページ「石川県再生可能エネルギー推進計画」
(www.pref.ishikawa.lg.jp/kikaku/energy/.../keikakutop.html)
- 4) 福井県ホームページ「1市町1エネおこしプロジェクト」
(www.pref.fukui.lg.jp)
- 5) 長野県ホームページ「長野県環境エネルギー戦略」
(www.pref.nagano.lg.jp/ontai/kurashi/ondanka/.../senryaku.htm)
- 6) 岐阜県ホームページ「岐阜県次世代エネルギービジョン」(www.pref.gifu.lg.jp)
- 7) 静岡県ホームページ「ふじのくに新エネルギー等導入倍増プラン」
(www.pref.shizuoka.jp)
- 8) 愛知県ホームページ「あいち地球温暖化防止戦略2020」
(kankyojoho.pref.aichi.jp/Download/.../h24/24tokusyu3.pdf)
- 9) 三重県ホームページ「三重県新エネルギービジョン」
(www.pref.mie.lg.jp/common/content/000630917.pdf)
- 10) 滋賀県ホームページ「滋賀県再生可能エネルギー振興戦略プラン」
(www.pref.shiga.lg.jp/f/eneshin/20140107_saienenituite.html)
- 11) 平成27年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書、環境省地球環境局地球温暖化対策課
- 12) 平成26年度新エネルギー等導入促進基礎調査再生可能エネルギーの普及可能性に関する調査報告書、みずほ情報総研株式会社
- 13) 再生可能エネルギー導入ポテンシャルマップ・ゾーニング基礎情報 全国インデックスマップ（平成25年度更新版）、環境省ホームページ
- 14) 平成25年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書、環境省地球環境局地球温暖化対策課
- 15) 日本地熱協会 地熱発電のしくみ
(www.chinetsukyokai.com/information/index.html)
- 16) 平成26年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書、環境省地球環境局地球温暖化対策課
- 17) バイオマス賦存量・利用可能量の推計GISデータベース、NEDO国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

第4章 中部圏における再生可能エネルギー利用設備の導入実態と課題

本章では中部圏9県における再生可能エネルギーを利用した設備の導入実態および各県ごとの利用設備の導入事例を調査した結果をまとめて紹介する。また、再生可能エネルギーの導入に際しての今後の課題について述べる。

4.1 中部圏における再生可能エネルギー利用設備の導入実態例

表4.1に各県における固定価格買取制度による2015年時点の再生可能エネルギーの認定設備の発電能力と運転中の設備の発電能力^{1)~9)}を示す。

表4.1 固定価格買取制度における認定設備の発電能力(kW)
〔()内は全国順位^{1)~9)}〕

	太陽光発電		風力発電		水力発電		地熱発電		バイオマス発電	
	認定済み	運転中	認定済み	運転中	認定済み	運転中	認定済み	運転中	認定済み	運転中
富山	248,961 (47位)	148,795 (43位)	1,990 (29位)	0 (-)	7,232 (19位)	3,262 (10位)	0 (-)	0 (-)	8,280 (38位)	8,280 (17位)
石川	592,059 (39位)	176,626 (40位)	54,365 (8位)	7,480 (13位)	1,067 (32位)	198 (29位)	0 (-)	0 (-)	3,423 (44位)	125 (38位)
福井	271,389 (46位)	104,591 (46位)	22,380 (19位)	0 (-)	1,606 (26位)	308 (24位)	0 (-)	0 (-)	36,870 (25位)	0 (-)
長野	1,781,918 (19位)	620,818 (15位)	60 (32位)	0 (-)	103,258 (2位)	12,290 (4位)	20 (10位)	20 (5位)	20,055 (33位)	2,180 (28位)
岐阜	1,540,882 (22位)	586,156 (20位)	0 (-)	0 (-)	61,157 (5位)	5,903 (7位)	1,998 (6位)	0 (-)	6,935 (39位)	6,250 (21位)
静岡	2,469,928 (16位)	927,049 (8位)	49,189 (12位)	16,700 (9位)	27,784 (9位)	12,007 (5位)	0 (-)	0 (-)	80,283 (11位)	22,020 (6位)
愛知	2,006,647 (18位)	1,200,632 (3位)	20,512 (21位)	12,000 (11位)	1,127 (31位)	247 (26位)	0 (-)	0 (-)	249,671 (2位)	10,097 (12位)
三重	2,457,953 (17位)	743,267 (10位)	130,020 (5位)	0 (-)	521 (37位)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	39,938 (23位)	8,308 (16位)
滋賀	823,157 (29位)	394,026 (26位)	20 (37位)	0 (-)	1,145 (30位)	25 (41位)	0 (-)	0 (-)	4,045 (42位)	3,550 (27位)

富山県

富山県は古くから水力発電が盛んで、急流の水力エネルギーを利用している。現在も川やダムを利用した小水力発電の導入プロジェクトが進んでいる。水力発電の新たな取り組み事例として、図4.1に「片貝別又(かたかいべつまた)発電所」を示す。県東部にある片貝川の上流から約1kmの水路を敷設し、下流にある発電所まで水を送り込む方式となっており、水流落差は298mに達している。2015年11月から運転が開始され、当初発電能力は3,000kWであったが、さらに2016年4月からは4,500kWに引き上げられた。この結果、年間発電量は1,830万kWhとなり、これは一般家庭の5,000世帯分に相当する¹⁾。

富山県での太陽光発電への取り組み事例として、図4.2に、富山湾に面した富山新港で7万㎡の用地に2万枚の太陽光パネルを設置したメガソーラー「富山新港太陽光発電所」

を示す。2016年3月から運転を開始しており、発電能力は4.5MWで、年間約500万kWhの電力を供給できるとされている¹⁾。

また、射水（いみず）市では図4.3に示す木質バイオマス発電所が2015年5月から稼働している。発電能力は5.8MWで、年間の発電量は3,900万kWhを見込んでおり、これは1万世帯分を超える電力を供給できるとされている¹⁾。



図4.1 「片貝別又発電所」の全景¹⁾（出典：北陸電力）



図4.2 「富山新港太陽光発電所」の所在地（上）と全景（下）¹⁾（出典：富山県企業局）



図4.3 射水市の木質バイオマス発電所¹⁾（出典：射水商工会議所）

富山県では水力発電は盛んに行われてはいるが、表4. 1における太陽光発電の全国順位が、水力発電に比べて非常に低いなど、水力以外の再生可能エネルギーの導入が少なく水力発電への偏重が大きいことが課題としてあげられる。今後の太陽光や風力発電設備の導入が期待される。

石川県

石川県は日本海に面しており風況が良好であるため風力発電が盛んに行われている。一方、石川県には土砂を貯めることを目的とする砂防ダムがあり、落差や水量が十分にあることから小水力発電に適している。そのため2013年から県内の2カ所の砂防ダムで小水力発電の開発プロジェクトが始まっている。図4. 4に金沢市内を流れる犀川（さいがわ）の上流に設けられている「平沢川（ひらそがわ）砂防堰堤」を示す。水流の落差は17m、発電能力は最大198kWに達している。2015年5月に運転を開始しており年間の発電量は98万kWhとされている。これは一般家庭の使用量（年間3,600kWh）に換算して270世帯分の電力に相当している¹⁰⁾。

また、バイオマスを活用するプロジェクトも広がっておりコマツの「栗津（あわづ）工場」に新設したブルドーザーなどを生産する組立工場に木質バイオマス発電が導入されている（図4. 5）。2015年4月から運転しており、燃料に利用する木質バイオマスは近隣の山林に放置されている間伐材など未利用の木材が使用されている。バイオマス発電設備は1基あたり105kWの発電機を2基導入し、年間に140万kWhの電力を供給するとされている。さらに、発電用のボイラーや発電機から生じる排熱は工場内や機械設備の動力として再利用されている¹⁰⁾。

バイオマスの有効な活用法として図4. 6に下水の汚泥を利用してバイオガス発電を行う金沢市の「犀川（さいがわ）左岸浄化センター」を示す。1日あたり7万m³にのぼる下水を処理する過程で発生する消化ガスを利用して合計300kWの電力を作り出すのと同時に、汚泥の処理に必要な85℃の温水を供給する仕組み導入している。年間の発電量は230万kWhとなり、これは一般家庭の使用量で700世帯分に相当する¹⁰⁾。

石川県は風況に恵まれているため、風力発電の利用が全国的に多い。しかし、表4. 1に示すように風力発電以外の全国順位が低いという課題があり、今後は太陽光、水力、バイオマスなどの発電設備の導入が期待される。

福井県

福井県には原子力発電所が集中して立地しているが、再生可能エネルギーを導入する取り組みも進められている。現在では県内2カ所の地域で森林資源を生かした大規模なバイオマス発電プロジェクトが進行している。内陸部に広がる大野市は、県内で最大の面積を有しており、そのうちの87%を森林が占めている。福井グリーンパワー大野発電において森林資源を利用した木質バイオマス発電所（図4. 7）が2016年4月から運転している。

神戸製鋼グループの神鋼環境ソリューションが中心になって設立したバイオマス発電所であり、年間7～8万トンの木質チップを燃料として使用している。発電能力は7MWであり、5,000万kWhの電力を供給している。これは一般家庭の使用量に換算して、1万4,000世帯分の電力を供給するもので大野市の総世帯数1万1,000世帯にほぼ匹敵している³⁾。

また、日本海に面した福井港の先端に図4. 8に示す4基の大型風車による三国風力発電所が建設され2017年1月に運転を開始した。風車1基あたりの発電能力は2MWで、合わせて8MWになり年間の発電量は1,440万kWhを見込んでいる。これは一般家庭の4,000

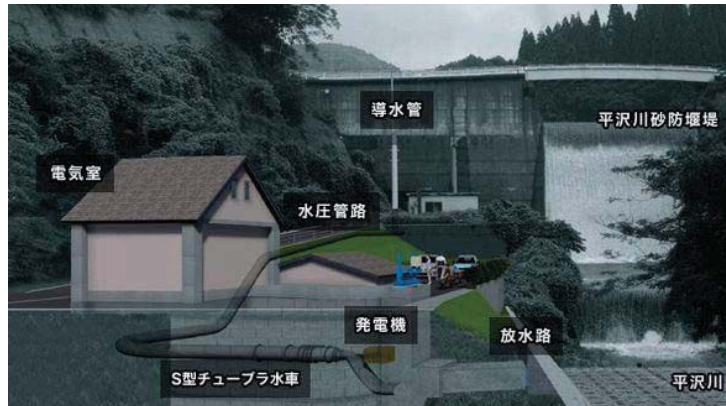


図4. 4 「平沢川小水力発電所」の設備¹⁰⁾ (出典：ニックスニューエネルギー)



図4. 5 木質バイオマス発電の建屋と発電機¹⁰⁾ (出典：コマツ)



図4. 6 消化ガスを貯蔵するタンク¹⁰⁾ (出典：石川県環境部)

世帯分に相当するとされている³⁾。

福井県では再生可能エネルギーの導入プロジェクトが進みつつあるものの、表4. 1に示すように県内で運転している再生可能エネルギーの発電能力の全国順位は低い。今後の再生可能エネルギーの利用設備の普及が期待される。



図4. 7 「大野発電所」の全景³⁾ (出典：福井グリーンパワー)



図4. 8 「三国風力発電所」の完成イメージ³⁾ (出典：北陸電力，日本海発電)

長野県

長野県は水力発電が盛んであり、全国的にも水力発電による発電能力はトップである。また、県内の電力需要の8割以上を再生可能エネルギーで供給できる能力に相当し、その内8割程度を水力発電が占めている。図4. 9に示す様に長野県が運営する水力発電所は14カ所あり、北部の北アルプスと南部の南アルプスから流れ出る川の流域で様々な規模の水力発電所が稼働している。それらの発電能力を合わせると99MW発電能力に達する⁴⁾。

また、農業用水路を利用した小水力発電の普及も進んでおり、南アルプス南部の伊那市では図4. 10に示す農業用水路を利用した「美和小水力発電所」が2015年9月から運転を開始している。56mにわたって地中に水圧管路を埋設し、発電所の地下に設置したスクリー式の水車発電機に水を流し込んで発電する仕組みとなっている。水流の落差は13mで、最

大12kWの電力を発電する。年間の発電量は9万3,000kWhを見込んでおり、これは一般家庭の26世帯分に相当する電力になる⁴⁾。

各地の農業用水路に小水力発電が拡大する一方で、村が民間企業と共同で小水力発電に取り組む例もある。図4. 11に北部の高山（たかやま）村で2015年10月に運転を開始した「高井発電所」を示す。川の土砂災害を防ぐための砂防堤堰（ていせき）から水を取り込み高さが36mある堤堰の上部に穴をあけ、そこから取り込んだ水を水車発電機に送って発電している。発電能力は420kWであり、年間の発電量は270万kWhを見込んでいる。これは一般家庭の750世帯分に相当し、高山村の総世帯数2,300世帯が消費する電力量の3割以上を供給している⁴⁾。

また、長野県中部の安曇野（あづみの）市「安曇野バイオマス・エネルギーセンター」では図4. 12に示す様にガス事業を手がけるエア・ウォーターがトマトを栽培する農園の敷地内に大規模な木質バイオマス発電設備を設置し2016年5月から稼働している。ここでは地域の森林で発生する間伐材などを燃料に使うって電力と熱を供給している。木質チップを燃焼してガスを発生させる方式を採用しており、発電能力は1,900kW、熱の出力は電力に換算して3,800kWに相当する。年間の発電量は3,000世帯分になり自家消費する以外は中部電力に売電してエネルギーセンターの運転維持費にあてている⁴⁾。

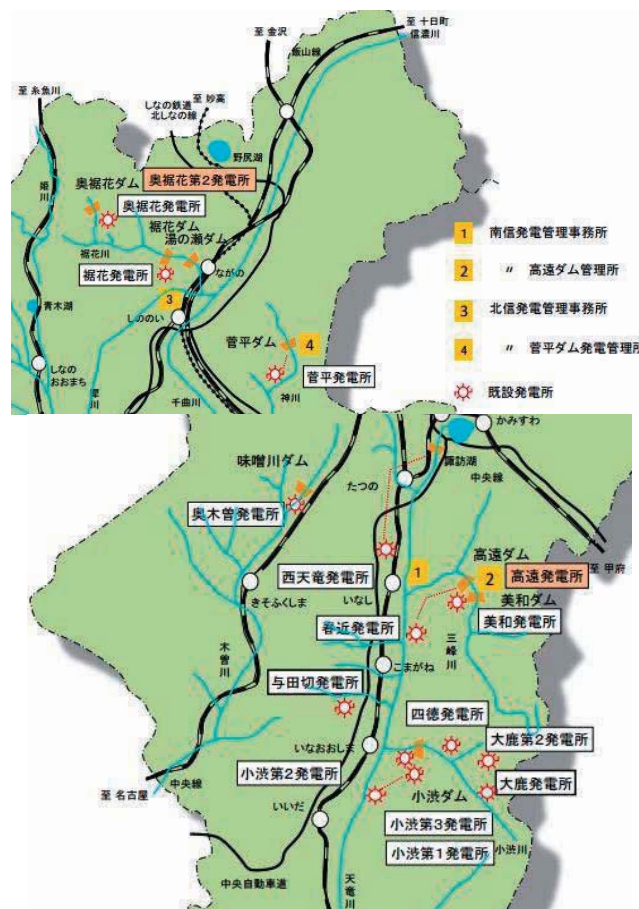


図4. 9 長野県の北部（上）と南部（下）に展開する水力発電所⁴⁾
 (出典：長野県企業局)

長野県では太陽光、水力、地熱の再生可能エネルギーの普及が進んでおり、表4. 1に示すように高い発電能力を誇っている。一方でそれらに比べてバイオマス発電の発電能力は低いため、今後は森林資源を利用した発電設備の普及が期待される。



図4. 10 「美和小水力発電所」の建屋と水車発電機（上）、小水力発電の仕組み（下）⁴⁾
 （出典：長野県農政部）

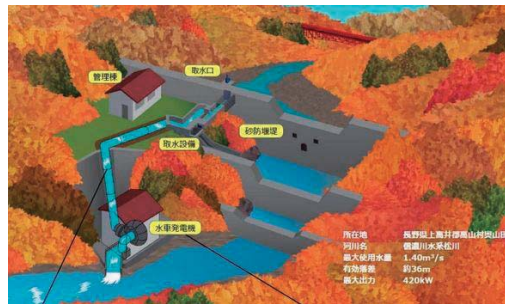


図4. 11 「高井発電所」の小水力発電設備⁴⁾（出典：日本工営）



図4. 12 「安曇野バイオマス・エネルギーセンター」の外観⁴⁾（出典：エア・ウォーター）

岐阜県

岐阜県は森林面積が8割以上を占め、豊富な水資源とバイオマス資源による水力発電とバイオマス発電、加えて太陽光発電の普及が進んでいる。現在、県内では農業用水路に小規模な水力発電機を設置した電力の自給自足やダムを利用した小水力発電が運転されており都市部では地域一体型のバイオマス発電が行われている。元々ダムには「河川維持流量」という下流の自然環境を守るため常に一定の水量を流し続ける役割があるが、岐阜県では、全国に先駆けてその河川維持流量を利用した小水力発電を推進している¹¹⁾。

2015年には2カ所のダムで小水力発電所が動き出しており、その1つは図4.13に示す郡上市にある「阿多岐（あたぎ）水力発電所」である。毎秒0.7m³を河川維持流量ダムから放流し38mの落差で発電している。発電能力は190kWであり年間に130万kWhの電力を供給できるとされている。これは一般家庭の360世帯分の使用量に相当している¹¹⁾。

もう1カ所は図4.14に示す「矢作（やはぎ）第二ダム」からの河川維持流量を利用した「新串原（しんくしはら）水力発電所」である。水流の落差は20mであるものの毎秒1.6m³の水量を生かした発電能力は230kWになる。年間の発電量は170万kWhを見込んでおり470世帯分の電力使用量に相当している¹¹⁾。

また、県内では森林で発生する間伐材などの未利用木材が大量に残っているため、瑞穂市では図4.15に示す地元の染色メーカーが中心になって設立した「岐阜バイオマスパワー」の木質バイオマス発電所が2014年12月から運転している。この発電所の燃料に使用する木質バイオマスは年間に9万トンと見込まれており、その3分の2は森林の間伐などで発生する未利用の木材、3分の1は製材後の端材などを利用している。さらに発電所の近くにはチップの製造施設も同時に完成しており、燃料の調達から発電までの一貫体制が整っている。発電能力は6,250kWで年間の発電量は1万1,000世帯分に相当する規模となり瑞穂市の総世帯数1万5,000世帯の7割以上の電力使用量を網羅できることになる¹¹⁾。

岐阜県では県内に豊富に存在する水資源や森林資源を利用した水力発電とバイオマス発電が盛んであり今後は高い発電能力を有する発電設備の継続的な運転が望まれている。また、太陽光発電や風力発電等のさらなる普及が期待される。



図4.13 「阿多岐水力発電所」の小水力発電設備¹¹⁾（出典：中部電力）



図4.14 「新串原水力発電所」の小水力発電設備¹¹⁾ (出典：中部電力)



図4.15 「岐阜バイオマスパワー」の木質バイオマス発電プラント¹¹⁾ (出典：岐阜県林政部)

静岡県

静岡県の再生可能エネルギー利用については世界文化遺産の富士山との共存が最も重要とされ、太陽光や水力に加えて風力や地熱といった豊富な資源をバランス良く活用している。伊豆半島の山中には2005年から10年間開発してきた「東伊豆風力発電所」があり大型の風車11基を並べた風力発電所が2015年8月から運転している(図4.16)。その3カ月前には、東京電力が出資するユーラスエナジーグループの風力発電所も運転を開始しており、両方を合わせて21基の大型風車が山の尾根に並び発電能力は35MWに達する風力発電の拠点となっている。年間の発電量は一般家庭の使用量に換算して2万世帯分とされている¹²⁾。

また、伊豆半島の中でも東伊豆町は積極的に再生可能エネルギーの導入を進めており、図4.17に示す町営「東伊豆町風力発電所」を2003年から稼働させている。1基あたり0.6MWの風車3基で構成されており、太平洋から吹く風を受けて年間350万kWhの電力を供給している。この発電所だけでほぼ1,000世帯分の電力に相当する¹²⁾。

一方で東伊豆町が図4.18に示す「エコリゾートタウン東伊豆」を推進する一環として整備した地熱と水力を利用する発電所が2014年から運転している。発電能力は地熱による温泉発電が3kW、町内の公園に設置した小水力発電は0.7kWであり地域の自然を生かし

たエネルギーの地産地消による地球環境保護にも取り組んでいる¹²⁾。

さらに富士山のふもとでは図4. 19に示す「富士山エコパーク焼却センター」に設置されたバイオマス発電設備が2015年4月から運転されている。運営は富士山の東側に広がる御殿場市と小山町が共同で行っている。地域で発生する可燃ごみを焼却し、その熱を利用して2.5MWの電力を供給することができ、発電した電力は施設内で消費され余剰分は売



図4. 16 「東伊豆風力発電所」の全景¹²⁾ (出典：東京電力)



図4. 17 「東伊豆町風力発電所」の全景¹²⁾ (出典：東伊豆町企画政策課)



図4. 18 東伊豆町が運営する温泉発電所の外観(左上)と配管(右上)、小水力発電の取水口(左下)と発電機(右下)¹²⁾ (出典：東伊豆町企画政策課)



図4. 19 「富士山エコパーク焼却センター」の全景¹²⁾ (出典：日立造船、飛島建設)

電されている¹²⁾。

静岡県では太陽光、風力、水力、バイオマスの再生可能エネルギーを広く活用しており、表4. 1における運転中の設備の発電能力は全国的にどれも高い順位にある。今後も継続した再生可能エネルギーの利用が期待されている。

愛知県

愛知県における再生可能エネルギーの利用は主として太陽光発電と風力発電が盛んに行われており、沿岸部を中心にそれらを利用した発電所が設置されている。また、内陸部では小水力やバイオマスエネルギーを利用した発電設備が建設されている。県内南端に位置する渥美半島の日射量は多く、年間を通して太平洋から強い風が吹き続けており、沿岸部には工業地帯が広がっている。その地域には図4. 20に示す「たはらソーラー・ウインド発電所」があり、2014年10月から運転している。この発電所の特徴は太陽光と風力の双方で発電を行うハイブリット型であり、さらに異なる4種類の太陽光パネルを組み合わせるなどの工夫により天候による出力の変動を小さくしている。発電能力は太陽光で50MW、風力は3基の大型風車で6MWになり年間の合計発電量は6,750万kWhと見込まれている。これは一般家庭の使用量に換算して1万9,000世帯分に相当し、田原市の総世帯数2万2,000世帯の9割近くに相当する。また、愛知県企業庁が所有する98万㎡の用地には、図4. 21に示す「たはらソーラー第一・第二発電所」が建設され2カ所合わせた発電能力は81MWに達し、年間の発電量は9,200万kWhとされている。これは一般家庭の2万5,000世帯分に匹敵する。「たはらソーラー・ウインド発電所」を加えることで田原市の全世帯が使用する2倍の発電規模となる¹³⁾。

一方、内陸の都市部では大量に発生する生ごみを利用したバイオマス発電の取り組みが進んでいる。大府（おおぶ）市では廃棄物処理事業を営むオオブユニティにより図4. 22に示す廃棄物を利用したバイオガス発電設備が2015年7月から運転されている。家庭などから排出される生ごみをメタン生成菌により発酵させ、燃料のバイオガスを生成している。バイオガス回収後の残渣は堆肥に加工して農作物の栽培に生かすことが検討されており、

エネルギーの地産地消とともに循環型システムによる廃棄物処分量の削減を目指している。バイオガスによる発電能力は625kWで年間に500万kWhの電力供給が見込まれている。これは一般家庭の使用量に換算すると1,400世帯分に相当する。総事業費に25億円を費やしたものの発電した電力は固定価格買取制度で売電することにより年間約2億円の収入が見込まれ、20年間で設備投資を回収する予定である⁷⁾。



図4. 20 「たはらソーラー・ウインド発電所」の全景¹³⁾ (出典：三井化学ほか)



図4. 21 「たはらソーラー第一発電所」(上)と「第二発電所」(下)の全景¹³⁾ (出典：シーテック)



図4. 22 「横根バイオガス発電施設」の全景⁷⁾ (出典：オオブユニティ)

表4. 1に示されるように愛知県の太陽光発電と風力発電の発電能力は全国的に高い順位にあり、今後は沿岸部でのさらなる設備の設置が期待される。また、内陸部における小水力発電やバイオマス発電普及と、県内の広い地域での太陽光発電の普及が期待される。

三重県

三重県では風力発電が盛んであり風力発電所の新設も進んでいる。現在、三重県の丘陵地帯の中部に広がる青山高原には50基を超える風車が稼働しており、その中に図4. 23に示す様に津市、伊賀市および中部電力グループのシーテックが加わって運営する「青山高原ウインドファーム」がある。20基の風車による発電能力は15MWである。新たに40基の大型風車を増設する工事が進行している。2016年4月に一部の運転を開始しており新旧合わせて95MWの発電能力になるとされている¹⁴⁾。

一方で都市部では太陽光発電とバイオマス発電の導入プロジェクトも進展している。特に、県内の住宅地に隣接する場所に太陽光発電を導入する事例が増えている。一例として近畿日本鉄道が開発した「ゆめが丘住宅地」があり、2,000戸の住宅地が広がる地域では図4. 24に示す「近鉄伊賀ゆめが丘ソーラー発電所」の運転が2014年10月から開始されている。23万㎡の土地を利用しており発電能力は15.5MWで年間の発電量は4,700世帯分となっている¹⁴⁾。



図4. 23 「青山高原ウインドファーム」の全景¹⁴⁾ (出典：三重県雇用部)



図4. 24 「近鉄伊賀ゆめが丘ソーラー発電所」の全景 (左)、太陽光パネルの設置状況 (右)¹⁴⁾ (出典：近畿日本鉄道)

また、県中部の人口1万5,000人の多気（たき）町では図4. 25に示す「多気バイオパワー」の木質バイオマス発電所が2016年6月から稼働している。地域で発生する間伐材などを年間6.5万t利用しており発電能力は6.7MWで5,000万kWhの電力を供給できる。これは一般家庭の使用量に換算して1万4,000世帯分に相当し、多気町の総世帯数5,600世帯の2.5倍に匹敵する⁸⁾。

さらに津市の沿岸部にある工業地帯では、図4. 26に示す木質バイオマス発電所の「グリーンエナジー津」が2016年8月から稼働している。バイオマス燃料は地域で発生する間伐材のほかに東南アジアから輸入するパームヤシ殻も併用している。2種類の燃料を効率よく混焼させるため「循環流動層ボイラー」を採用しており、発電効率を30%以上に高めている。発電能力は20MWで年間に1億5,800万kWhの電力を供給する。これは4万4,000世帯分の電力となり津市の総世帯数12万4,000世帯の3分の1をまかなうことが可能とされている⁸⁾。

三重県では風力発電の普及は十分に進んでいるが、表4. 1に示すように太陽光発電やバイオマス発電の発電能力も全国的に高い順位にあり、今後の継続的な運転が期待される。一方、水力の利用はあまりなされていないため今後の水資源の活用が期待される。



図4. 25 「多気バイオパワー」の全景⁸⁾（出典：中部プラントサービス）



図4. 26 「グリーンエナジー津」の発電設備の全景⁸⁾（出典：JFEエンジニアリング）

滋賀県

滋賀県は再生可能エネルギーの導入量は全国的に少ないものの2030年には太陽光により県内電力需要の8%にあたる10億kWhの電力を供給する計画が進んでいる。このため太陽光発電の導入プロジェクトが各地域で急速に進んでおり、すでに33カ所でメガソーラーが運転されている。また、固定価格買取制度の認定を受けて開発中のメガソーラーが80カ所ある。一例として図4.27に県内の食肉流通拠点である「滋賀食肉センター」のメガソーラーを示す。構内にある2万5,000㎡の土地に8,600枚の太陽光パネルが設置されており、2013年12月から稼働している。発電能力は1.75MWで年間の発電量は184万kWhとなり一般家庭500世帯分の使用量に相当する¹⁵⁾。

また、小水力発電の導入も精力的に進められており滋賀県が実施する小水力発電の中にはダムを利用した大規模のものもある。琵琶湖の東側10kmほどの場所において図4.28に示す「姉川（あねがわ）ダム」の建設工事が進んでいる。高さが80mあるダムの堤体の上部から発電所までの水流落差50mを生かした発電能力は900kWになる。2017年4月に運転を開始する予定で、年間の発電量は470万kWhを想定し一般家庭の1,300世帯分に相当する電力を供給すると見込まれている。一方、同じ姉川の支流では「足俣川（あしまたがわ）小水力発電所」が2016年9月に運転を開始した。ダムと比べると水量は少ないものの水流落差93mを活かした発電能力は194kWで年間の発電量は147万kWhを見込んでいる。これは一般家庭で400世帯分に相当する⁹⁾。

さらに、米原市内で運転を開始した木質バイオマス発電所を図4.29に示す。3.55MWの電力を供給することができ1日24時間の連続運転で1年間に330日の運転を予定している。年間の発電量は2,800万kWhになり7,800世帯分の電力を供給するとされている。これは米原市の総世帯数1万4,000世帯の半分以上をまかなうことができる規模である¹⁵⁾。

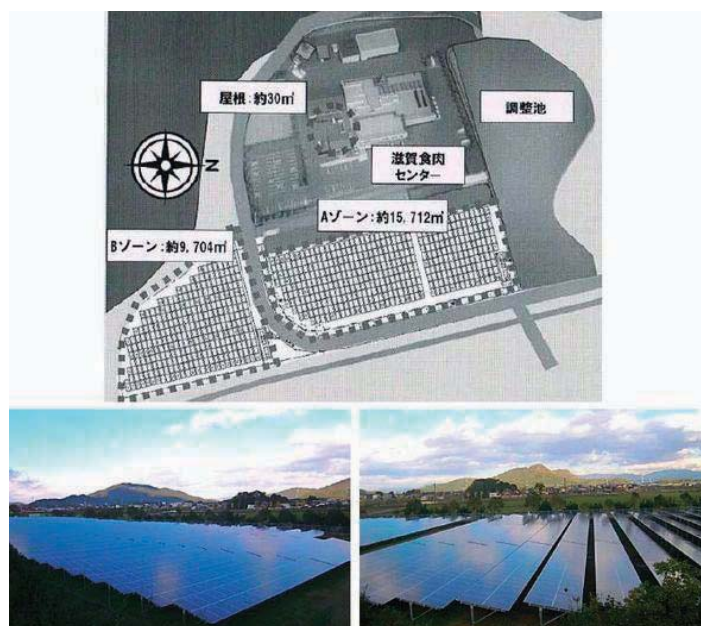


図4.27 「滋賀食肉センター」のメガソーラー¹⁵⁾ (出典：滋賀県エネルギー政策課)

滋賀県は全国的にみて再生可能エネルギーの利用はあまり進んでいない。琵琶湖の豊富な水資源や農業用水などの小水力も含めた水力発電の設備の今後の普及が期待される。



図4. 28 「姉川ダム」に建設する小水力発電所⁹⁾ (出典：滋賀県県民生活部)



図4. 29 「いぶきグリーンエネルギーバイオマス発電所」の全景¹⁵⁾ (出典：いぶきグリーンエネルギー)

4. 2 再生可能エネルギーの導入に向けた今後の課題

再生可能エネルギーの利用に向けて各県において導入が進んではいるものの本格的な普及には至っておらず経済性を含めて多くの課題が存在している。これらの課題を技術面からブレークスルーすることにより再生可能エネルギーの導入をさらに推進していくことが必要である。本節では各再生可能エネルギーの課題、さらに各県の自治体内における今後の再生可能エネルギー利用への期待についても述べる。

太陽光発電

太陽光パネルの設置が適地であっても特別高圧送電線等が近隣にない場合、発電所を設置する事業者自身が送電線を整備する必要がある。これらのコストを含めた場合、採算が

取れないことが課題として挙げられる。さらに天候や日照条件により出力が不安定となるため高品質な電力が要求されるラインへの直接的な供給は難しいとされている。そのため、蓄電池やコージェネレーションとの組み合わせにより出力を安定させるシステムの構築が求められている。また、建設された時期が古く、老朽化している太陽光発電施設や太陽光パネルの設置に耐えうる強度を有していない施設があり設置上の安全性が問題となっているケースもみられる。

風力発電

風力発電に適した土地は、過疎地域や送電線のインフラ等が整備されていない場合が多く整備コストが事業者の負担となり採算性が悪化するという課題が挙げられている。また、風力発電は風速に応じて出力が変動し無風の時は発電できないため基幹電源としての利用は難しいとされている。さらには、周辺地域への騒音や振動などの問題や鳥との接触破損の問題があり風力発電所を新設する場合、周辺環境や生態系への影響の十分な調査が必要とされている。公共施設への設置に関しては法律上の許可基準による制約があり設置が容易でないことがある¹⁶⁾。

地熱発電

地熱発電のためには地下2,000m程度までの掘り下げが必要なこと、高温熱水や蒸気の安定供給が必要とされることからコスト削減が課題として挙げられる。また、運転開始まで10年以上の時間がかかることや熱エネルギーの不足や温泉に影響を与えることが判明した場合、開発を断念せざるを得ないといったリスクもある。さらに自然公園法により国立公園や国定公園などでの発電所の建設は認可されていないが温泉地などはこれらのどちらかに当てはまることが多く地熱発電の開発・普及に大きな障害となっている¹⁶⁾。

水力発電

発電所の設置場所ごとに水流落差や流量等の条件に適した設計をする必要があり発電施設の量産化が難しく初期コストが高くなることが課題として挙げられている。また、平地部では発電に必要な落差が確保できず、山間部では発電所と電力供給先との距離が長いことから水力発電の導入が困難となることもある。さらに、水力発電所設置において河川法や電気事業法に基づく手続きが必要となる¹⁶⁾。

バイオマス発電

バイオマス発電では第一にバイオマスの供給が課題として挙げられる。バイオマスは広い地域に分散しているため収集や運搬にコストがかかる。このため、発電事業者と地域産業や自治体との連携が必要となり経済性が成り立つ体制の構築が必要とされている。熱効率を考えた場合、現在主流となっている蒸気タービン式よりもガス化システムの方が熱効

率を高くすることができるが採算性を考えた場合、ガス化システムは高コストとなり商用化は限定的である。また、高含水バイオマスの利用時には脱水などの前処理技術が必要となる。一方、FITによる買取対象は生物由来のバイオマスのみであり未利用の木材とリサイクル木材とでは買取価格に差があるため原料の分別や種類ごとの厳密な手続きが求められることにも普及が困難な理由となっている¹⁶⁾。

各県の自治体における再生可能エネルギー利用への期待

各県の自治体の政策担当者に今後利用が期待できる再生可能エネルギーがあるかどうかについてアンケートした結果を表4. 2に示す。再生可能エネルギーについて概ね期待できるとした割合と今後利用可能な再生可能エネルギーの種類について整理した結果、概ね期待できると回答した割合が50%を下回ったのは石川、岐阜、愛知となった。これらの県は風向や水資源、日射量に恵まれており、すでに再生可能エネルギーの設備の導入が進んでいるため今後のさらなる導入について若干消極的になったものと考えられる。概ね期待できると回答した割合が50%を大きく上回ったのは長野、静岡、三重、滋賀であり50%程度の県は富山、福井である。これらの結果から中部圏全体としては再生可能エネルギーの導入に対する期待は概ね高く、今後の再生可能エネルギーの発電設備の改良とともに普及が期待されている。

表4. 2 今後再生可能エネルギーの利用が期待できるかについてのアンケート集計結果¹⁷⁾

	概ね期待できる* [%]	今後利用可能な再生可能エネルギーの種類				
		太陽光 発電 [%]	風力 発電 [%]	地熱 発電 [%]	水力 発電 [%]	バイオマス 発電 [%]
富山	58.3	41.7	8.3	8.3	41.7	0
石川	35.7	28.6	7.1	7.1	14.3	7.1
福井	50	35.7	14.3	0	21.4	28.6
長野	75.4	50.9	7	8.8	42.1	24.6
岐阜	44.8	48.3	3.4	6.9	27.6	13.8
静岡	85.2	66.7	25.9	3.7	33.3	22.2
愛知	35.6	35.6	2.2	0	6.7	13.3
三重	66.7	52.4	9.5	0	23.8	23.8
滋賀	81.8	63.6	18.2	0	27.3	27.3

* 概ね期待できる：今後利用が期待できる再生可能エネルギーがあるかどうかの質問に対して、「そう思う」および「どちらかというと思う」とした回答の合計

参考文献

- 1) エネルギー列島2016年版 (18) 富山、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1608/23/news034.html>)
- 2) エネルギー列島2016年版 (19) 石川、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1608/30/news023.html>)
- 3) エネルギー列島2016年版 (20) 福井、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1609/06/news021.html>)
- 4) エネルギー列島2016年版 (16) 長野、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1608/09/news029.html>)
- 5) エネルギー列島2016年版 (21) 岐阜、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1609/13/news018.html>)
- 6) エネルギー列島2016年版 (22) 静岡、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1609/20/news025.html>)
- 7) エネルギー列島2016年版 (23) 愛知、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1609/27/news027.html>)
- 8) エネルギー列島2016年版 (24) 三重、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1610/04/news022.html>)
- 9) エネルギー列島2016年版 (25) 滋賀、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1610/11/news025.html>)
- 10) エネルギー列島2015年版 (19) 石川、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1508/25/news027.html>)
- 11) エネルギー列島2015年版 (21) 岐阜、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1509/08/news021.html>)
- 12) エネルギー列島2015年版 (22) 静岡、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1509/15/news027.html>)
- 13) エネルギー列島2015年版 (23) 愛知、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1509/24/news022.html>)
- 14) エネルギー列島2015年版 (24) 三重、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1509/29/news017.html>)
- 15) エネルギー列島2015年版 (25) 滋賀、スマートジャパン、ITmedia
(<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1510/06/news019.html>)
- 16) エネルギーレポートあいち「第2章 本県におけるエネルギーの現状と課題」、愛知県ホームページ (www.pref.aichi.jp/kikaku/energyreport/03.pdf)
- 17) 都道府県単位で見た再生可能エネルギー利用の特徴と課題：全国市区町村アンケートの結果から、岩倉研 山下英俊、一橋大学機関リポジトリ

第3編 中部圏における再生可能エネルギーの利用拡大に向けた提言

第5章 中部圏における太陽光発電の利用拡大について

本章では中部圏における太陽光発電の導入可能量と利用の現状¹⁾をふまえ、利用拡大のための課題を整理するとともに今後の利用拡大に向けた対応案を検討する。

5.1 はじめに

現在、世界的規模でCO₂放出による大気中の温暖化ガス濃度が増加して地球温暖化の原因になっており、国連主導でCO₂削減を各国に義務付けようとしている。再生可能エネルギーの利用拡大はその対策の一つであり、本章では太陽光発電の利用拡大について考えた。COP21後の2015年7月に経済産業省がまとめた「長期エネルギー需要の見通し」によれば2030年の電源構成の中で太陽光発電は7%を占める割合まで拡大することを期待されているので、これを数値目標として検討した。

中部経済圏は日本の3大都市のひとつである名古屋市を中心に置いた経済圏であるが、リーマンショックなどの経済不況やグローバル化による製造業の落ち込みを自動車関連のグローバルな製造体制のハブとしての機能を果たすことによって切り抜けてきた。いまでは大阪を抜いて日本第2の経済圏となっている。しかしながら問題がないわけではなく、大都市に人口が集中する傾向はこの経済圏でもみられる。2017年1月7日の日経新聞では、愛知県以外の8県では人口が減少しており地方の落ち込みが見えている。少数のグローバル巨大企業だけに頼るのは限界がある。中小企業や農林水産業などの活性化が中部経済圏全域で必要であるが、これまでの地方創生事業や地産地消活動では十分ではなく、新たな提案が必要である。

COP21で約束した地球温暖化対策として再生可能エネルギーの導入を進めることは、人類全体の未来を拓くために必要不可欠な事業である。そして、これを活用してこの地区で太陽光発電を増産し、その電力を使って新事業・産業を地域内に興し地方創生につなげることがのぞまれる。

5.2 太陽光発電の現状

(1) 太陽電池の種類と特徴²⁾³⁾⁴⁾

太陽から発せられる太陽光は地球に届くまでの距離が長いため、平行光線になって地球表面に降り注いでいる。地球は球形であり自転軸の傾き及び緯度によって照射量に地域差がおこるが、概ね1kW/m²の光が届いている。また地球表面に届いた太陽光の30%は反射によって宇宙に戻されている。太陽は表面温度が約6,000Kであり、0.5μmにピークがあり、約3μmの赤外域まで広がっている黒体放射光である。この光を吸収して電力に変えるものが太陽電池であり、シリコン結晶などの半導体が使われてきている。表5.1に

表 5. 1 太陽電池の種類と特徴

種 類		特 徴	実用化と 効率	研究での 効率	主要な国内外メーカ	
シリコン系	結晶系 単結晶	<ul style="list-style-type: none"> 約200μm厚のSi単結晶の基板を使用している 実績豊富 コストダウンが課題 	実用化 ~20%	~25%	パナソニック シャープ 三菱電機	Yingli(中) JAsolar(中) Trina(中) HanwaQcells(韓独)
	多結晶	<ul style="list-style-type: none"> 異なった面方位のSi結晶からなる多結晶基板を使用 単結晶より安価、低効率 	実用化 ~15%	~20%	京セラ 三菱電機 シャープ	Yingli(中) JAsolar(中) Trina(中)
	薄膜系	<ul style="list-style-type: none"> アモルファスSiや微結晶Si薄膜をガラス基板上に形成 大面積、量産可能 効率向上が課題 	実用化 ~9%		カネカ シャープ	GS solar(中) Nex Power(台)
化合物系	CIS系	<ul style="list-style-type: none"> Cu,In,Se等からなる薄膜型 高効率の可能性あり Inが希少元素なのが課題 	実用化 ~14%		ソーラーフロンティア	Hanergy(中) MiaSole(米)
	CdTe系	<ul style="list-style-type: none"> カドミウム、テルルを用いた薄膜型 低コスト、量産可能 Cdの毒性が課題 	実用化 ~13%		国内なし	First Solar(米)
	III-V族系	<ul style="list-style-type: none"> GaAsやInPなどの化合物セル 高効率 低コスト化が課題 	研究段階	~38% (集光型)	シャープ	Amonix(米) Soitec(仏)
有機系	色素増感	<ul style="list-style-type: none"> 酸化チタンのナノ粒子に付着した色素が光吸収するタイプ 耐久性やコストが課題 	研究段階	~14%	アイシン精機 シャープ フジクラ	G24Inovations(英) Dysole(豪)
	有機薄膜	<ul style="list-style-type: none"> 有機半導体を使う 耐久性が課題 	研究段階	~12%	三菱化学 住友化学 JXエネルギー	Heliatek(独)
新概念	量子ドット	<ul style="list-style-type: none"> まだ開発の初期段階 	研究段階	~7%	東京大	UCLA NREL Univ of Tronto

主な太陽電池とその特徴、効率、メーカ名をまとめた。

表 5. 1 からわかるように、効率はSi単結晶の太陽電池が最も高く、Si以外の基板を使った太陽電池の効率は低いのが現状である。Si単結晶電池の課題はコスト高である。多結晶はSi基板の価格が単結晶より安価なので代替品として開発されているが、いまだに単結晶の効率に届いていない。またIII-V族の化合物太陽電池などでは照射光の密度を上げると効率も上がる傾向があるので、集光型の研究もされており、40%程度の効率が研究では得られているが、集光に必要な面積は大きくなり、またレンズ等の設備が必要になるので、普及するにはまだ時間がかかるものと考えられる。

なお、太陽光電池の普及には、製品価格のコストダウンが必須ではあるが、エネルギー源を選択する際には、CO₂削減効果としては、コストでなくEPT（エネルギーペイバック年数：生産に要したエネルギーを年間の発電量で割った値）で評価することが肝要である。

例えば結晶Si系太陽電池のEPTは約2年で、2年間発電すれば太陽電池製造にかかったエネルギーを回収でき、その後はCO₂を削減していくことになる。

(2) 最近の導入量と今後の見込み

表 5. 2 は再生可能エネルギーの導入状況と2030年に向けて必要な導入量を予想した経

産省の報告（資源エネルギー庁 2016年1月「再生可能エネルギーの導入状況と固定価格買取制度見直しに関する検討状況について」）から引用したものである。これによれば最近の我が国の太陽光発電導入量は2,841万kWであり、FITの効果もあり2030年の導入量見込みは6,500万kWである。しかし、このまま住宅や非住宅（メガソーラー設備など）での需要が伸びていくか疑問であり新しいニーズの発掘が必要である。

表 5. 2 再生可能エネルギーの導入状況と2030年に向けた予想値⁵⁾

	太陽光	風力	中小水力	地熱	バイオマス
FIT前 (2012.3)	531	256	963	54	231
現在(A) (2015.9)	2841	296	976	52	259
ミックス(B) (2030)	6400	1000	1084~ 1155	140~155	602~728
B(最大)/A	約2.3倍	約3.4倍	約1.2倍	約3.0倍	約2.8倍
認定量 (2015.9)	7976	233	71	7	268

(万kW)
※・エネルギーミックスにおいては、中小水力発電の既導入設備容量を示してはいるが、ここでは出力別毎に水力調査データにエネルギーミックスで示された追加導入見込量（+150～201万kW）を合算して算出した。
 ・太陽光発電と風力発電については、出力制約の状況等によって導入量は変わらう。

5. 3 課題と目標

2015年7月に経産省が出した2030年時点での電源構成予測（図5. 1）によると、太陽光発電は7%を担うことが期待されている。2015年と2030年の総エネルギー量は省エネ効果で横ばいとしていることから、中部圏9県の場合も同様に推移すると考えれば、2015年の総電力需要量約1,945億kWh/年の実績を使って、太陽光発電の発電量を約68億kWh/年から約136億kWh/年にと2倍に拡大する必要がある。

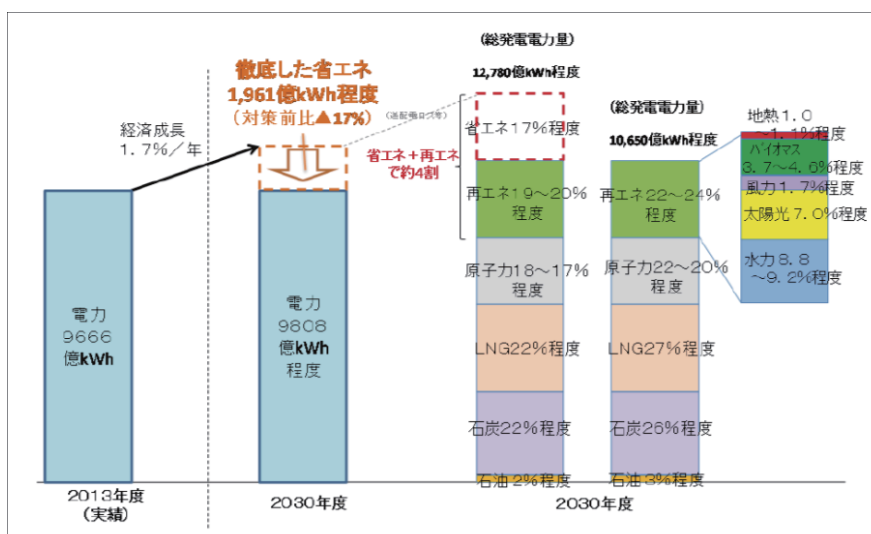


図 5. 1 2030年での電源構成の予測（資源エネルギー庁 2016年1月）⁶⁾

太陽光パネルはほとんどが平板であり発電量を増強するには一般的には広い敷地面積が必要である。従来の住宅、ビルや工場などの屋根や空き地だけでなく、新たな用途を発掘することが必要である。

5. 4 エネルギー地産のための農地活用の検討

(1) 現状の分析

農林水産省が2016年4月に公表した「農林漁業の健全な発展と調和のとれた再生可能エネルギー電気の発電の促進に関する法律（農山漁村再生可能エネルギー法）について」では、農地の統計で荒廃耕田（再生利用困難）が全国で14.4万haある⁷⁾。中部圏9県の荒廃農地の合計は1,818haである。日照時の発電量が概ね200W/m²程度であり、年間日照時間も1,000hr~2,000hr程度であると考えたと全ての荒廃農地を使っても推定発電量は約36億kWh/年となり、目標の136億Kwh/年に届かないことから別の方策が必要である。そこで、後で述べるソーラーシェアリング農業のアイデアを使って第一種農作地に太陽光電池をおくとすると、136億kWh/年のエネルギーを得るには2.3万ha必要で、中部圏9県の田畑の農地（56万ha）の概ね4.8%をソーラーシェアリング農地で占めることになる。（年間1,000hr、効率20%とし、また当該の田畑面積の30%しか太陽光発電に使えないと想定した場合の試算）

(2) ソーラーシェアリング農業について

ソーラーシェアリング農業（営農継続型発電）はCHO研究所所長の長島彬氏⁸⁾が発案したものであり、農作物に光飽和点（光合成に適した太陽光照度）があることから、従来の収穫を確保しつつ、余剰の太陽光を利用して太陽光発電に回し、買電収益を得るもので、健全な農作地の上に太陽光パネルを設置する新農業である。以下にソーラーシェアリング農業の技術的根拠を記す。

① 光飽和点について

図5. 2は農作物の成長を支配する光合成速度の日射量依存性を示すものである。光合成速度は日射量が増えれば増えるほど早くなるわけではなく、一定の値で飽和することが分かっている。その値は多くの作物で晴天時の最大日射量より低いことが知られている。

ソーラーシェアリング農業は農作物の光—光合成点が日照量より低いことを根拠にして、農作地の数メートル上を太陽電池パネルで覆って、作物にあたる日照量を光合成に適切な光量に減じるものである。岩崎電気のHP⁹⁾によればイネは光飽和点が40から50キロルクス (klx) であり、補償点は0.5から1キロルクスである。晴天の時の太陽光照度は約100キロルクスなので、育成に必要な太陽光は半分程度あればよいことになり余剰の半分を太陽光発電に回せることになる。

なお、野菜類ではトマトが70キロルクス、ナスとエンドウが40キロルクス、キュウリが55キロルクス、レタスは25キロルクスである。果物ではブドウ（巨峰）が40キロルクス

クス、桃やなしが40キロルクスである。

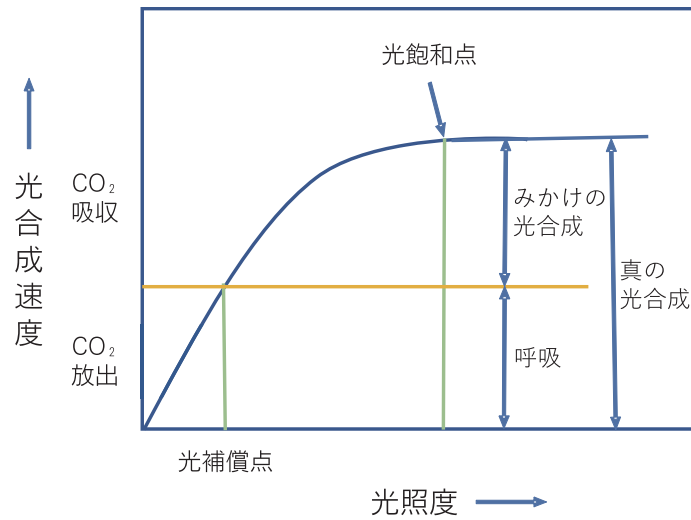


図5. 2 光—光合成曲線

② ソーラーシェアリング農業の概要と利点

ソーラーシェアリング農業における営農継続型発電システムは図5. 3に示すように、農耕地の上に太陽光の入射を一部制限するように斜めに傾けた短冊状の太陽電池パネルを設置するものである。パネルは支柱で支えられていて農作物の生育を阻害しないよう設定されている。

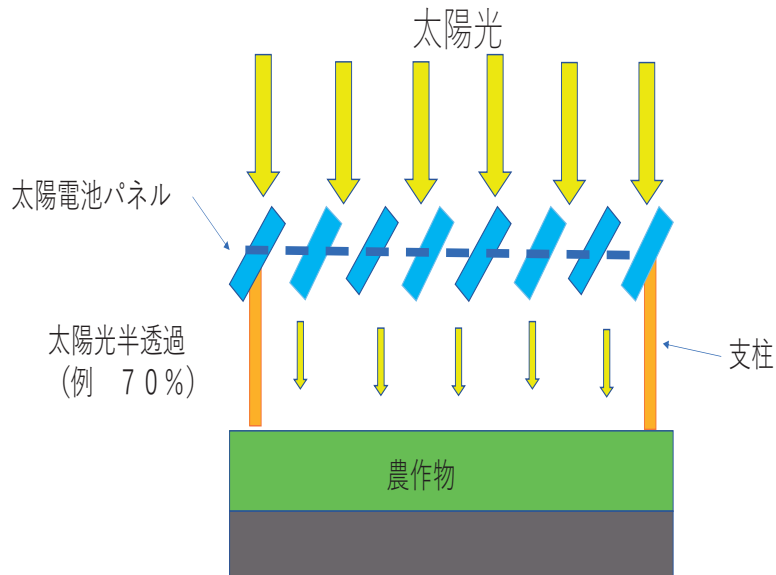


図5. 3 ソーラーシェアリング農業における営農継続型発電システム

農家にとってのソーラーシェアリング農業の利点としては、農作物の収量は従来どおり得られる（光合成飽和点の活用）、日焼けによる作物の障害が防げる（お茶では過剰の日射は渋くなり、悪影響がある）、水やりに必要な水量を少なくできるといった農作上の利

点に加えて、安定した売電収入が得られる（FIT活用）ことがあげられる。また、これら利点により若者に就労意欲を沸かせるといった副次的な利点もあげられる。条件付ではあるが第一次農地であってもソーラーシェアリング農業への用途変更が認められている。

（3）農林水産省の取り扱い

農耕地にソーラーシェアリング農業を適用することについては、農林水産省からの通知が出されていて、再生利用困難な荒廃農地、再生利用可能な荒廃農地は条件なしで適用可能。また、第一種農地については一時農地転用許可（期間は3年間）の対象とし、3年間問題がなければ再許可可能（2013年3月31日付）としている。なお、追加で年1回の報告（農産物生産等への支障の有無）が義務付けされている（2015年12月25日付）。つまり農作物の品質、収穫量に変化がなければ農耕地への適用は可能となっている。（詳細は図5.4を参照）。

趣 旨

近年、支柱を立てて営農を継続するタイプの太陽光パネル等が、新たに技術開発されて実用段階となっている。

このようなケースについて、農地転用許可の対象となるか否かを明らかにする必要が生じている。

この場合、下部の農地で農業生産が継続されるよう確保する必要があり、また、周辺の営農に影響を与えないことが重要。

農地転用に係る取扱いを明確化【平成25年3月31日付で通知を発出】

○ 具体的には、次のように対応することとした。

- ① 支柱の基礎部分について、一時転用許可の対象とする。
一時転用許可期間は3年間（問題がない場合には再許可可能）。
 - ・ 再許可は、転用期間の営農状況を十分勘案し総合的に判断
 - ・ 設備の設置が原因とはいええないやむを得ない事情により、単収の減少等がみられた場合、その事情等を十分勘案（注1）
- ② 一時転用許可に当たり、周辺の営農上支障がないか等をチェック。
 - ・ 営農の適切な継続（収量や品質の確保等）が確実
 - ・ 農作物の生育に適した日照量を保つための設計
 - ・ 位置等は、周辺農地の効率的利用（農用地区域は土地改良や規模拡大等の施策（注2））等に支障がない
 - ・ 支柱は、効率的な農業機械等の利用が可能な高さ（最低地上高2m以上（注3））や空間が確保 等
- ③ 一時転用許可の条件として、年に1回の報告を義務付け、農産物生産等に支障が生じていないかをチェック（著しい支障がある場合には、施設を撤去して復元することを義務付け）。

（注1）から（注3）については、平成27年12月25日付で通知を改正し明確化






図5.4 ソーラーシェアリングの農耕地への適用に関する農林水産省の通知⁷⁾

（4）実施例

図5.5に岐阜県美濃加茂市においてソーラーシェアリング農業を水田に適用した例を示す。稲作（ハツシモ）の水田に太陽電池パネル100w×490枚を設置。太陽電池パネルの隙間を通して下の農地に届く日射量は68%（遮光率32%）である。



太陽光パネルが傾斜しておか
れて、太陽光が間引かれて農
作地を照らす

図5.5 営農型（水田）太陽光発電 美濃加茂第一発電所（写真提供 ㈱野田建設）

5.5 太陽光発電の利用拡大と地域創生の提案（営農継続型発電と植物工場の連携）

ソーラーシェアリング農業で得られた電力でLED植物工場の照射電力を賄う発展型のシステムが考えられる。LED植物工場ではLEDが直流駆動であり、一般の交流商用電力の周波数を変換するインバーターが必要であるが、太陽電池は直流電力なのでそのまま使えるメリットがある。ソーラーシェアリング農業で光量を制御して農作物を育成するためには光合成研究から得られた知識と技術を使うが、植物工場においても青色、赤色LED照射で植物の光合成現象と育成過程を細やかに制御して新しい高品質な食材の製造を行っている。両者の科学と技術には共通するのものがあリ連携によるシナジー効果も期待できる。ソーラーシェアリング農業とLED植物工場が連携して新しい食材を創出していけば、その地区の新たな特産物となり地域創生につながる（図5.7参照）。

植物工場（野菜工場）はどんな天候でも、また狭い土地でも大量生産が可能で、かつ無農薬、清潔、付加価値の高い作物が安定供給できるというメリットから注目されてきたが、多くの工場で赤字経営にあえいでいる。この原因は初期の設備費が高く、また製品にばらつきが多く発生し歩留まりが悪い。大量の電力が必要でランニングコストがかさみ採算が取れないためである。

しかしながら、これらの問題を解決する技術を持つ企業の参画が始まっている。パナソニックは歩留まりが悪い原因を工場内の温度差が原因と考え、エアコン製造の経験を使って棚の上中下間温度差を1.5℃に抑え歩留まり95%を達成した。またランニングコストは蛍光灯や空調などの電力消費が原因であるため、LEDに変更して光を有効活用するとともに、空調の最適化等で消費電力の6割削減を達成した。また、栽培ノウハウをソフト化して自動化することによって黒字化のめどがついたようである¹⁰⁾。昭和電工と山口大学は赤、青LEDの独自の照射法（Shigyō法）を発見し、従来のおおよそ半分の使用電力で栽培できるという結果を得ている¹¹⁾（図5.6）。

従って、これから始める植物工場の未来は明るい。植物工場は狭い敷地面積でも大量の農作物の栽培が可能であり、かつ、顧客の要望に合わせた味などに対応できる。無農薬で

安心安全であり、低菌なので長期間保存可能な作物を生産できるなど多くのメリットがあり、高級食材として注目されている。これを再生可能エネルギーだけで作るにより美味しい、安全、長持ちの超エコフードとなる。さらには、新しい食材、将来の食物不足に備える技術としても期待されている。植物工場に製造だけでなく企画、営業部署も設けて、販売までを行う組織とすることにより雇用を拡大できる。このため、農林水産省が唱える第6次産業に相当し、成長産業化ファンドの応募条件が満たされるので国の補助金を申請することもできる。



図5. 6 昭和電工と山口大が共同でLED植物工場を開発¹¹⁾ (写真提供 昭和電工(株))

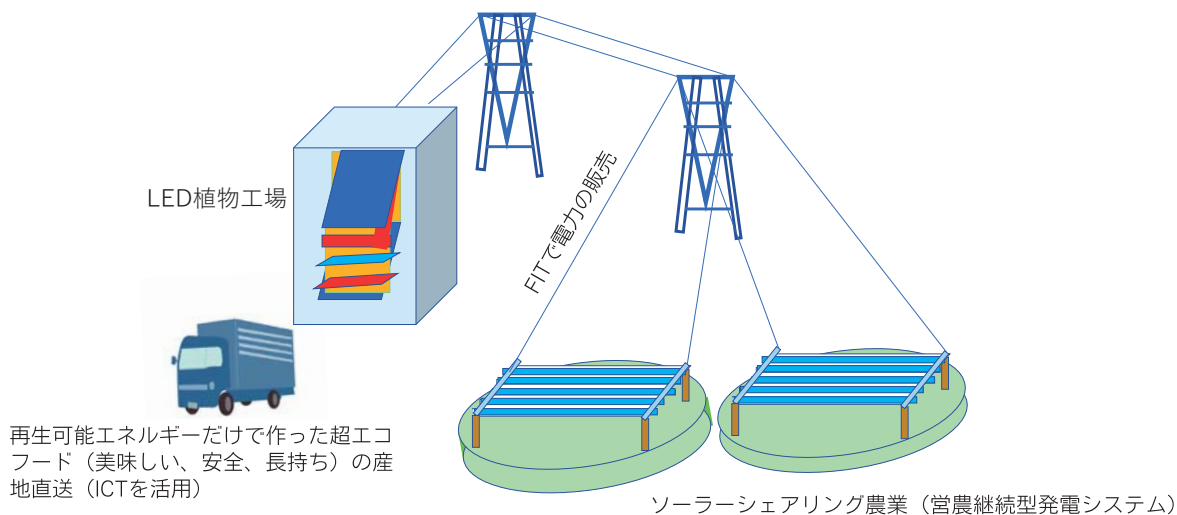


図5. 7 ソーラーシェアリング農業で発電した電気を地元送電会社と連携して植物工場で地産地消するイメージ

参考文献

- 1) 公益財団法人 中部圏社会経済研究所「CO₂排出量削減への新しいアプローチについて」2016年4月
- 2) 小長井誠 etc 編著 培風館「太陽電池の基礎と応用」2010年7月20日
- 3) 産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター編著「太陽電池の本 第2版」2014年5月
- 4) 濱川圭弘 編著 コロナ社 フォトニクスシリーズ3「太陽電池」2004年7月16日
- 5) 再生可能エネルギーの導入状況と固定価格買取制度見直しに関する検討状況について (資源エネルギー庁 2016年1月) より抜粋
- 6) 長期エネルギー需要見通し (経済産業省 2015年7月) より抜粋
- 7) 農林漁業の健全な発展と調和のとれた再生可能エネルギー電気の発電の促進に関する法律 (農山漁村再生可能エネルギー法) について 食料産業局再生可能エネルギーグループ 農林水産省 2016年5月
- 8) 長島彬 www.d3.dion.ne.jp
- 9) 岩崎電気 資料
http://www.iwasaki.co.jp/product/applied_optics_field/plant_raising_system/plant-factory01_4.html
- 10) パナソニック 植物工場 <https://channel.panasonic.com/jp/contents/12685/>
- 11) 昭和電工 植物工場 www.sdk.co.jp/products/49/13496/13495.html

第6章 中部圏における風力エネルギーの利用拡大について

本章では風力エネルギー利用を拡大するための技術課題と現在採用されている解決手法を中部圏の9県における地域事情と関連付けて説明するとともに、次世代の風力発電技術として期待される超大型風車、洋上風車についても紹介する。

6.1 風力エネルギー利用の現状

図6.1は2009年時点での欧州における風力発電コストを他の既存電源と比較したものである¹⁾。陸上に風車を設置する場合、風速6 m/s以上の地域では、原子力、石炭および天然ガスとほぼ同等である。従って平均風速の高いサイトであれば、風力発電も十分他の電源と経済的に競合できることを示している。

1990年代より本格的な導入が始まった風力発電は、この比較的高い経済性と各国のエネルギー政策に後押しされた結果、様々な国で普及が進んでおり、全世界の風力発電設備容量は2015年末時点で432.9GWに達する²⁾。特に中国（2015年末時点での風力設備容量：145.4GW）、米国（74.5GW）、ドイツ（44.9GW）、インド（25.1GW）、スペイン（23.0GW）での導入が進んでいる。残念ながら日本での設備容量は3.04GW（世界の1%未満）であり、その成長も停滞傾向にある。

この様な普及状況にある風力発電に対して、国内外の市場は、更なる経済性・信頼性の向上と、低環境負荷化ならびに電源系統への調和性を求めており、風力エネルギー利用拡大に向けて、数多くの技術課題が残されている。

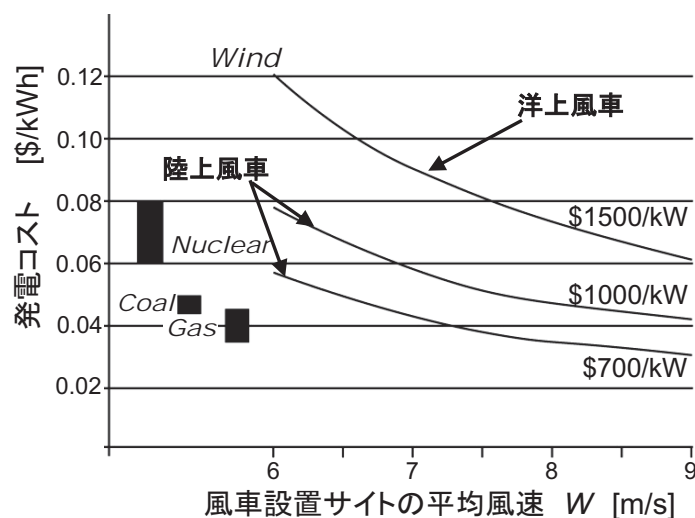


図6.1 風力発電コストの比較 (WIND FORCE 12)¹⁾

6.2 風力エネルギー利用拡大にむけた技術課題と対応策

我が国において、風力発電が助成などを伴わない独立した事業として成立し、更なる導入が促進されるためには現状として多くの問題点を抱えている。以下に、風力発電の導入

促進を妨げる問題点を列挙するとともに、その対策につき技術の現状と課題を紹介する。

6. 2. 1 低い信頼性、求められる日本規格（Jクラス）

風力発電設備、とくに風車翼は設置後20年間の寿命が期待され、風車メーカーはこれを満足できるように設計・製造し、認証機関で型式認証されている³⁾。風力発電事業者はこの寿命20年よりも短期間で売電等により設置・メンテナンスに必要なコストの償却を目指す訳である。しかしながら、風力発電設備は自然環境下（屋外）に設置されるため、気象現象等により様々な被害を受け、導入コスト償却前に破損・破壊されることも多い。そのため、火力発電・原子力発電・水力発電など既存の発電設備に比べて信頼性が低いのが現状である。

国際電気標準会議（IEC）は規格IEC61400-1³⁾により例えば極値風速（50年に1度の再現が予想される最大風速）、乱流強度（風速変動の標準偏差を平均風速で無次元化した値）を規格化し、風車の雷保護については規格61400-24により詳細に規格化している。風車メーカーはこの規格により分類された極値風速のクラス、乱流強度のカテゴリならびに設備容量に応じた複数機種 of 風力発電設備を設計・製造している。一方、発電事業者は風力発電設備を設置するサイトでの風況（局地の風に関する統計データ）に合わせて機種選定を行う。すなわち、風力発電設備はコスト低減を図るために、基本的に既製品であり特注品では無い。この点と、IEC規格が主に欧州での自然環境（とくに風況）に基づき制定され、日本の自然環境はそれとは大きく異なっている事実が、特に日本における風力発電に対する低い信頼性をもたらしている。

日本では台風襲来等による強風発生要因が存在するため、極値風速がIEC規格を大きく上回る可能性が高く、80m/sを超える事例も報告されている。例えば、太平洋側に位置する三重県、愛知県、静岡県は台風襲来による強風が極値風速を規定することとなり、高い極値風速に対応する比較的高価な風車導入が必要となる。

また、国土の大半が山岳丘陵地であり、風車設置可能な地域における風が複雑地形の影響によりIEC乱流強度モデル⁴⁾のカテゴリA（最も強度の強いカテゴリ）を上回る強い乱れ成分を含むことが多く、図6. 2に示す青森県竜飛岬での測定結果⁵⁾はその典型である。中部圏（9県）の多く、とくに岐阜県や長野県等は山岳丘陵地が面積の大半を占めるため、風力発電設備の導入を検討する際には、候補サイトにおける極値風速のみならず乱流強度を正確に見積ることが重要となる。

IEC規格を上回る高極値風速、高乱流強度は風車翼・タワーに働く極限負荷、疲労負荷の増大をもたらし、それぞれ破損と寿命の短縮化に直接繋がる。図6. 3は2003年に台風14号の強風（最大瞬間風速80m/s以上）により破損した宮古島の風車⁶⁾である。現状の対応策は、IEC規格の枠外として個別に風況条件の設定を行い（Sクラス）、これに適用するよう風車を設計・製造（特注品に相当）するが、導入に関わるコストが嵩む上に、統一的な対応技術が蓄積されない等の弊害がある。

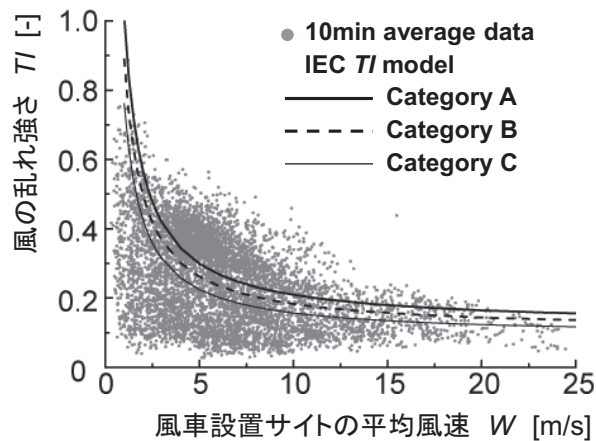


図 6. 2 青森県竜飛ウィンドファームにおける乱れ強度分布⁵⁾



図 6. 3 台風に伴う強風により破損した宮古島の風車⁶⁾

そのため日本では、IEC規格を超える自然条件に対応する新しい規格として、「Jクラス」の検討が進められている。規格「Jクラス」の制定は日本における風車に対する信頼性向上をもたらすとともに、国内風車メーカーの技術開発に多大なメリットを与えるものと期待される。さらに、規格制定のための風況データ収集の過程で、日本と同様な自然条件を持つ東アジア・東南アジアとの連携を進められれば、日本発の規格がIEC規格に反映されることも期待される。

「Jクラス」には、地震対策ならびに落雷対策に関しても規格化されることになる。世界有数の地震発生国である日本では、大規模建築物・構造物に関する地震対策は十分な経験を持っているが、運転時の対策については新たな検討が必要になる。

また、福井県、石川県、富山県、新潟県などの日本海側で冬季に発生する冬季雷は夏季雷との極性の違い等により、一般に雷撃電流の継続時間が長く、夏季雷の100倍以上となる場合もあるため、落雷時の被害は甚大である。冬季雷への風力発電設備の対策として、例えば(株)日本製鋼所では、高電圧試験にて各種レセプタ（受雷部）方式の捕雷性能を検証し、風車翼先端部に大型レセプタを採用することで風車翼に着雷した際の耐雷性能を強化している⁷⁾。

6. 2. 2 高いコスト、求められる経済性

風力による発電コストを低減するために必要とされる課題、要素技術を以下に挙げる。

- ・風況予測・風況精査技術の確立
- ・エネルギーコスト（COE）の低減
- ・施工・設置コストの低減
- ・保守・点検コストの低減

紙面の都合上、これらの課題・技術の内から2つを選んでその内容を以下に紹介する。

風況予測・風況精査技術

風力発電設備導入の初期段階において、発電コスト低減に最も有効な手段は、より平均風速の高い風力発電設備設置可能なサイトを低コストで選定することである。EUでのサイト選択には「European Wind Atlas」⁸⁾が主に用いられており、マクロスケールでの風力エネルギー賦存量マップ（図6. 4参照）、マップ作成の基礎データとなる220カ所での気象観測データ、局所風況予測モデル「WAsP」（The Wind Atlas Analysis and Application Program）⁹⁾等から構成される。

日本では、例えばNEDOによる委託研究に基づき開発された風況予測システム「LAWEPS」（Local Area Wind Energy Prediction System）が利用可能である¹⁰⁾。これは、気象観測結果と気象モデル解析により得られた年間風況分布（5 km、1 km、500 mメッシュの全国風況マップ）と工学モデル計算システム（PC上での計算可能）により構成されたシステムで、複雑地形においても100m、10mメッシュの年平均風速分布を高精度で予測できることを目指して改良が進められている。

上述した2つのシステムは何れも、平均風速に関する情報を比較的高い精度で予測できるが、現在はその適用範囲の拡大（例えば地形勾配が極めて大きな複雑地形への適用）、乱流強度・乱流スケール等のさらに高度な情報予測、台風・突風等による極値風速予測が

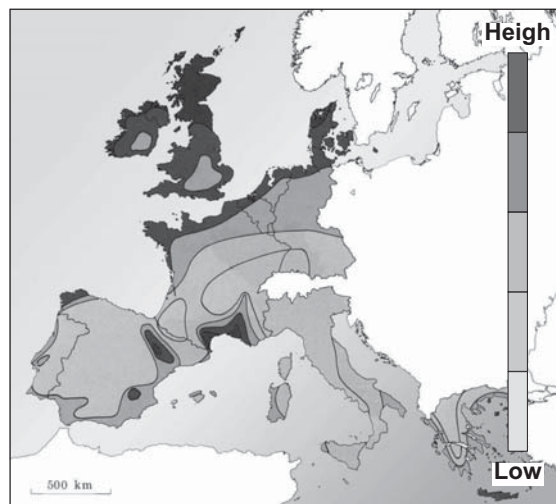


図6. 4 欧州の風力エネルギー賦存量マップ⁸⁾

求められている。そのために必要な要素技術としては、先端的数値流体力学（CFD）を比較的 low コストで運用する計算システムの開発、高高度での風況精査（乱流強度計測を含む）を行うためのリモートセンシング技術が挙げられ、それぞれ研究開発が進められている。リモートセンシング技術に関しては、例えばレーザ利用による LIDAR（LIght Detection And Rangingの略）¹¹⁾ が有望視されており、計算システムについては、例えば、九州大学応用力学研究所による RIAM-COMPACT¹²⁾ 等がある。

エネルギーコスト COE の低減

商用風車は図 6. 5 に示す通り年々大型化しており¹³⁾、大型化に伴い風車の重量は増加している。単純に風車をスケールアップした場合、風車重量は風車ロータ直径 D の 3 乗に比例し、取得エネルギーは D の 2 乗に比例する。風車コストが重量に比例すると仮定すると、風車に掛かるエネルギーコスト COE（Cost of Energy）は、直径 D の $3/2$ 乗に比例して増加する。したがって風車の COE を低減するには取得エネルギーを D^2 以上とするためのエネルギー変換効率向上技術、ならびに重量を D^3 以下とする軽量化技術が必要となる。

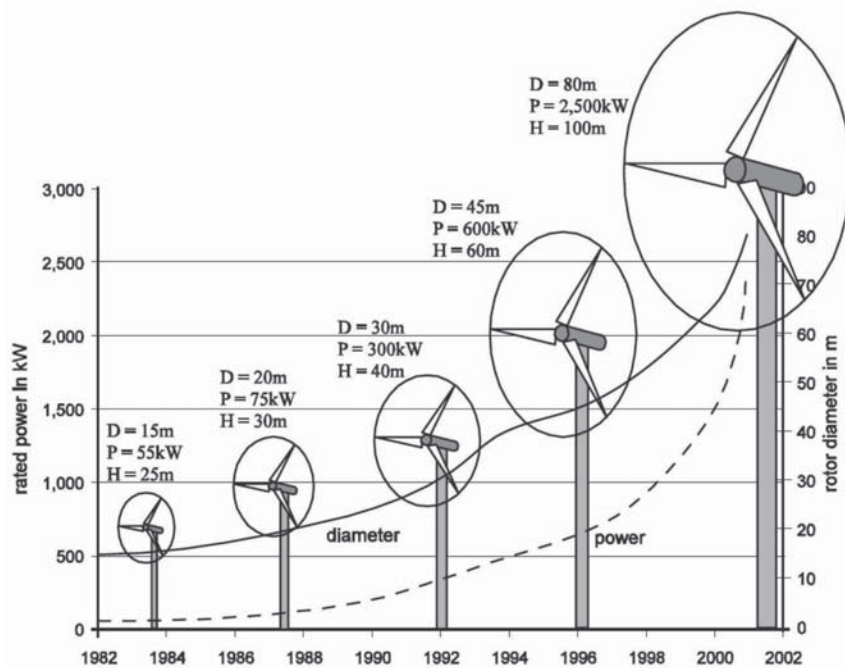


図 6. 5 風車の定格出力およびロータ直径の変遷¹⁴⁾

大型風車の構成部品では、タワー、翼、パワートレインに掛かるコストが高く、翼+パワートレインが風車全体の47%を占めるとの報告もある（REpower社製 5 MW機）。したがって、風車本体に関連する技術として、翼・パワートレインの軽量化・高効率化が COE 低減に向けて重要な技術課題となる。

風車翼に関する要素技術としては、翼構造と翼形状に関連するものに大別され、全体としては風車出力当りの翼価格をいかに低減するかが課題である。翼形状に関しては、1990

年代はより大きな出力を得るために、揚力係数 C_L が大きな翼型（翼断面形状）が採用されていた。しかし、現在は重量ならびにコストをいかに低減するかにも注意が払われるようになり、 C_L を多少犠牲にしても構造上の剛性を優先させる（特に翼根部での翼厚を増す）ことが行われている。その結果、翼の重量・コストはロータ径 D に対して2.3乗まで低減されている¹⁴⁾。

翼の主要構造材は、現在ガラス繊維強化プラスチック（GFRP）が主流であるが、剛性向上と軽量化を目指して、より機械的特性に優れる炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の活用も進められている。しかし、CFRPはGFRPと比べて高価であるため、COE低減の観点から例えば、CF/GFハイブリッド構造翼の開発が求められている。

また、風車翼に関して、COE低減、信頼性向上、環境負荷低減を目指して、例えば以下の要素技術の確立が進められている。

- プリベント翼：空力荷重により下流側にたわむ翼を予め上流側に曲げ、運転時に最適形状とする。
- 翼状態監視システム：ひずみゲージ、加速度センサ、温度センサ、落雷センサ等を翼内に設置する。
- 後退翼：低風速地域のエネルギー変換効率向上のため、翼端に後退角を持たせた後退翼を採用する。
- 翼端形状の最適化：翼端付近での空力騒音発生を抑制するために翼端形状を最適化する。

6. 2. 3 騒音・振動・景観問題、環境負荷の低減

風車は発電過程において二酸化炭素等を排出しないが、騒音・振動・景観被害など周辺住民に対して環境負荷を与えるとともに、野鳥・家畜等の周辺生態系への影響も懸念されている。したがって、風力発電設備の更なる導入促進を図るためには、環境負荷の低減と適切な環境影響評価の実施が大きな課題となる。

従来行われていた風力発電設備の環境影響評価は、NEDOの指針などに基づく自主アセスメントであった。しかし、上記の環境問題が指摘された結果、出力1万kW以上の風力発電設備に対しては、2010年10月より『環境影響評価法』が適用されることになった¹⁵⁾。

騒音低減技術

風車騒音には、風車翼から発生する空力騒音と、パワートレインの主に変速機等から発生する機械騒音がある。空力騒音のうち高周波数帯域での乱流騒音は、翼端付近（翼端渦騒音）と翼後縁部より発生し、これとは別に、翼とタワーとの干渉により低周波数騒音も発生する。高周波数騒音の音圧は、翼端速度の約6乗に比例するため、風車の低速化（低周速比化）は騒音低減に極めて有効であり、1990年代初頭には商用風車の翼端速度は約90 m/s前後であったが、現在は翼端速度を60～70m/sにまで低下させている。ただし、低速

化（低周速比化）はエネルギー変換効率の低下をもたらすため、発電コストと環境負荷の両面から運転速度を検討する必要がある。例えば、離岸距離の大きな洋上風車では騒音問題が存在せず、発電コスト等の観点から高速運転が望まれる。

風車空力騒音の低減には、低速化以外に、翼端付近での渦構造制御、翼面上での剥離抑制が有効であるとされており、例えば東京大学・荒川らによる翼端形状に関する研究¹⁶⁾ ならびに、ゼファー株式会社らによる特殊な翼表面¹⁷⁾ の開発を参照されたい。

機械騒音の低減方法として、多極同期発電機の利用により変速機を排除したドライブトレインの採用が考えられるが、高コスト・大重量の欠点も考慮する必要がある。風車による振動は、翼・パワートレイン・タワーの振動が風車基礎構造・地中を經由して伝播されるものと、翼・タワーの干渉により発生した低周波数騒音が空気中を伝播されるものがある。地盤構造によっては騒音問題よりも遠方にまで振動問題が及ぶことがあり、風車設置に当たっては事前の地質調査が必要である。

視覚的刺激評価法の確立

風車の視覚的刺激（Visual Impact）も問題となっている。すなわち風車は目障り、景観を損なうとの問題であり、定量的な評価方法の確立が求められている。現在検討されている評価方法は、実際の景色に風車を合成したフォトモンタージュ画像・動画を作成し、これを利用して多数の被験者によるモニタ調査を行う方法であり、既に建築物・土木構造物の設置に当たり同様の手法により視覚的刺激を評価・推定している。ただし、風車の場合は運転時に翼が回転するとともに、風向によりロータの向きが変化するため厄介である。風車の視覚的刺激の大きさは、翼枚数、回転周波数、ロータ直径等に依存すると考えられ、例えば翼枚数は2枚よりも3枚が望ましく（図6. 6 (a)、(b) 参照）、また視野上を占



(a) コペンハーゲン（デンマーク）の沖の3枚翼風車 (b) アイセル湖（オランダ）の2枚翼風車

図6. 6 視覚的刺激に与える風車翼枚数・彩色の影響

める風車の立体角が同一であるとの条件では、回転周波数が小さい方が（すなわち大型風車の方が）視覚的刺激が小さいと言われている。

今後、視覚的刺激の評価方法を確立することにより、景観被害を軽減できる風車形状・彩色の検討が可能になると考えられる。また、ウィンドファームにおける複数風車の配置方法などについても、発電コストに加えて景観保全を考慮することが、風力発電の導入促進につながるはずである。

6. 3 次世代風車にむけた技術開発

6. 3. 1 超大型風車

風車のサイズは年々大きくなる傾向が見られ（図6. 5、7参照）、現在はロータ直径およびナセルの高さが90m以上の2 MWを越える大型の風車が普及しており、2014年末時点ではロータ直径164m、出力8 MWに達している¹⁸⁾。風車大型化のメリットとして以下の点が挙げられる。

- 風の受風面積が増え、またナセルを高くすることにより上空の高風速エネルギーが利用可能となる。その結果、複数風車を直線上に配置した場合、単位km当たりの発電量はロータ径を2倍にすると2倍以上に増加し、大型風車の設置が効率的であると言われている。
- 大型風車は小型風車に比べて低回転数で回転するため、視覚的刺激を軽減できる。
- 洋上風車（次節で詳述）の設置コストは基礎のコストに依存し、大設備容量の風車を設置することでコストの低減が可能となる。

従って、欧州を中心にさらなる大型化、例えば単機10～20MWクラスの風車開発に向けた要素技術の開発が進められている。翼・パワートレイン・系統関係に関する要素技術



図6. 7 大型風車（ロータ径126m，出力5 MW，ドイツ）

のさらなる向上に加えて、超大型風車の開発には柔構造設計手法の確立と、そのために必要な空力-構造連成解析計算コードの開発が必須であると考えられる。

大型化に伴い風車回転周波数はロータ直径 D の約1乗に反比例して低下する。一方、風車翼・マスト等の構造系がもつ固有振動数は軽量化・高剛性化の結果、直径 D の約1.3乗に反比例して低下している。比較的小型の風車では、構造系各部位の固有振動数は風車回転の周波数およびその翼枚数倍の周波数（励起周波数）を大きく上回るため、フラッタ現象を除けば風車運転中に共振現象を引き起こさないが、大型化に伴い励起周波数と固有振動数は徐々に近付くため、メガワット以上では同程度となる危険性がある。共振対策の一つとして、翼一枚ごとにピッチ角制御を行うことにより、高さ方向の風速勾配に起因する空力変動を低減する技術が採用され、効果を発揮している。しかし、超大型風車においてはさらなる対策が必要となるため、共振を避けるために構造系を柔らかくする（固有振動数を低下させる）方法が考えられている。これを柔構造ならびに柔構造設計手法と呼ぶ。

柔構造設計された翼は空力荷重により大きくたわみ、風速・風向変動に伴う空力変動荷重と重力の影響により大きく振動する。その際には、構造系の振動が例えば翼周りの相対流れに影響を及ぼすため、風車周りの流動現象と風車構造系の振動現象の相互作用を考慮した解析手法、すなわち空力-構造連成解析手法の確立が必要となる。

翼の振動には翼が上流側・下流側へと振動するフラップ方向振動（風車回転軸方向への振動）、エッジ方向振動（回転方向への振動）と翼ピッチ方向のねじれ振動が想定される。このうちエッジ方向振動には空力作用による振動減衰効果が大きくは期待できないため、構造系に減衰効果を持たせる必要が生じる。例えばエッジ方向には高減衰、フラップ方向には高剛性の機能を持たせた異方性複合材料の開発・採用も必要である。

6. 3. 2 洋上風力発電

欧州では、陸上での風車設置場所が限られ既に飽和しつつあること、また陸上設置の場合に生じる景観あるいは騒音などの問題から、風車を沿岸部の沖合に設置する洋上風車（Offshore Wind Turbine）による洋上風力発電が、研究・開発を目的として1990年頃から始められている。2000年以降は実証試験用のプロジェクトも多数開始され、イギリス、デンマーク、ドイツ、ベルギー、オランダなどでは、大規模な洋上風力発電設備の導入が促進されている。2014年末時点で、全世界の総発電容量は8.76GW、そのうちの91%（8.05GW）が欧州の11ヶ国に設置されている²⁾。また、欧州以外ではアメリカ、中国、韓国、台湾などでも、洋上風力発電の実証試験が始まりつつあり、世界の風力発電は洋上風力発電の導入拡大が潮流となっている。

洋上風力発電の主な長所・短所を陸上風車と比較して以下に列挙する。

【洋上風力発電の長所】

- ・広い面積が利用可（巨大プロジェクトの展開が可能）

- ・高風速、ウィンドシアが小さい（小さな表面粗さ、大気の安定度）
- ・風の乱れ強度が低い（小さな表面粗さ、大気の安定度）
- ・高速化・高効率化が可能（騒音問題からの解放）

【洋上風力発電の短所】

- ・建設費の増大（海中基礎構造に多大のコスト）
- ・送電コストの増大（商用系統までの距離増大）
- ・保守費用の増大（アクセス性低下、塩害）
- ・波力による変動荷重（海中基礎構造に働く波力による変動荷重）
- ・漁業補償問題の発生（浅い海は絶好の漁場）

洋上風車のコスト

現状では、洋上風車のコストは陸上風車のコストと比較して、1.5～2倍とされている¹⁹⁾。その理由を説明するために、陸上風車と洋上風車における発電システムの要素別コスト例¹⁹⁾を図6. 8に比較して示す。何れも設置地形、商用系統線までの距離により変化するが、大まかな比較は可能であると考える。

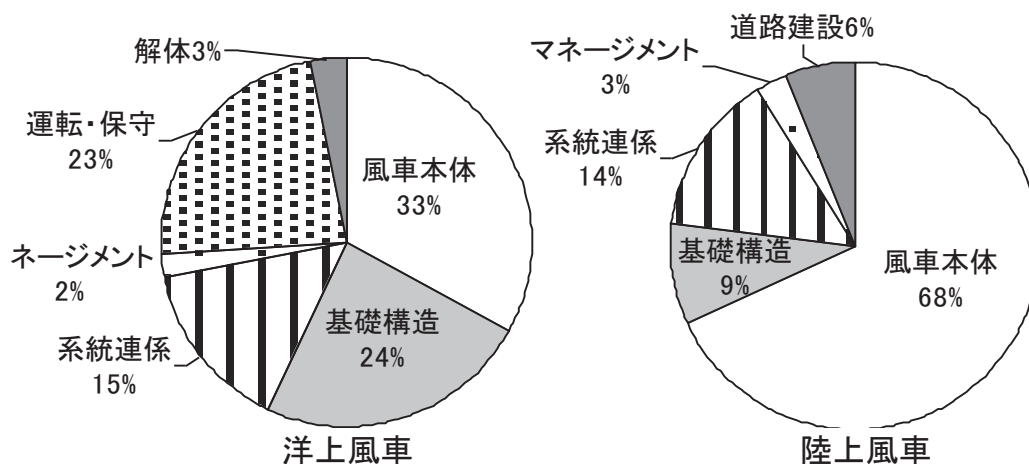


図6. 8 洋上風車と陸上風車の要素別コストの比較例 (Duwind, 2001¹⁹⁾ より作成)

陸上風車の場合、風車本体（タワー・ナセル・ブレード等）のコストが全体の60～70%であり、現状の洋上風車本体は陸上風車を改良したものであるため、本体のコストは大差が無いと考えられる。従って、洋上風車の高コストは、基礎構造コストを含む設置費用、系統連係費用、保守・点検・修理費用の増加に起因することが分かる。つまり、洋上風力発電の普及にはこれらを低コスト化する技術の開発が必要であり、一つの解決方法として大型風車の導入により発電コストの低減を図ることである。

洋上風車支持構造

洋上風車本体の支持方法として以下の2つが考案されている。

- ・着床式：風車を含む発電施設自体を海底に固定（図6. 9 参照）
- ・浮体式：風車を浮体上に設置し、浮体をカテナリ等で海底に固定（図6. 10²⁰⁾ 参照）

このうち、現在欧州にて採用されているのは着床式であり、水深60mまでの比較的浅い海に対して適用が可能であると考えられている。海岸線からの離岸距離が100kmに及ぶものも計画されているが、基本的には着床式洋上風力発電設備からの電力は、海底に敷設する送電ケーブルにより陸上の商用電源系統に連係される。

一方、浮体式は大深度での洋上風車設置に対して考案されているもので、特に周辺が大

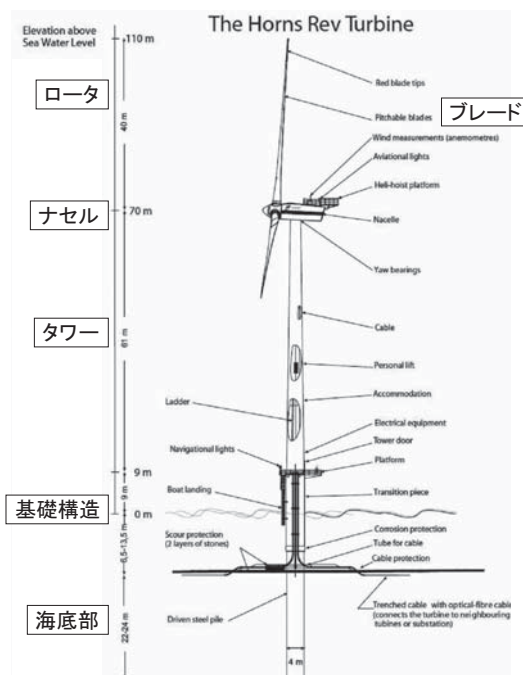


図6. 9 着床式洋上風車の例（Vestas V90）

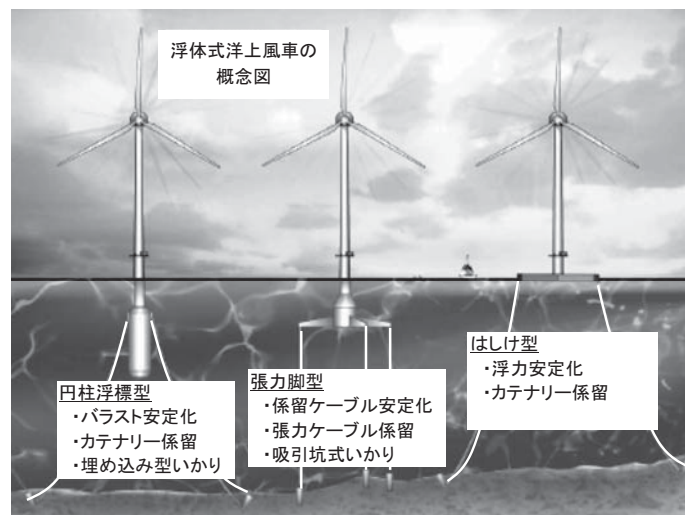


図6. 10 浮体式洋上風車の概念図（NREL資料²⁰⁾より作成）

深度の海洋に囲まれている我が国において研究が進められている。なお、離岸距離が極めて大きい場合には、陸上との系統連係が困難であるため、電気分解により水素などの化学エネルギーに一旦変換する方法も検討されている。ただし、水素の貯蔵法・運搬法は一般の化石燃料ほど容易ではないため、例えば、火力発電所などから回収した二酸化炭素を浮体まで輸送し、浮体上で、水素と二酸化炭素を反応させ、メタンを始めとする炭化水素を合成することも選択肢として考えられている。

着床式洋上風車の構成例が図6.9に示されている。風車本体（ロータ及びナセル）・タワーは陸上風車とほぼ同一であり、水面上で基礎構造（図6.9ではモノパイル）と連結される。基礎構造には、以下に示すような種類（図6.11参照）があり、水深ならびに海底の地盤・傾斜等の条件により適用が異なり、建設・設置のコストも大きく変化する（図6.12²¹⁾参照）。

- ・モノパイル式 (水深<30m、やや堅牢な地盤、海底傾斜も可)
- ・重力式 (水深<30m、堅牢な地盤、平坦な海底)
- ・ジャケット（トラス）式 (水深<60m、軟弱な地盤、海底傾斜も可)
- ・トリポッド式 (水深<60m、軟弱な地盤、海底傾斜も可)
- ・トリパイル式 (水深<60m、軟弱な地盤、海底傾斜も可)

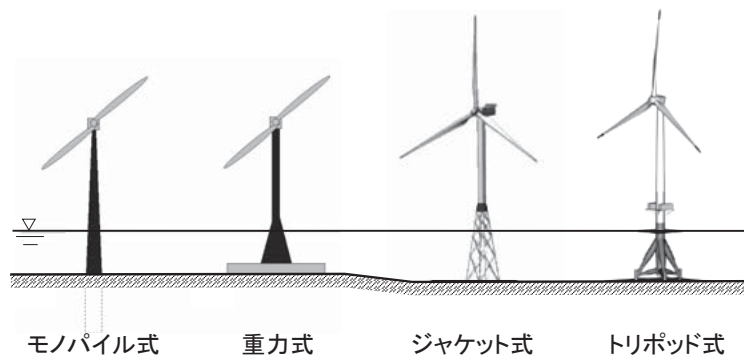


図6.11 図着床式洋上風車の水中基礎構造の種類

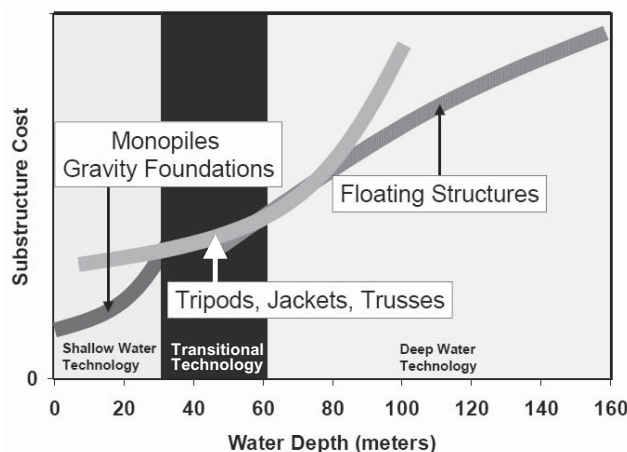


図6.12 水深に対する支持構造コストの試算例 (NREL資料²¹⁾より作成)

洋上風力発電施設に関わるその他の技術課題

洋上風力発電の推進に必要な、その他の技術課題を以下に列挙する。

- **基礎構造の設計・製造・施工技術**：現状の技術では水深60m程度の着床式が限界であり、水深100mまでの着床式ならびに浮体式の開発が望まれる。(経済性・信頼性向上)
- **波力による基礎構造への変動荷重予測技術**：洋上風車は、風力によるロータ・タワーへの変動荷重に加えて、波力による基礎構造への変動荷重が複合的に作用する。この波力による影響を評価する際には、構造系と流体系の連成振動予測技術の確立が不可避であり、疲労調査技術の開発と併せて現況は開発途上にある。今後、変動荷重予測と疲労寿命予測に関して、着床式／浮体式モデルの構築および検証が、洋上風車の経済性・信頼性を向上させる上で求められている。
- **洋上での気象・海象調査**：洋上における風速・乱れ強さ等の気象観測、波力・波高・海流速・潮流・潮位・津波等の海象観測について、観測技術ならびに予測システムを開発・確立する必要がある。これにより、特に現在不明確な日本における海上風の特性を明らかにすることが可能となり、洋上風力発電の経済性・信頼性の向上に繋がると考える。
- **環境影響評価・調査**：日本における洋上風力発電のための環境評価手法は開発途上にある。特に、洋上風車が生態系(海生生物、鳥類)に及ぼす影響、景観に及ぼす影響につき評価手法を確立するとともに、周辺海域における漁業と如何に協調できるか、その方策の検討が急務である。

以上、洋上風力発電に関わる技術課題を列挙したが、いずれも欧州において約25年前から取組まれている。我が国では例えば、2010年より開始したNEDO洋上風力発電プロジェクト²²⁾により銚子沖に2.4MW単機着床式風車が設置され、実証研究が実施されるとともに、2011年開始の福島復興・浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業²³⁾により、福島県沖にて浮体式風車を用いた実証研究が進められている。また、洋上風力発電の導入拡大および拡大支援を目的として、NEDOプロジェクトの下で日本沿岸の洋上風況マップを整備する事業が2015年度より2ヶ年計画で進められている²⁾。

中部圏では、日本海側の新潟県、石川県沿岸、ならびに三重県、愛知県の沿岸(伊勢湾)、琵琶湖を有する滋賀県に比較的水深の浅く平均風速の高い海域・水域が広がっており、洋上風力発電設備の導入候補地として挙げられるが、漁業権、航路、景観等の社会環境と併せて検討する必要がある。

6. 4 おわりに

風力発電には多くの技術課題が残されており、特に日本での導入促進には厳しい自然環境・狭隘な平坦地など多くの障害が存在する。しかし、例えば「Jクラス」の規格化をはじめとする多くの技術課題を克服すれば、環境問題・エネルギー問題を克服するための一つの選択肢として、風力発電が成立するものと期待される。また、本章では割愛したが、

電源系統への調和性を高める技術の確立も、風力発電設備の更なる導入に必要である。

参考文献

- 1) EWEA WIND FORCE 12, EWEA ホームページ：http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WF12/wf12-2005.pdf
- 2) GWEC Global Wind Report Annual Market Update 2015, GWEC ホームページ：http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_Global_Wind_2015_Report_April-2016_16_04.pdf
- 3) IEC 61400-1: Wind Turbines-Part 1: Design Requirements Ed.3, (2005)
- 4) IEC 61400-24: Wind Turbines-Part 24: Lightning Protection Ed.1, (2010)
- 5) 長谷川豊、菊山功嗣、今村博、猪俣登、鈴木一司、石川尚：風力エネルギー賦存量推定のための基礎研究（竜飛ウインドパークにおける風況精査）、日本機械学会論文集、69-685B, pp.2052~2058 (2003)
- 6) 丸山敬、河井宏允、奥田泰雄、林泰一：宮古島を来襲した台風0314号について（その2 被害の特性）、京都大学防災研究所年報、No.47B, pp.491~502 (2004)
- 7) 久保典男：日本製鋼所における風力発電設備の技術動向、ターボ機械、44-5、pp.43-47 (2016)
- 8) European Wind Atlasホームページ：<http://www.windatlas.dk/Europe/Index.htm>
- 9) the Wind Atlas Analysis and Application Program、参照ホームページ：<http://www.wasp.dk/>
- 10) Local Area Wind Energy Prediction System, NEDOホームページ：<http://app8.infoc.nedo.go.jp/nedo/top/top.html>
- 11) 三菱電機株式会社ホームページ：<http://www.mitsubishielectric.co.jp/lidar/>
- 12) RIAM-COMPACTホームページ：参照URL：<http://riam-compact.com/>
- 13) Gasch R. and Twele J. : Wind Power Plants, James & James, London (2002)
- 14) Griffin, D. A. : Text of Sandia Blade Technology Workshop (2004)
- 15) 今村博：洋上風力発電の現状と将来展望、ターボ機械、44-5、pp.10-16(2016)
- 16) Oliver Fleig, Makoto Iida and Chuichi Arakawa : Aeroacoustics Simulation around a wind turbine blade using Compressible LES and Linearized Euler Equations, DGLR-Report 2002-03, Proceedings LES for Acoustics, Goettingen, Germany, October 7-8 (2002)
- 17) ゼファー株式会社ホームページ：<http://www.zephyreco.co.jp/jp/products/technology.jsp>
- 18) MHI VESTAS Offshore Wind, The V164-8.0MW Turbine
- 19) Duwind report : Offshore Wind Energy Ready to Power a Sustainable Europe Final Report, NNE5-1999-562, 289p. (2001)

- 20) J. M. Jonkman : Dynamics Modeling and Loads Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine, NREL/TP-500-41958 (2007)
- 21) Musial, W., Butterfield, S., and Ram, B. : Energy from Offshore Wind, Conference Paper of 2006 Offshore Technology Conference (NREL/CP-500-39450), 1-4 May 2006, Houston, TX, 11p. [on CD-ROM] (2006).
- 22) 東京電力ホームページ : <http://www.tepco.co.jp/csr/renewable/wind/offshore.html>
- 23) 福島復興・浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業ホームページ : <http://www.fukushima-forward.jp/index.html>

第7章 中部圏におけるバイオマスの利用拡大について

本章では中部圏におけるバイオマスの利用拡大に資するために、改めてバイオマスの種類とその分類について解説するとともに、これまで開発されてきたバイオマス利用技術の概要と技術レベルについて解説を行い、最後にバイオマスの利用拡大に向けた提言を行う。

7. 1 バイオマスの種類と量

バイオマスの分類方法には様々あるが、有機廃棄物ではなくとも植物由来の生産物も含めてバイオマスと総称している。このためバイオマスの種類は実に豊富であり、これまでも様々な分類方法がなされている。一般的にバイオマスというと、木質系バイオマスを想像することが多いが、バイオマスの種類は多岐に渡るため、まず利用可能なバイオマス種を理解しておくことはバイオマスの利用拡大を考える上で極めて重要である。

バイオマスの分類には図7. 1に示すように廃棄物系と生産資源系に大別し、それらをさらに小項目に分類する方法や現在既に利用されているバイオマスと未利用バイオマスのように利用側から分類する方法もある。また、含水率等でバイオマスを分類し、乾燥系、湿潤系などの分類方法やキルンや流動層など使用される装置や技術から分類される方法もあり、分類方法は様々である。図7. 1は廃棄物系と生産資源系に分類した後、生活・産業系のバイオマス、農林水産系のバイオマスに分類しており、現在文献や書籍、WEB等で比較的良好に目にする一般的なバイオマスの分類方法である。ただし、実際にバイオマスを利用するとなればその使用目的や最終的な利用目的に合わせてそれら分類方法をもう一度見直してみる必要がある。

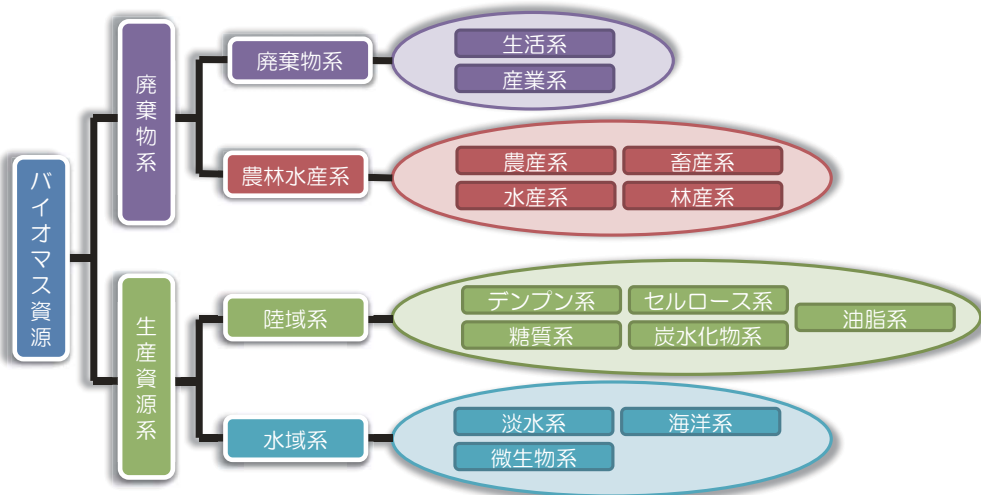


図7. 1 バイオマスの分類

我が国のバイオマスの中で比較的資源量が多く、これまでに利用されているバイオマスは廃棄物系バイオマスで、木材系、農業系、畜産系、生活系に分類される有機廃棄物であ

る。表7. 1にそれぞれのバイオマスの特徴および賦存量を示す。トータルの賦存量を見ると廃棄物系のバイオマスだけでも年間2,000万tを超えており、資源量としては莫大であるように見られ、あたかもこれらすべてが利用可能なように思われがちである。ただし、バイオマスは広範囲の地域に分散している資源で、利用拡大、効率的利用の観点から考えるとむしろかなり局所に偏在している資源であることをまず認識する必要がある。また、バイオマスの特徴はその種類が多岐にわたり、その性状もバイオマスの種類により大きくかけ離れていることにある。例えば、木質バイオマスのように性状が地域にかかわらず比較的安定しているものから、汚泥や生ごみのように地域により性状が全く異なり、場合によっては季節によってもその性状が大きく異なるものもある。そのため、実際にそれぞれ地域において利用できるバイオマス量は極めて少なく、またバイオマスごとに構成される物質や含水率が大きく異なっていることから、その利用方法も大きく異なっている。ここがバイオマス利用における最大の問題点で、単に見かけの総量（野積みになっている量）が多だけで将来にわたって継続的に利用できるかと考えるのは早計であり、これまでの多くのバイオマス利用事業において失敗してきた大きな原因は想定するバイオマス量を想定する価格で収集できなかったことにある。そのため、その地域に賦存するバイオマスの種類、量をきっちりと見積もることと最終的に何を生産し、何にどのようにどれだけ利用するかを考えること、つまり入口だけではなく、出口を見据えたバイオマス利用計画を立てなければ、これまでと同様に数年の操業で事業が終わってしまう結果になる。

表7. 1 バイオマスの分類（大別）とその特徴

大項目		廃棄物系			
分類		乾燥系		高含水率（湿潤）系	
小項目	-	木質系（林業）	農業系	畜産・水産系	生活・産業系
種類	-	林地残材 間伐材 選定枝 etc	穀類 稲わら 麦わら etc	家畜排せつ物 投棄魚 残渣 etc	下水汚泥 食品廃棄物・加工残渣 生ごみ etc
特徴	-	木質系バイオマスで、間伐時に放置された林地残材、木材として利用されない間伐材、都市部における剪定枝、および建築、建設廃材中の木質廃棄物	稲わらや穀類等の農作物の非食部および可食部であっても廃棄される農業生産物。含水率は非食部、可食部で大きく異なる。	牛、豚および鶏から排出される糞尿、および漁業により排出される高含水率有機廃棄物。鶏<豚<牛の順に発熱量は高くなる。	生活排水により排出される有機部物質全般が混合。他の廃棄物に比べて一般的に灰分割合が高く、含水率が高い。消化汚泥は未消化汚泥比べて40%程度発熱量が低い。
賦存量	t/year	940万	448万	486万	159万
主要構成物質	-	セルロース リグニン ヘミセルロース	セルロース リグニン グルコース 糖系	セルロース タンパク質	セルロース タンパク質
含水率	%	40-50	<10	75-80	75-85
発熱量*	MJ/kg	16-21.5	15-16	13-18	7-15

※ 乾燥後

さて、バイオマス利用拡大の観点から利用可能なバイオマスの量についてもう一度整理すると、2015年のバイオマス発生量は約3,400万 t（炭素勘案値）で廃棄物系バイオマスの発生抑制に取り組んだ結果、2010年のバイオマス発生量3,500万 t（同）に比べて減少傾向にあり、中長期的にも廃棄物系バイオマスの発生量は減少し、2025年には約3,200万 t に減少することが予測されている。この予測から将来におけるバイオマス利用を考える場合、現在も分散し局所的に存在するバイオマス、特に廃棄物系バイオマスの使用可能量は今後さらに少なくなっていくことが分かっている。そのため、種類にもよるが廃棄物系のバイオマスを利用する場合には、中長期的な排出量の予測も重要になってくる。

次にバイオマスの利用率に目を向けると、2010年の利用率が65.7%であったのに対して2015年は70.6%まで増大しており、利用率に関しては増大傾向にある。つまり、単純に考えると将来利用可能なバイオマス量は減少しているということであるが、その中身を確認すると製材工場残材のように利用が拡大している廃棄物と林地残材のように未利用のままの廃棄物があり（表7. 2）、バイオマスの種類により利用率の差が年々大きくなっている。これは比較的量が豊富にあり、また使いやすいもの（環境的、効率的、コスト的に）が利用されている結果であり、今後バイオマスの利用拡大を図るためには使いにくいバイオマスを相手にしなければならない。実際、林地残材や農業廃棄物の賦存量自体は一見豊富であるものの利用率はかなり低い。利用率が低い理由と原因は既に明確になっており、これらバイオマスの利用においては経済性の確保が難しいことにある。そのため、これらの利用率が低いバイオマスの利用率を今後向上させるためには採算性を確保することが重要となり、またそのためにはこれら未利用バイオマスを原料として付加価値の高いものを生産する技術開発を行わなければならない。ただ、技術開発をすることは常に必要なことであるが、利用拡大のためには、現状の技術を応用しながらバイオマス利用するための知恵と工夫（利用プロセスの高度化）が高度な技術開発を行うよりも重要なのではないかと考えられる。

表7. 2 各種バイオマスの種類、賦存量、利用技術および利用率

種類	木質系			農業系	高含水率系		
	製材	建設廃材	林地残材	農業廃棄物	汚泥	畜産系	食品系
賦存量 万 t/year	320	220	400	448	90	486	69
利用率	97	94	9	32	63	87	24

利用率が向上していることから相対的に利用可能なバイオマス量は減少していると説明したが、廃棄物の種類により利用方法は大きく異なっており、家畜排せつ物のように堆肥として再生し利用率向上に貢献しているバイオマスもある。しかしながら、堆肥後に廃棄されるなど本当の意味での利用がなされていないケースも散見されている。そのため、原料である畜産廃棄物の含水率約80%が堆肥化により40%まで低下した堆肥化物を固体燃料

として利用するなどの方法も考えられ、(勿論燃料として利用するための技術開発は必要ではあるが) この利用方法も一つのアイデアであり工夫なのではないかと思っている。バイオマス量が少ない、あるいはこれから少なくなると説明をしたが真の意味で利用が拡大できないという意味ではなく、それぞれの地域において未利用のバイオマスは未利用のまま残っているため新たな工夫やその工夫を具現化するための技術開発によりこれらバイオマスを有効に利用していくことが極めて重要となっている。

7. 2 利用方法および利活用技術

バイオマスの種類およびその賦存量や将来的見通しについて簡単に説明を行ったが、上述したようにバイオマスの種類は多岐にわたるためその利用方法や最終的な利用製品形態も多岐にわたる。図7. 2に現在のバイオマス利用技術の分類を示す。図に示すようにバイオマスの利用技術はエネルギー変換とマテリアル変換の二つに大別される。エネルギー変換はバイオマスを固体、液体あるいは気体の燃料として変換し、最終的に電気や熱エネルギーとして利用する方法である。一方、マテリアル変換はバイオマスそのものをそのままの形態で利用する物理変換とバイオマス中に含まれる成分をエネルギー変換同様にガスや液体原料として変換し最終的に化学原料として利用する方法がある。一般的にマテリアル変換の方が変換するプロセスは複雑となるが、得られる製品の価格も高くなる。無論のことすべてのバイオマスがマテリアル変換可能であるが、バイオマスの多くは廃棄物であることから工程の複雑さや煩雑さなどからマテリアル変換に適していないバイオマスも多くある。現在実用化・技術開発されているバイオマスの利用技術と利用可能なバイオマス種および実用化までの難易度を図7. 3にまとめて示すとともに、それぞれのバイオマス変換技術の特徴、生産物、プロセスフローの一例および現在の技術レベル、技術課題を表7. 3から6にまとめて示す。この表に載せていない技術も多数あるためその他利用技術

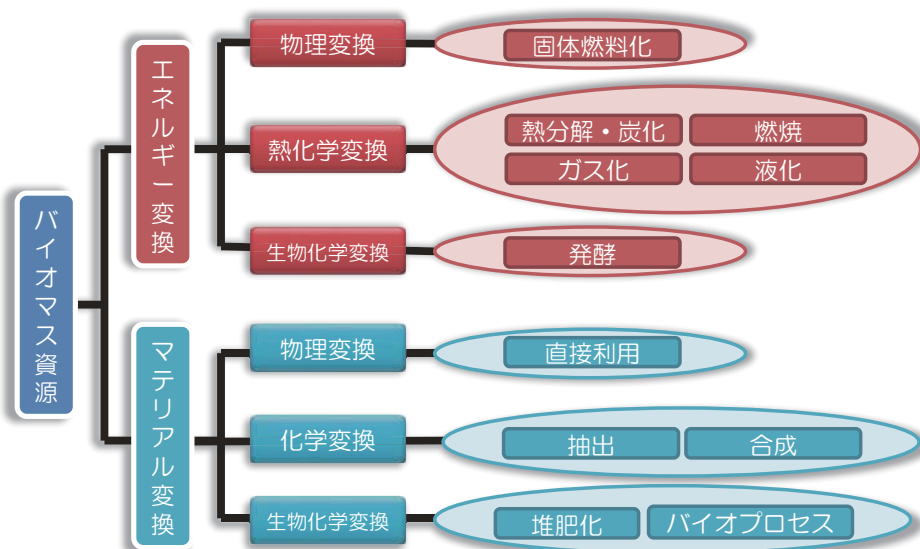


図7. 2 バイオマス利用技術の分類

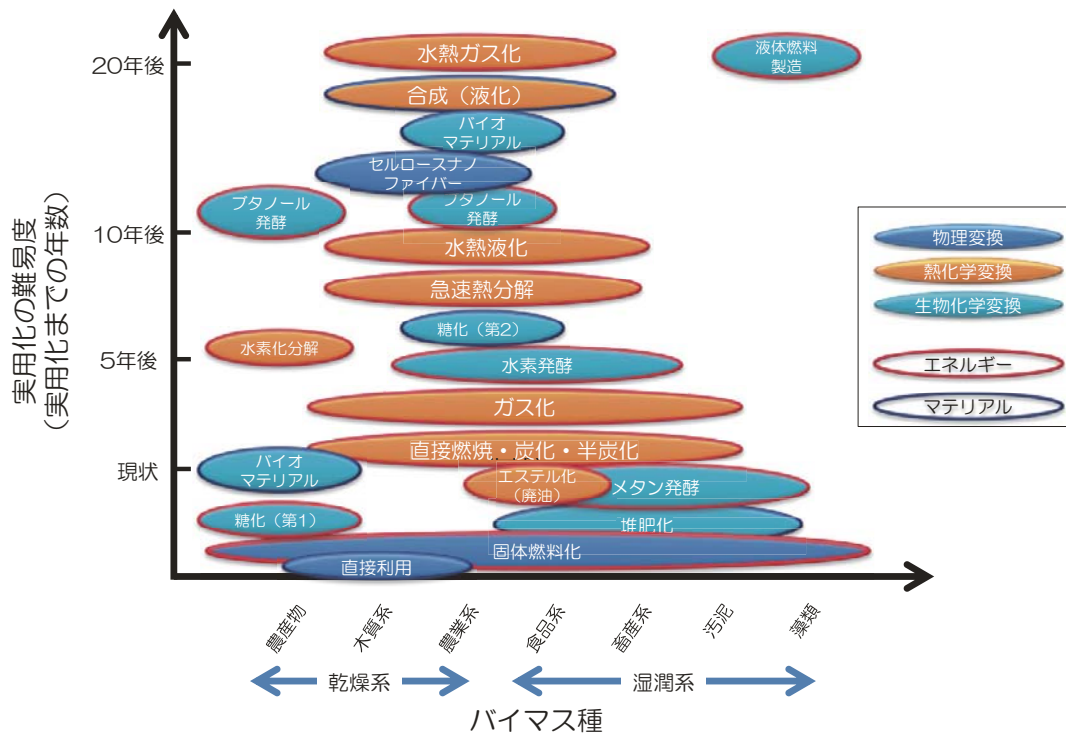


図7. 3 各種バイオマスと使用可能な技術およびその技術レベル

の詳細についてはバイオマス利用技術の現状とロードマップを参照されたい。図を見ると多様なバイオマス種に対応可能な技術からバイオマス種が限定されている技術まであり、現時点では木質系、農業系のバイオマス利用を中心に技術開発が進められていることがよくわかる。また、今後は使いづらいバイオマスにも適用可能な技術開発も必要であることがわかる。一方で、エネルギー利用よりもマテリアル利用の方が実用化の難易度が高いことがこの図から見て取れる。

表 7. 3 バイオマスの利活用技術（エネルギー変換技術）

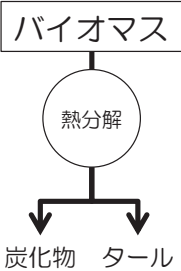
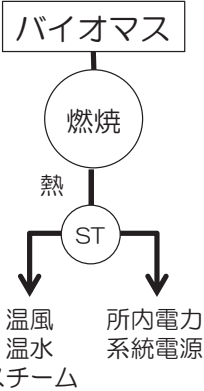
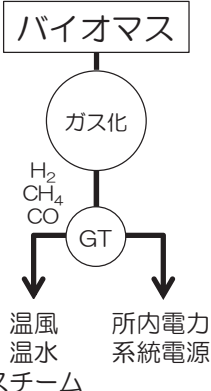
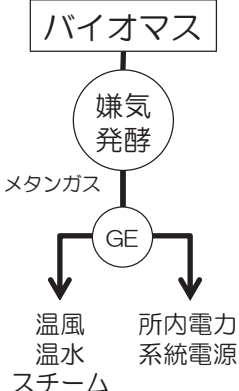
エネルギー変換				
熱化学的変換				生物変換
技術	熱分解・炭化・半炭化	燃焼	ガス化	メタン発酵
主原料 バイオマス種	木質・農業廃棄物 汚泥 ※汚泥は乾燥が必要	木質・農業廃棄物 汚泥 ※汚泥は乾燥が必要	木質・農業廃棄物 汚泥 ※汚泥は乾燥が必要	食品廃棄物・汚泥 家畜排せつ物
特徴	無酸素状態でバイオマスを 400-900℃で加熱。熱分解ガス化は燃焼し、乾燥および熱分解・炭化時の熱エネルギーに利用。炭素含有率の高い固体分は燃料、タールは液体の燃料として利用。	空気雰囲気下で有機物を燃焼。酸化反応により発熱した熱を温水・蒸気あるいは発電に変換。発電にはボイラー、スチームタービンが必要。また高含水率の場合には乾燥が必要。	650-1,100℃の加熱下でガス化剤 (H ₂ O、CO ₂ 等) と反応させ CH ₄ 、CO、H ₂ 等の可燃性ガスに変換。吸熱反応なので一部燃焼させることが多い。ガスエンジン・ガスタービンで発電。	無酸素状態で生物分解するとともに、メタンを合成する反応(嫌気性発酵)。生成ガスはガスエンジン・ガスタービンで発電。高含水率バイオマスでも直接利用が可能。
主な生産物	油 炭化物	熱	メタン・水素 一酸化炭素	メタン
反応	$C_nH_mO \rightarrow C_nH_m'O$	$C_nH_mO + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$	$C_nH_mO + O_2 \rightarrow CO + CO_2 + H_2 + CH_4 + H_2O$	$C_nH_mO \rightarrow CH_4 + CO$
プロセスフロー (一例)				
技術レベル	乾燥系廃棄物および汚泥で実用化	乾燥系廃棄物および汚泥で実用化	木質系廃棄物で一部実用化	乾式・湿式があり食品廃棄物、汚泥等ですでに実用化
課題	低コスト化およびタールの有効利用	熱利用効率の改善および灰の利用	エネルギー変換率の改善とタール抑制	複数原料の混合発酵

表 7. 4 バイオマスの利活用技術（マテリアル変換技術）

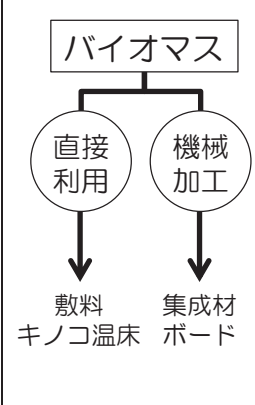
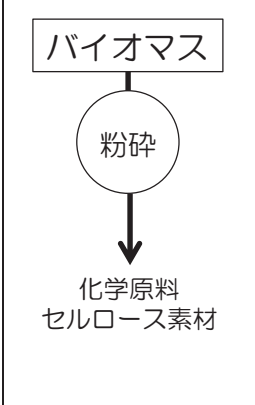
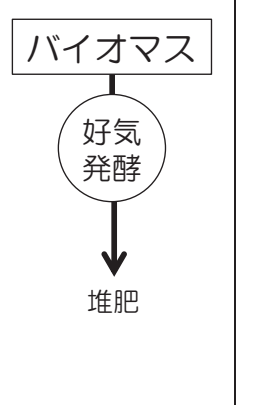
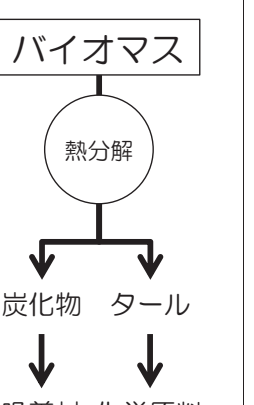
項目	マテリアル変換			
	直接利用・加工	粉碎	飼料化・堆肥化	炭化
主原料 バイオマス種	木質系	木質・草本系	食品廃棄物 汚泥	木質 汚泥
特徴	木材等をそのまま加工し、原料とする。木質系バイオマスの利用に限定されている。	リグノセルロース系バイオマスを微粉碎し、原料として利用。近年はセルロースナノファイバーなどが取り出されている。	飼料化は食品廃棄物等を粉碎し、その他有機物と混合。堆肥化は有機物の微生物による好気性発酵。	熱分解ガス中に含まれるタールや原料ガスを原料として化学原料を合成。比表面積の高い炭化物は吸着材などとして利用。
最終生産物	菌床・集成材・OSB・Wood Plastic 等	木粉・パーティクルボード・セルロースナノファイバー	飼料・肥料・堆肥	活性炭・木酢・タール原料・化学原料
プロセスフロー (一例)	 <pre> graph TD A[バイオマス] --> B(直接利用) A --> C(機械加工) B --> B1[敷料] B --> B2[キノコ温床] C --> C1[集成材] C --> C2[ボード] </pre>	 <pre> graph TD A[バイオマス] --> B(粉碎) B --> B1[化学原料] B --> B2[セルロース素材] </pre>	 <pre> graph TD A[バイオマス] --> B(好気発酵) B --> B1[堆肥] </pre>	 <pre> graph TD A[バイオマス] --> B(熱分解) B --> B1[炭化物] B --> B2[タール] B1 --> B3[吸着材] B2 --> B4[化学原料] </pre>
技術レベル	既に実用化	既に実用化	既に実用化	炭化技術そのものについては実用化。ただし、後段の合成プロセスは開発段階
課題	更なる直接利用の多様化	粉碎時の消費エネルギー	堆肥化物の利用方法	低コスト化・合成技術開発

表 7. 5 バイオマスの利活用技術（マテリアル変換技術）

技術	マテリアル変換			
	工業原料化（一部燃料化も含む）			
	ガス化	水熱	バイオプロセス	合成
主原料 バイオマス種	木質系・農業系・厨 芥・汚泥 ※汚泥は乾 燥が必要	木質系・農業系・汚泥	木質系・草本系	木質系・草本系等 (ガス化可能な原料)
特徴	650-1,100℃の加熱 下でガス化剤（H ₂ O、 CO ₂ 等）と反応させ CH ₄ 、CO、H ₂ 等の可 燃性ガスに変換。得 られた原料ガスは触 媒等を用いて化学製 品や燃料へと合成。	加圧熱水中でバイオマ スを分解させる。糖化の 場合には 180℃～220℃の 亜臨界領域で処理を行 い、ガス化の場合には 374℃以上の超臨界状態 で分解を行う。加熱にお いて潜熱ロスがないため 高含水率バイオマスの処 理に用いられる。	バイオマス由来の 発酵性糖質を起点 に多様な化学品・ エネルギー物質を 効率的に製造する 技術。バイオマス 種により第1～第 3世代までの糖化 技術が開発中。	原料をガス化し、生成し たガスから触媒を用い て液体燃料や化学製品 を合成する技術。
最終生産物	化学原料・化学品・ メタノール・BTL	炭化物・糖類・BDF・ バイオオイル	糖類・エタノール・ 化学品	合成化学原料・化学品・ プラスチック
プロセスフロー (一例)	<p>バイオマス</p> <p>ガス化 H₂ CH₄ CO</p> <p>触媒 合成</p> <p>燃料 汎用化学品 高付加価値製品</p>	<p>バイオマス</p> <p>水熱</p> <p>有機酸 C5・C6糖原料</p> <p>嫌気 発酵</p> <p>メタンガス</p>	<p>バイオマス</p> <p>糖化</p> <p>C5・C6糖原料</p>	<p>バイオマス</p> <p>化学 分解 生物 分解</p> <p>触媒 合成</p> <p>燃料 汎用化学品 高付加価値製品</p>
技術レベル	木質系廃棄物で 一部実用化	研究段階	糖類系・澱粉系の バイオマス（第1 世代）では すで に実用化	研究段階
課題	小型高性能ガス化炉 の開発	反応装置の安定性と低価 格化	効率的な糖化・発 酵技術。	高効率・高選択性の触媒 開発。合成に適したガス 化制御。不純物除去。

表 7. 6 再生可能エネルギーを組み合わせた複合プロセス（エネルギー変換）

	熱電併給型	並列型	変換型
特徴	再生可能エネルギーと組み合わせているわけでは無いが、電気エネルギーと熱エネルギーを併給する最も典型的なプロセス。電気だけではなく、熱をカスケード的に利用するため、高いエネルギー変換効率を達成することが可能。	従来の風力発電、太陽光発電にバイオマス発電を組み合わせた並列型の発電プロセス。自然に環境により影響を受ける風力・太陽光に安定的に発電可能なバイオマスを組み合わせた複合発電プロセスで、それぞれのデメリットを相互に補完することが可能なプロセス。	従来の風力発電、太陽光発電の電気エネルギーを利用して、水素あるいは温水等に変換し、蓄エネルギーが可能なプロセス。エネルギー変換が少なくとも2回あるため、エネルギー変換効率は低くなる。エネルギーを蓄えておくことができるため、災害時でのエネルギー利用が可能。地域の再生可能エネルギー量に合わせてプロセスを構築。
プロセスフロー（一例）	<pre> graph TD B[バイオマス] --> C((変換)) C --> H[熱] C --> E[電気] H --> HW[温風 温水 スチーム] E --> EP[所内電力 系統電源] </pre>	<pre> graph TD W[風力] --- B[バイオマス] S[太陽光] --- B B --> C((変換)) C --> H[熱] C --> E[電気] H --> HW[温風 温水 スチーム] E --> S1((蓄電)) S1 --> E2[電気] E2 --> EP[所内電力 系統電源] </pre>	<pre> graph TD W[風力] --- B[バイオマス] S[太陽光] --- E1[電気] B --> C1((変換)) E1 --> C2((変換)) C1 --> H[熱] C2 --> H2[水素貯蔵] H --> HW[温風 温水 スチーム] H2 --> FC((FC)) FC --> EP[所内電力 系統電源 モバイル] </pre>
製品	温熱・電気	温熱・電気	温熱・電気
技術レベル	既に実用済みで、数多くのバイオマス発電所で利用されている。	実証レベル	実証レベル
課題	変換効率の向上	組み合わせパターン、負荷変動への対応、および導入コスト	変換効率の向上、利用用途の開発、および導入コスト

7. 3 エネルギー変換技術

エネルギー変換技術は、バイオマス利用方法の一つで熱エネルギー、あるいは仕事（電気等）エネルギーへと変換する技術で、様々な技術が開発されている。物理的変換技術として固体燃料化があり、熱化学的変換技術として燃焼、炭化、ガス化、水熱ガス化、液化、エステル化（バイオディーゼル燃料）、生物化学的変換としてメタン発酵、水素発酵、糖化、セルロース発酵、エタノール発酵、ブタノール発酵等がある。これ以外にも細かく分類すれば急速熱分解液化や水熱液化、水素化分解などの技術についても研究開発が行われている。現在既に実用化・商用レベルにあるのは固体燃料化、燃焼、炭化、エステル化、メタン発酵、糖化（第一世代）である。ただし、すべてのバイオマス種について、これら技術が実用化されているわけでは無いので注意が必要である。

このように、バイオマスのエネルギー変換技術は多岐に渡る。水熱ガス化やBTL製造、藻類由来の液体燃料製造（第三世代）についてはまだまだ研究段階であり、現時点でバイオマスの利用拡大に直結しないため、以下、本項では現在実用レベルにある技術について説明を行うことにする。ただし、第一世代の糖化は糖質、デンプン質系のエタノール発酵で歴史も長く技術も確立しており、また食料と競合していることから、今回の説明からは割愛し、バイオディーゼル製造（エステル化）については原料が廃食油に限定されていることから今回の説明からは除外している。

7. 3. 1 燃焼・固体燃料

表には記していないが最も簡単なバイオマス利用方法として物理的変換があり、物理変換により固体燃料化されたバイオマスは燃焼により熱エネルギー、電気エネルギーに変換される。燃焼は最も簡便なエネルギー変換技術で、また利用可能なバイオマス種も多いことから既に多くの施設において商用運転されている。燃焼そのものについては、特筆すべきことは無いが、バイオマスを熱エネルギーに変換する場合には図7. 4に示すように、そのバイオマス自身が有する発熱量（有効発熱量）が大きな指標となる。有効発熱量とは総発熱量から含まれる水分の蒸発潜熱、顕熱、灰分吸熱（顕熱と融解熱）や排煙の顕熱を差し引いた発熱量であり、燃料としての自燃可能限界を示している。図は1,173Kでの有効発熱量を示しているが、火炎の状態や温度により数値が若干変わることには注意が必要である。また汚泥のように含水率が60%を超える有機廃棄物の有効発熱量はゼロ以下になるため自燃は不可能であり、燃料としての価値はネガティブ、つまり燃やすためには逆にエネルギーの投入が必要となる。有効発熱量で示したように、エネルギー的な利用価値から見ると水は不純物であり、燃焼前に効率的に取り除くことがエネルギー変換効率を向上させる上で極めて重要となる。

話を固体燃料に戻すと、廃棄物を原料とする燃料のエネルギー密度は一般的に低く、そのままでは燃料として利用し難いことから廃棄物等を乾燥、粉碎、成形を行ったペレットやブリケット燃料が製造されている。家庭で捨てられる生ゴミやプラスチックゴミなどの

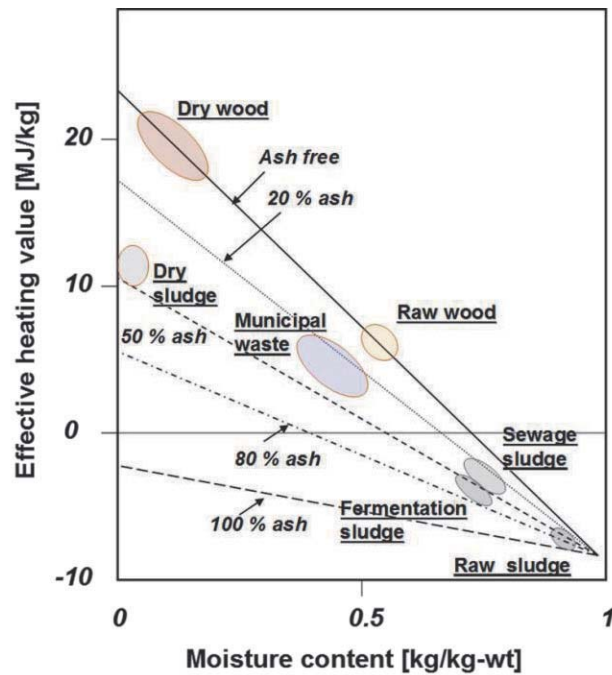


図7. 4 各種バイオマスの有効発熱量

一般廃棄物を固形燃料にしたものをRDF (Refuse Derived Fuel) と呼び、分別した古紙と廃プラスチックを原料とする固体燃料をRPF (Refuse Paper & Plastic Fuel) と呼ぶ。分類上はRPFもRDFの一つであるが両者は区別されていることが多い。厳密な意味で言えばプラスチック等を含んでいるため純粋なバイオマスとは言えないが、生ごみなどの有機廃棄物や古紙を含んでいるためバイオマスを原料とする固体燃料の一つに加えられる。固体燃料はカロリー調整されていることやペレット化の際に体積が3分の1から5分の1程度になることに加えて、輸送性に優れている点でメリットを有している。ただし、RDFは一般廃棄物を主原料とするため、塩素分や重金属、水分、腐敗防止と乾燥、塩素対策のため石灰の混合が避けられず、燃料としての品質管理が難しいことや発熱量は石炭の半分程度であること、乾燥、燃焼、環境に適応させるための設備が長大になるなど、燃料としての利用には様々な課題が残っている。また、燃料化後も有機物の酸化が進行している場合があり、その貯蔵については最大限注意を払う必要がある。一方、RPFは分別された産業廃棄物（古紙および廃プラスチック）を原料としているため異物の混入が少なく、含水率もRDFに比べて低いことから乾燥させることなく比較的高発熱量の燃料を製造でき、また古紙と灰プラスチックの混合割合を変えることで、使用者のニーズに合わせて発熱量を調整可能な固体燃料であることから近年生産量が増大している。一般的に廃棄物の混合は燃料としての使用性を著しく低下させることが多いが、既知の物性を有している廃棄物を適切に混合することにより燃料としての価値を高めている良い例である。

国内での需要はほとんどないと思われるが、一般廃棄物や産業廃棄物を固形化した燃料に対して原料に石炭粉とおがくずや稲わら、トウモロコシの芯やさとうきびの搾りかす等の有機廃棄物を10-25%混合し、さらに脱硫のための消石灰を加えて高圧で成形した固

体燃料が近年生産されており、バイオブリケットと呼ばれている。脱硫効果があるため酸性雨対策として有効だけでなく、有機廃棄物の処理、石炭使用量の削減などの効果も見込まれていることから、特に途上国における利用が期待されている。

ペレット化、ブリケット化された固体燃料についてはボイラー等の燃焼装置で利用されることが多いが、燃焼装置には様々な排出規制や基準があり、特に他の燃料と混焼する場合においては燃料としての質（基準）を考慮して製造を行う必要があるため、有機廃棄物であればすべてが固形化燃料として利用が可能なわけでは無いので注意が必要である。

7. 3. 2 炭化・半炭化

現在、バイオマス燃料化の一手法として炭化が行われている。高含水率有機廃棄物を炭化するには脱水が必要であるものの、近年の脱水装置や薬剤の開発により省エネ脱水が可能となってきており、また得られる炭化物の性状は比較的安定していることやカーボンニュートラルなバイオマス資源であることから微粉炭ボイラーにおいて石炭に数%の割合で混合され燃料として利用されている。すでに炭化物の利用が一部で進められていることから、炭化物の燃料性状に関する報告は多い。一般的に炭化過程においては含酸素割合が減少し、炭素割合が増大するため発熱量は増大するものの、揮発分の多い有機廃棄物を原料とする場合には熱分解反応が進めば進むほど炭化物中の揮発分は失われ、その一方で灰分割合が増大する。発生する揮発分は燃焼することにより乾燥等の熱源として利用されるが、その一方で原料性状にもよるが、30min、973Kの処理において約70%が灰分となる場合もあり、単位重量当たりの発熱量は大幅に減少するため固体燃料としての魅力は失われてしまうことになる。そのため、炭化物を燃料とする場合には、炭化物の歩留まり、発熱量、灰分割合、処理プロセスにおける全体のエネルギーバランスを考慮して炭化条件を決定する必要がある。炭化物の灰分割合は一般的に高いので、炭化物単独燃焼でのエネルギー回収においては灰溶融による熱交の灰付着や炉の閉塞等のトラブルに対する対策が必要である。バイオマス原料とする炭化物の石炭燃焼ボイラーにおける利用は、二酸化炭素排出量の削減とバイオマス再利用の両立が可能であることから、バイオマス利用が積極的に進められている例であり、実際汚泥を原料とするバイオ炭化物は有価で取引されている。

バイオマスのように揮発分が多い廃棄物を熱分解することにより、可燃ガスやタールなど燃料としての有用なエネルギーが失われることから、近年では473-573Kの低温で熱分解を行う半炭化（torrefaction）が注目を集めている。半炭化とは炭化のように完全に揮発分を飛ばすのではなく、エネルギーとして利用できる揮発分については燃料中に残しておく熱分解操作である。汚泥のような高含水率有機廃棄物への半炭化の直接の適用は熱源確保の点で課題は残るが、木質系バイオマス原料とする半炭化技術開発については積極的に進められてきており、欧州においてはすでに大規模石炭ボイラーの混焼燃料として使用されている。半炭化物の性状は熱分解時の温度や昇温速度、含まれるセルロース、ヘミセ

ルロス、リグニンの割合により大きく異なり、また得られる半炭化物のエネルギー収率を高く維持する必要があるため、原料に合わせたきめ細かな熱操作が要求されている。炭化、半炭化はエネルギー変換技術の一つとして組み入れられているが、固体燃料に変換するという操作であることから、実際にエネルギーに変換するためには、後段に燃焼やガス化などの技術が必要となることを忘れてはならない。つまり、固体燃料を製造したとしても、それを利用する技術や使い道が無ければ結局エネルギーをかけて製造した固体燃料も廃棄物ということになるため、固体燃料を製造する場合には特に出口（利用先や販売価格）を考えておく必要がある。

7. 3. 3 生物発酵

一般的に水分を含め、不純物を多く含む廃棄物の固体燃料化に関しては分離等の前処理が必要不可欠であり、含水率が高い場合には、脱水・乾燥、エネルギー密度が低い場合や不純物が多い場合には、高密度化や改質が必要となる。特に燃料化の際に乾燥に消費するエネルギーは莫大であり、廃棄物によっては燃料化後の燃料が持つエネルギーよりも多くのエネルギーを前処理に投入しなければならない場合もあり、高含水率廃棄物の固体燃料への変換はエネルギー的に見て非効率である。そのため、汚泥処理施設に限らず、食品系廃棄物などの高含水率廃棄物の処理においては従来の処理技術より如何に消費エネルギーを削減可能であるかが開発の焦点となっており、特に含水率の高い汚泥の燃料化においては水の扱い（分離）における省エネ化が大きな課題となっている。その解決手法の一つとして高含水率有機物から水を分離することなく可燃ガスを生産可能なメタン発酵処理技術（嫌気性発酵）が近年広く利用されている。得られる燃料は気体で、自動的に水との分離が可能であることや固体燃料に比べてエネルギー変換や輸送が容易であることから比較的大規模な汚泥処理施設においては消化処理を併設する動きが活発になっている。メタン発酵における課題として発酵後にも汚泥処理が必要であることやメタン発酵時には加温が必要なことが指摘されており、処理施設全体におけるエネルギー収支はネガティブである場合もあるが、従来の発電を行わない焼却処理に比べて大幅なエネルギー削減を実現している。

上述したメタン発酵と対極をなす生物発酵法に堆肥化がある。堆肥化は有機物分解を伴う好気性発酵で分解時には熱が発生することから、含水率80%程度の有機廃棄物はエネルギーの投入なしで燃焼可能な40%弱まで乾燥が可能となる。また、初期含水率を低下させる、あるいは発酵を促進するために、木質チップや農業系廃棄物など他のバイオマスと混合される場合もある。堆肥化により有機物の乾燥が可能であることから、汚泥等、高含水率有機廃棄物の燃料製造における乾燥過程に取り入れられている。しかしながら、生物による有機分の分解反応が極めて遅く堆肥化による乾燥に30-40日の期間を要してしまうことが大きな課題であった。堆肥化乾燥速度を向上させるため、堆肥化乾燥と上述した半炭化を組み合わせたプロセスが構築されている。このプロセスでは、堆肥化乾燥後の堆肥化

物を673K程度で半炭化し、炭化時に発生する熱分解ガスを燃焼することで乾燥に必要なエネルギーを賄っている。堆肥化物の含水率は40%以下であるため、炭化時に補助燃料を加えることなく半炭化物が製造できる。また、得られる炭化物は熱分解条件をコントロールすることで堆肥化乾燥時の発酵促進剤や排ガス用の吸収剤として利用することもできる。実際、汚泥炭化物を脱水汚泥に添加することで堆肥化速度を大幅に促進可能であることも明らかとなっており、わずか6日程度で堆肥化による乾燥が完了する。堆肥化と炭化は既に実用化されている技術ではあるが、既存技術を組み合わせることにより、従来よりも効率の高いエネルギー変換プロセスを構築している良い例の一つであると思われる。

7. 4 マテリアル変換技術

エネルギー変換同様にマテリアル変換についても物理的変換（直接利用）、熱化学的変換、生物化学的変換がある。物理的変換は木材等をそのまま加工し、家具や集成材、パーティクルボード、OSB（Oriented Strand Board）、Wood Plasticなどの製品として利用する方法で、個人的には最も好きな利用方法であるが、バイオマスの中で木材のみが唯一物理的変換が可能であるため、利用方法としては限定的である。燃料チップ用の木材や間伐材などは木材として直接利用が可能であるのではないかと思うほどに立派なものもあるため、直接利用するための方法、例えば設計方法や建築方法、防腐方法、強度強化方法などを考えていくことも、これら木質系廃棄物の直接利用拡大につながるものと考えられる。また、セルロースナノファイバーのようにバイオマス中の成分（セルロース）を精製して利用するバイオマテリアルも直接利用に含まれるが、バイオマス中の成分を利用するため、分離等の前処理を必要としている。バイオマテリアル技術と言っても大きく3つの技術があり、上述したセルロース（セルロースナノファイバー）を原料とするプラスチック複合材料、糖化物を原料とするプラスチック製造およびリグニンを原料とする樹脂や化学原料製造がある。糖化物を原料とするプラスチック製造は、糖質・澱粉質を含むバイオマスからポリ乳酸やプラスチック素材を製造する技術で、バイオマテリアル利用の中で既に実用段階にある技術である。ただし、トウモロコシなどを使うため、これも上述したように食料と競合している。

熱化学的変換は熱分解あるいはガス化により炭化水素や水素、一酸化炭素を製造し、得られた物質を再合成することにより化学原料を製造するプロセスであり、単にバイオマス中の成分を分解するだけではなく、分解の制御、さらには合成という制御が必要であり、技術的なハードルは未だ高い。この手法は比較的多くの種類のバイオマスに適用が可能である点でその他マテリアル変換技術と比べて優位性がある。

生物化学的変換は文字通り酵母や細菌により化学原料を製造する変換技術で、上述した第一世代の糖化等がそれに当たる。バイオリファイナリーはバイオマスのマテリアル分野で期待されている技術で、バイオマスを原料として多様な化学薬品やアルコール、有機酸、アミノ酸、ポリマー原料、輸送燃料などに変換する技術ではあるが、現在は技術開発段階

にあり、実用化までにはもう少し時間がかかる。

バイオマスのマテリアル利用は、原料が食品競合物、あるいは木質系のバイオマスに限定されている場合が多く、紹介したすべてのバイオマスの利用拡大につながるわけでは無いが、付加価値の高い製品が得られる点で将来的には間伐材の利用拡大につながることを期待している。ただし、バイオマテリアルの競争相手は常に化石燃料由来の製品となるため、生産技術だけの開発だけではなく、プロセス全体を俯瞰的に見ながら製品のコストを下げる努力をしなければ、技術が成熟したとしても日の目を見ない可能性もある。

7. 5 再生可能エネルギーを組み合わせたエネルギー変換複合プロセス

これまでに、既に実用化されているバイオマスの利用技術を紹介したが、薄く、広く分布しているバイオマスを高い効率で利用することは、たとえ高度な技術開発が進展したとしても困難を伴うことは容易に予想がつく。つまり、バイオマスを利用するにあたっての大きな障害はバイオマスの利用技術そのものに起因しない場合も多くみられることがある。例えば間伐材の利用率は低いですが、利用率の低い原因は山元における切り出しであり、輸送であり、それらに掛かる人材確保の難しさや経済的障害であり、バイオマスそのものをエネルギーあるいはマテリアルに変換する技術とは全く関係がない。勿論、切りだし、輸送を容易にするための技術開発は必要であり、人を必要としない機械化も必要ではあるが、変換技術そのものの高度化・効率化とは少し話が違っている。そのため、近年ではバイオマス利用拡大における欠点を補うため、その他再生可能エネルギーを組み合わせた複合プロセスが構築されつつある。

再生可能エネルギーには太陽光、太陽熱、風力、水力（小水力）、波力、地熱等があり、国の施策によりこれら再生可能エネルギーの利用促進も盛んに進められている。これら再生可能エネルギーにはそれぞれに特徴があり、太陽光（熱）、風力はある意味無限に存在している（枯渇の心配が少ない）エネルギーで、それぞれの地域において活用が可能ではあるが、季節、時間、気候など、自然に左右されやすいといった回避しがたいデメリットがある。一方、バイオマスの場合にはその地域に存在する資源量が少ない、地域によってバイオマスの種類が異なるというデメリットはあるが、物理的に存在し、物質としての保管が可能であるという極めて大きなメリットを有している。そのため、ある地域に存在する各種再生可能エネルギーを組み合わせデメリットを補完することができれば、これまでのように広域におけるバイオマス収集をしなくても、それぞれの地域で得られるバイオマスのみを原料としてエネルギー変換することが可能となり、バイオマスの利用拡大につながるものと考えられる。

表7. 6に現在実証研究が進められている再生可能エネルギー複合プロセスを示す。複合プロセスは地域で産出されるバイオマスと太陽光、風力を組み合わせたバイオマスエネルギー利用プロセスである。それぞれの地域で得られるバイオマスの量や種類が異なり、また日射量や風量が異なり、さらには出口エネルギーの利用形態も大きく異なるため、構

築されるプロセス（組み合わせ）としては無限大ではあるが、一般的なエネルギー利用の観点から考えると並列型と変換型の2つに大別できる。並列型はバイオマス、太陽光、風力を並列的に利用するプロセスで、時間ごと、あるいは季節ごとに変動が大きな太陽光、風力発電の間に蓄電装置を入れ、それをサポートする形でバイオマスエネルギー変換が組み合わさっている。連続的な電力供給が必要である場合には、こちらのタイプが良いとは考えられるが、大規模な蓄電装置が現時点で無い（価格が高い）ため、採算性が合わないケースもある。

一方、変換型は近年特に注目されているプロセスの一つで、太陽光発電、風力発電により得られた余剰の電力を使って水素や温水等の貯蔵可能な形態に一度変換しておき、使用したいときに発電、あるいは熱エネルギーとして利用するプロセスである。バイオマスについても水素等の可燃ガスとして貯蔵、あるいはベース電源として利用する。電気を水素、あるいは熱等に変換し、それを再度変換して使うことからエネルギー変換効率は低くなるものの、電気を使用しない時間帯に余剰の電気を利用して別のエネルギーの形態で貯蔵しておくことは無駄を削減する意味で新しい省エネの考え方であると思われる。また、エネルギーを貯蔵可能な形態へと変換しておくことにより、災害時の利用も可能になるなどのメリットも有している。ただし、これら複合プロセスについては、近年実証運転され始めたプロセスであり、これから多くの課題が出てくるものとは思われるが、その一方で既存確立技術の組み合わせであることから、早期実用化も可能であると考えられる。

7. 6 バイオマス利用における提言

2002年にバイオマス・ニッポン総合戦略が閣議決定されて以来、バイオマス活用推進基本法（2009年）、バイオマス活用推進基本計画（2010年）、バイオマス事業化戦略（2012年）などバイオマス利用拡大に関する施策が矢継ぎ早に閣議決定され、それに伴い数多くのバイオマスの利用技術に関する研究報告やバイオマスの賦存量に関する調査報告が提出され、バイオマス利用拡大に関する各種情報が取り纏められている。また、現在も国の力強い施策のもとバイオマス利用拡大を目的とする数多くの実証研究がなされているとともに、数多くの商用装置が稼働している。

2016年には新たなバイオマス活用推進基本計画が閣議決定され、これまで蓄積してきたバイオマス利用技術をさらに高度利用することにより、より経済的な価値を生み出すバイオマス利用プロセスや限られた資源を有効的、かつ徹底的に使用する多段階利用、さらにはエネルギー効率の良い熱利用が推進され、各自治体においてもバイオマス活用推進計画の策定が進みつつある。ただし、中部圏においては唯一静岡県が、2012年にバイオマス活用推進計画を策定しているものの、森林資源の豊富な長野県や岐阜県、富山県は未策定（2016年10月現在）のみである。

バイオマス利用拡大を支援するため、内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省（7府省）が2012年にバイオマス活用推進会議を設置し、現

在府省の枠組みを超えたバイオマス利用拡大が推進されている。バイオマス活用推進会議から提出されたバイオマス事業化戦略には7つの大きな戦略についての記載があり、現在のバイオマス利用においてもこの戦略を基軸とする様々なバイオマス利用に関する施策や提案型公募が行われている。当該戦略はバイオマス利用拡大において一定の役割を果たしてきており、二酸化炭素排出量削減のためのバイオマス利用拡大を推進する上で非常に重要な戦略であるとも考えられる。個々の戦略を見ると、バイオマス利用の促進や事業化を推進する上で非常に重要な内容が含まれている。例えば、税制優遇やFIT制度、総合支援戦略などはバイオマス利用を促進する上でのインセンティブを与え、事業化における大きなモチベーションにつながっている。実際、FIT制度を利用したバイオマス利用事業（売電事業）は年々拡大しており、バイオマス市場規模は2010年の1,200億円から2015年には3,500億円まで拡大してきた。ただし、上述してきたように薄く、広く分布し、さらに使いにくいバイオマスを利用するには限界がある。つまり、これらの戦略は個人的に言うならば、公共事業的要素が強く、この戦略や制度の範疇を超えた場合、バイオマス利用の拡大や発展にはつながりにくいものと考えられる。確かに使いやすいバイオマスについては、パイ（バイオマス）の取り合いになるほどに利用拡大があり、需要増大による原料コストの急騰も見られた。しかし、重厚長大なバイオマス利用施設により、薄く広く分布する使いにくいバイオマスを一時的に処理・利用する手法や技術だけでは今後のバイオマス利用の拡大につながるものとは考えづらく、実際FIT制度を活用したバイオマス発電404件に対して間伐材等未利用木質バイオマスを原料とするバイオマス発電は36件にとどまっている。表7. 7に示すFIT制度におけるバイオマス発電の調達価格は一般の電力価格に比べて法外であるにもかかわらず未利用木質バイオマスの件数が伸び悩んでいるのは、収集、運搬にコストがかかり経済性が成り立たないためである。

表7. 7 FIT制度におけるバイオマスの平成26年度買取価格および期間

種類	メタン発酵ガス	間伐材由来木質系	一般木質・農作物残渣	建設資材 廃棄物	一般廃棄物・その他
調達価格	39円	32円・40円	24円	13円	17円
調達期間	20年	20年	20年	20年	20年

このような背景から、2016年9月16日に閣議決定された新たなバイオマス活用推進基本計画においては、バイオマス利用の高度化や熱利用の高度化が盛り込まれ、更なるバイオマス利用の拡大・促進につなげようとしている。この計画では2025年に国が達成すべき目標が記載され、売電以外のバイオマス事業への取り組みと育成を目的として地域が主体となった事業の創出と農林漁業の振興や地域への利益還元による地域の活性化が盛り込まれ、従来のバイオマス事業における限定性や画一性が取り除かれている。ただし、その一方で政府が講ずべき施策として高度利用や多段階利用が強調されている。そのため、今まで利

用されてきたバイオマス技術、つまり利用しやすいバイオマスの高度利用や効率化利用はより推進されるものと考えられ、またバイオマスを原料とする高付加価値植物の生産の拡大は見込めるものと考えられるが、これまで未利用であるバイオマスの利用やバイオマス利用技術の普及に対してはその影響は限定的であることから、画一的なバイオマス事業に陥るのではないかと不安を覚えるところでもある。また、その推進基本計画では地球温暖化の防止が柱として据えられている。確かに地球温暖化の防止、二酸化炭素排出削減は我が国が世界に対して約束したことであり、国を挙げて取り組むべき課題である。ただ、二酸化炭素の排出削減が念頭にあるとどうしても利用率の向上、エネルギー変換効率の向上など、効率化のための高度な技術の導入が必要となってくる。勿論、すでに実用化されている技術についてもその技術にさらに磨きをかける必要もあるが、その一方で技術の高度化が進むと、どうしてもコストが増大してしまい、結局バイオマス利用における経済性を損なってしまうことが懸念される。

府省の枠組みを超えたバイオマス利用拡大が推進されつつあることを説明したが、バイオマス利用においてすべての制約が取り外されているわけではない。例えば、同じ有機廃棄物である一般ごみと汚泥は、同じ施設で焼却を行い、エネルギー回収することはできない。少ないバイオマス資源を効率的に利用するためには、このような処理規制を取り外し、地域から排出される複数種のバイオマスを一つの処理施設においてエネルギー化するということも真剣に考えていく必要がある。

近年、地産地消という言葉がよく聞かれるが、薄く広く分布し、それぞれの地域で異なるさまざまな種類のバイオマスを利用するためには、地産地消、つまり地域における多様化しか道は残されていない。現在のバイオマスの普及方法は国の施策によるところが大きく、図7.5に示すように規模は従来に比べて小さくなったものの、従来の集約型に分類される。集約型はその地域には存在しないバイオマス、つまり広い範囲からのバイオマスを収集することになる。また、経済的にみて利用できない技術を求めることになる。その

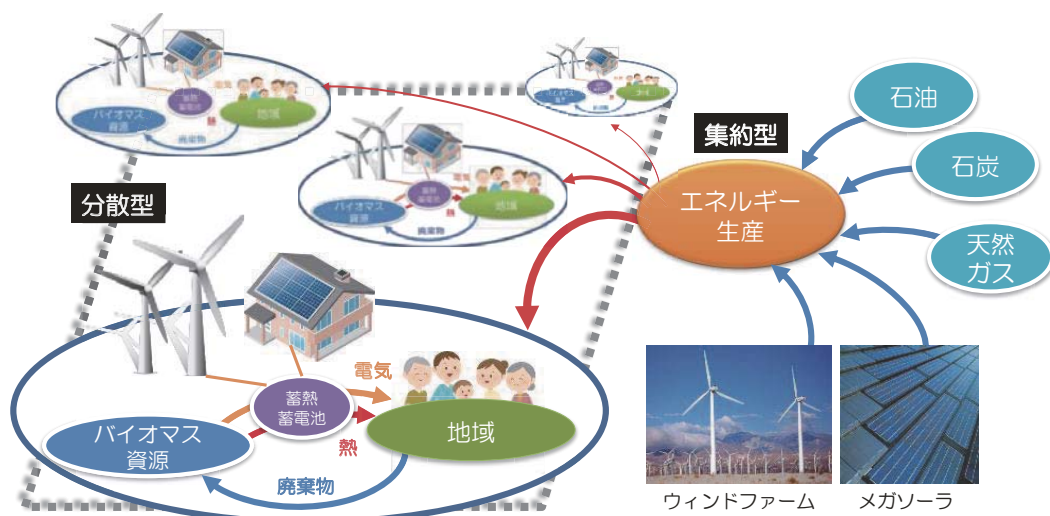


図7.5 再生可能エネルギーの組み合わせによる地産地消のバイオマス利用

ため、バイオマス利用推進のためには、

- 1) 集約型から超分散型へと思考を切り替え、当面はスマートで、高度かつ高効率なバイオマス利用にこだわらない。
- 2) バイオマスは薄く広く分布しているからこそその地域に密着していなければならない、またその地域において特色があるべきである。それに合わせた技術開発や利用方法が見いだされなければならない、様々な種類のバイオマスの混合利用も含め、その地域に合わせた利用プロセスの多様化が必要である。
- 3) バイオマス資源のみの利用では必ずしも地産地消が困難であり、また複数のバイオマスを用いても循環サイクルが形成できない場合は経済性も担保されないことから、その他再生可能エネルギーを組み合わせた複合プロセスの導入（組み合わせの高度化）の検討も必要であると考えられる。

これらを実現するためには、今後のバイオマス利用において地域にあるバイオマスを現在実用化されている技術を用いて、まず利用する工夫を行うことが大事である。また、得られる生産物を地域に還元することが重要であり、未利用バイオマス（地域において利用されていないバイオマス）を有効に利用することで、二酸化炭素の削減は後からついてくるぐらいの気持ちでシンプルに地域にあるバイオマスの利用に取り組めばよいのではないだろうか。

上述したことは、国や自治体のサポートを否定するものではなく、逆にバイオマスは使いづらい資源であることからこそバイオマスを利活用する上で国や自治体の施策やサポートは重要であり、そのサポートをうまく利用することがそれぞれの地域に求められている。その一つの施策例として2013年度からバイオマス産業都市が選定されており、地域にあるバイオマスを活用した地域活性化が進められ現時点で76の市町村が選定されている。中部圏においては、愛知、静岡、富山で2件、三重で1件採択され、各市町村において独自のバイオマス利用が始まっている。中部圏における採択率はまだまだ低いのが現状である。バイオマス利用においては各省庁においてこれ以外にも様々な施策、税制優遇策、融資などが準備されているので、これらを有効に利用しつつ、また高度な技術を最初から導入するのではなく、現在実用化レベルにある技術を用いてコンパクトに未利用バイオマスの利用拡大につなげていけばよい。ただし、そこには地域に合わせた工夫（組み合わせの高度化と多様化）が絶対的に欠かせない。

参考文献

- 1) NEDO バイオマスエネルギー技術の体系的整理とプロジェクトに関する調査
<http://www.nedo.go.jp/get/houkoku/6.pdf>
- 2) 農林水産省 バイオマスの活用をめぐる状況
http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/pdf/doc_biomss_201611.pdf
- 3) 東京農業大学 農山村支援センター 再生可能エネルギーを活用した地域活性化の手引き http://nousanson.jp/data/tebiki_ene2015.pdf
- 4) バイオマス利活用会議 バイオマス事業化戦略 ～技術とバイオマスの選択と集中による事業化の推進～
http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/senryaku.pdf
- 5) バイオマス事業化戦略 主要技術の概要
<http://apl.infoc.nedo.go.jp/biomass/>
- 6) NEDO バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計
http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/gijyutsu.pdf
- 7) 平成25年度 バイオマスエネルギービレッジ構築可能性調査事業 報告書
<http://www.maff.go.jp/j/biomass/b-energy/pdf/gaiyou.pdf>
- 8) バイオ燃料技術革新協議会 バイオ燃料技術革新計画
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80326c05j.pdf>
- 9) 経済産業省 資源エネルギー庁 再生可能エネルギーを知る、学ぶ
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/outline/
- 10) 日本エネルギー学会, バイオマスハンドブック, 2002

第8章 中部圏における小規模水力の利用拡大に向けて

ダムを利用する大規模水力の新規開発の余地は残されておらず、これまでエネルギーとして捉えられていなかった小規模な水資源を発電に利用する流れが活発化している。小規模水力の利用およびその拡大においては、スケールメリットを有する大規模水力開発とは異なる視点が必要であり、特定の地域に賦存する水力エネルギーをどのように利用するかが鍵となる。本章では小規模水力エネルギーの利用拡大に向けて、最近の動向や留意すべき事項について述べる。

8. 1 水力エネルギー利用の現状

世界的に再生可能エネルギーの開発、普及が活発化している。資源に乏しい日本は発電電力量の約9割を火力発電で、約1割を再生可能エネルギーで賄っている。再生可能エネルギーによる発電量の内訳として水力が90%を占めている。日本の起伏に富んだ地形と豊富な降水量は水力発電に適しており、純国産の安定した電源として戦後の復興、高度経済成長を支えてきた。経済的観点からスケールメリットを追求した開発が進められ、これらの時期に大規模水力発電所が全国に建設された。その結果、現在では大規模水力を新たに開発する余地は残っていない。そのため、最近では、設備更新時期を迎えている発電所について、水車やケーシング、吸出管等の形状を現在の流体解析技術で最適化することで発電所の最高出力の向上および運転領域の拡大をおこなうリパワリングの取り組みが多い。

水力エネルギーを利用するためにはその地域性を理解しておく必要がある。図8. 1は都道府県別包蔵水力¹⁾を示したものである。包蔵水力とは「発電水力調査により明らかとなった我が国が有する水資源のうち、技術的・経済的に利用可能な水力エネルギー量のこと」(資源エネルギー庁)であり、主に河川水が対象である。日本の包蔵水力の分布は大

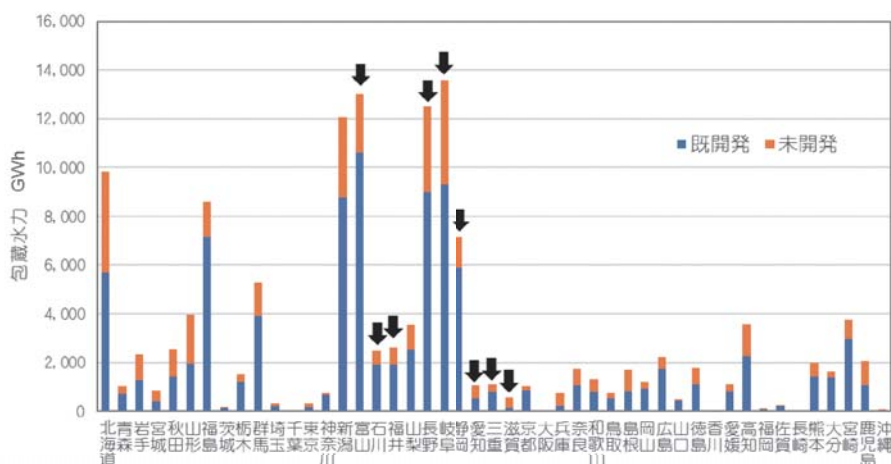


図8. 1 都道府県別の包蔵水力 (2015年3月31日時点)

出典：資源エネルギー庁データベースにもとづき著者がグラフ化

URL : http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/database/energy_japan003/

表 8. 1 未利用落差発電包蔵水力（規模別）

	出力規模	合計			未開発			既開発		
		地点数	出力 (kW)	発電電力量 (MWh)	地点数	出力 (kW)	発電電力量 (MWh)	地点数	出力 (kW)	発電電力量 (MWh)
ダム利用	100kW未満	662	28,643	143,873	656	28,431	143,025	6	212	848
	100～300kW	209	36,698	185,361	178	30,461	151,820	31	6,237	33,541
	300～500kW	71	26,668	130,624	54	20,091	96,796	17	6,577	33,828
	500～1000kW	65	43,755	222,674	35	22,535	118,643	30	21,220	104,031
	1000kW以上	106	465,288	1,750,792	48	207,855	983,709	58	257,433	767,083
	計	1,113	601,052	2,433,324	971	309,373	1,493,993	142	291,679	939,331
水路利用	50kW未満	322	6,990	53,407	303	6,527	50,152	19	463	3,255
	50～100kW	78	5,470	35,284	61	4,057	30,109	17	1,413	5,175
	100～500kW	77	15,759	91,024	50	9,160	69,418	27	6,599	21,606
	500～1000kW	15	9,467	49,357	4	2,180	17,375	11	7,287	31,982
	1000kW以上	4	6,130	21,549	0	0	0	4	6,130	21,549
	計	496	43,816	250,621	418	21,924	167,054	78	21,892	83,567

きく偏っており、図中に矢印を付した中部圏9県の中では岐阜、富山、長野、静岡の4県に集中していることがわかる。

現在、2030年のエネルギーベストミックスの実現に向けて再生可能エネルギーの導入拡大が図られている。上述のとおり水力エネルギーについては大規模開発の余地はなく、小規模水力の利用拡大が求められている。未開発の小水力エネルギーのポテンシャルが「中小水力開発促進指導事業基礎調査（未利用落差発電包蔵水力調査）」として実施され、公表されている²⁾。表 8. 1 に未利用落差発電包蔵水力の規模別の分類を示す。表中の「ダム利用」および「水路利用」の具体的な水資源は以下のとおりである。

1) ダム利用

河川維持用水、利水放流水、農業用水、砂防堰堤

2) 水路利用

農業用水、上水道、工業用水、下水道

表 8. 1 から明らかなようにダム利用については100kW未満、水路利用については50kW未満の地点が多い。両者の未開発水力について1地点あたりの平均出力は、前者が43.3kW、後者が21.5kWと極めて小さい。このことから、今後の水力エネルギーの利用拡大には、これらの極小規模水力の利用が欠かせないことがわかる。しかしながら、ポテンシャルが存在するものの地点開発が積極的に進んでいるとは言い難い状況が最近まで続いていた。転機となったのは固定価格買取制度の導入である。特に太陽光発電の調達価格が下がり始めてからは、調達価格が据え置かれている小規模水力発電への参入を目指す事業者が急激に増えている。民間企業の参入が多いものの、NPO法人、土地改良区、自治体など事業者の種類は多様化している。これは小規模水力開発が、普段目にする農業用水路や上下水道などの身近な水資源を対象とするためだと思われる。「自分達の水資源」を自らのために利用するという発想は、従来の大規模水力発電ではなく、「地域エネルギー」とも言える小規模水力だからこそのものである。小規模水力の特徴として以下の点が挙げられ

る。

- (1) 自然（設備）の形状を有効活用
- (2) クリーンエネルギー
- (3) 大規模水力と比較して経済性が低い
- (4) 流れ込み式であり流量変化が大きい
- (5) 水利用への関係者が多く、発電用水の占有がしづらい
- (6) 新エネルギーに分類（ $\leq 1\text{MW}$ ）
- (7) 河川法許可手続きが簡素化（ $\leq 1\text{MW}$ ）
- (8) 固定価格買取制度の対象（ $< 30\text{MW}$ ）

項目（7）、（8）や、小水力発電導入促進モデル事業、小水力発電事業性評価調査等の支援があり、小水力発電開発が加速しつつある。水の流れがあれば原理的には発電は可能であるが、開発規模が小さくなるほど経済性の確保が困難となる。

8. 2 小規模水力の利用拡大に向けた課題と対応策

大規模水力発電は、需要家へ電力を安定的に供給することを目的として開発されているのに対して、小規模水力発電は灌漑用水や飲料水、工業用水など他目的のために構築して運用されている施設内の流水を発電に流用するものである。両者の立場は大きく異なり、小規模水力では本来の水利用に支障が出ないように利用することが重要である。固定価格買取制度の施行により、小規模水力エネルギーの売電利用が特に注目を集めているが、その利用には注意が必要である。ここでは小規模水力エネルギーの利用拡大に向けた課題と対応策について述べる。

8. 2. 1 利用の目的

小規模水力を持続的に利用するためには、まずはその目的が大切である。利用方法の例を以下に列挙する。事業者側は地元が管理してきた「地域エネルギー」としての水を利用させてもらう立場であることを理解し、地元で納得してもらえらる形での導入としなければならない。そのためには、水資源の利用を受入れる側である地元にとってもメリットが継続することが望まれる。双方が受益者となり、協働による水の管理と運用を実現することが必要である。

- 発電（売電、自家消費）
- 農業の省力化への利用（水門開閉、塵芥掻き揚げ）
- 電動農機具への充電、電力供給
- 非常用電源、街路灯、観光地ライトアップ
- エネルギー自立型社会の実現
- マイクログリッドの構築
- 動力利用（ポンプ駆動）
- 揚水電気料の補てん（売電）
- 獣害防止用電撃柵
- 脱／減化石燃料農業の推進
- 環境教育・学習
- EV車、EVバイクの充電

8. 2. 2 低い経済性

小規模水力を利用するうえでの最大の課題は低い経済性である。一般的に容量が小さくなるほど投入できる資金は少なくなり、経済性の確保が困難になる。ここでは、発電コストを低減するために必要とされる課題について述べる。

1) ポテンシャル情報の開示

水力発電所の適地探索段階において、発電コスト低減に最も有効な手段は、より流量と落差が大きな地点を低コストで選定することである。長野県農政部は、農業用水路を利用した小規模水力発電の推進のために県内農業用水路における小規模水力発電のポテンシャル情報と適用できる水車機種名を開示し、事業希望者と施設所有者との取次ぎもしている。この開示によって小規模水力の導入検討に至る案件が大幅に増加している。ポテンシャル情報の開示は、事業希望者にとっては、小規模水力発電開発において適地選定に失敗するリスクの軽減と調査費用の低減に役立ち、施設所有者にとっては、水資源の提供による収入増加につながる機会を得ることができる。一方で、施設所有者の所属や連絡先等の情報は開示しておらず、施設所有者側が事業希望者と面談するか否かを選択できるようにしている。事業希望者が多様化している現状では、事業希望者が信頼に足る相手であるか否かは施設所有者にとって重要な関心事項の一つである。他県においても類似の方法でポテンシャル情報を開示することで、小規模水力発電の導入推進が図れる可能性がある。

2) 正しい発電量の見積もり

水力発電では、落差と流量が決定できれば発電容量および建設コストが算出できる。落差は経済性を勘案して取水口と放流口の位置を決めることでほぼ確定することができる。それに対して流量は年間を通して常に変動するため、既存の記録を水管理者から入手するか、事業者が現場で計測して取得する必要がある。発電に使用する設計流量を決定するためには、一般的に図8. 2のような流況曲線を用いる。流況曲線は、候補地点に流れる毎日の水量を、横軸に時間をとったグラフ上に流量が大きいものから並べて作図したものである。小規模水力発電の検討時には流況曲線で年間発電電力量が見積もられるが、これは評価水量が水車に導かれることが前提である。現実には発電所運開後に取水障害や機器トラブルを起こす例が少なくない。小規模水力発電用の水車は体格が小さく閉塞が起こりやすい。このトラブルを避けるためには、塵芥の種類と量、積雪・凍結の有無、土砂流下の有無など地点固有の状況を十分に勘案した対策を事前に講じておくことで回避できる。砂防堰堤では、沈砂池、排砂ゲート、取水部への継続的な河道確保、浚渫など検討・対策すべき課題が多い。農業用水路や自然河川では、水路内に水車あるいは取水ゲートを設置した際の水位上昇や、農業残さの流入対策、出水時の流下流量の確保などが必須である。積雪・凍結を伴う地点では、上記に加えた対策が必要となる。小規模水力発電では、取水水量が少ないために塵芥等による取水量のわずかな低下も発電量に大きく影響するため、注

意と対策が必要である。

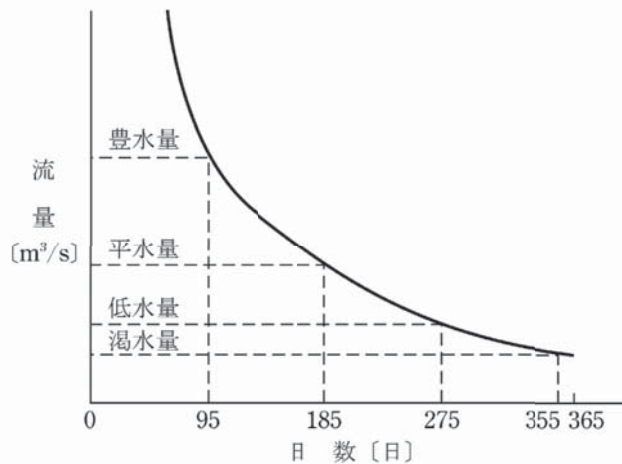


図 8. 2 流況曲線

3) コストの低減

小規模水力利用において経済性を向上するためには、土木工事、土木設備、機械設備、電気設備、管理運用のすべてにおいてコスト低減に取り組む必要がある。土木工事や土木設備については既存構造物を可能な限り流用すること、導水管の材料を鋼管から樹脂製管として材料費を抑制することなどが挙げられる。機械設備としては主に水車であるが、小規模水力用の水車では、大規模水力用の機種的小型化と構造の簡略化により機種コストを低減している。例えば、可変ピッチであるカプラン水車のガイドベーンとランナベーンについて、それらのうちの片方あるいは両方を固定ピッチとして可動機構部にかかるコストを削減する方法がある。さらに、固定ピッチとしたカプラン水車（プロペラ水車）に永久磁石式発電機（PMG）とインバータを組み合わせることで可変速運転を可能にすることで運転領域の拡大と水車効率の改善を実現する方法などがある。大規模水力用の水車が水車効率改善にしのぎを削っているのに対して、小規模水力用の水車ではコスト低減を重視することが必要である。そのため、小規模水力に特化した独自機種の開発、実用化もなされている。国内の大学、企業等で開発、導入が進められている小水力独自の機種として、ダリウス水車³⁾、相反転方式水車⁴⁾、チロリアンクロスフロー水車⁵⁾、開放型貫流水車⁶⁾を紹介する。

3-1) 極低落差ポテンシャルの活用ーダリウス水車ー³⁾

落差 1 m 以下の極低落差ポテンシャルで発電が可能な水車として開発された。水車の概略を図 8. 3 に示す。開水路内に堰板を固定し、その堰板下流側に水車が位置する。堰板上流部の水位が適度に上昇するように堰板開口部面積を調整し、その開口部から流出する水流内にランナを設置することで回転動力を発生させて発電をおこなう。揚力を発生させるためにランナブレードの断面は翼形となっており、枚数は 3～5 枚である。回転軸は鉛直方向（縦軸）であり、ランナ上部に発電機を設置する構造である。緩やかな流れであっ

ても、揚力型であるため回転数が高く、増速機を介さずに発電が可能である。土木工事をせずに水路内へ設置、発電が可能であり、コスト面で有利である。また、構造変更が比較的容易であるため、水路のサイズ、流量条件に柔軟な対応が可能である。

水路内へ水車発電機を設置する場合の留意点として、水車設置による上流水位の上昇、流下する塵芥への対応、出水対策が挙げられる。塵芥は水車上流部に設置したスクリーンで取り除く。出水時には水流の一部が堰板上端部を越流することで水路外への溢流を防止している。

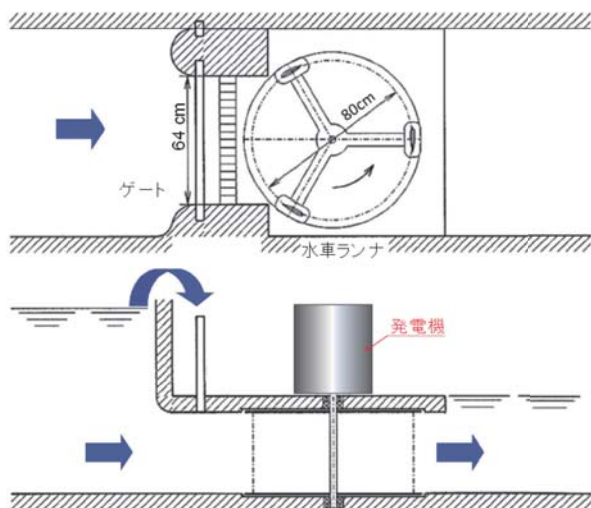


図 8. 3 ダリウス水車の概略

長野県須坂市においてダリウス水車の実証試験が実施された。図 8. 4 に水車設置前後の様子を示す。この地点は急流工直下の減勢工になっており、水は写真奥から手前へと流れる。水路の様子がわかりやすいように水を止めているときの写真としている。水路幅 0.64m、落差 0.4m、流量が最大で $0.2\text{m}^3/\text{s}$ である。ランナの回転直径は 0.8m で、ブレードの高さが 0.25m、数が 5 枚である。水車設置後の写真において、堰板の奥に格子状のスクリーンが見える。一年程度の実証試験が実施され、極めて小さな落差ではあるが、ダリウス水車がスムーズに発電し、極低落差の発電利用が可能であることが証明された。



(a) 設置前



(b) 設置後

図 8. 4 ダリウス水車実証試験の様子

3-2) 高速回転化と据付の簡便化を実現—相反転方式水車発電ユニット—⁴⁾

落差が小さな小水力発電では水車ランナの高速回転化が望めず、ランナと発電機回転数とのマッチングのために増速機構を有するか、発電機を高価な多極式とする場合がほとんどである。設置やメンテナンスの費用を低減するためには増速機構の排除、発電装置全体の簡素化が求められる。このような課題解決を達成した一つの方法が、相反転方式水車発電ユニットである。同ユニットの概略を図8.5に示す。通常発電機が固定子と回転子を有するのに対して、相反転方式は図のように内外二重の回転子を有し、さらに回転子どうしが逆方向に回転する点が大きな特徴である。それぞれの回転子には前後二段の軸流ランナが直結されている。発電機出力電圧は磁界を切る相対速度に比例するため、相反転方式による相対速度の倍増により出力電圧の増大あるいは発電機径の減少が可能になる。

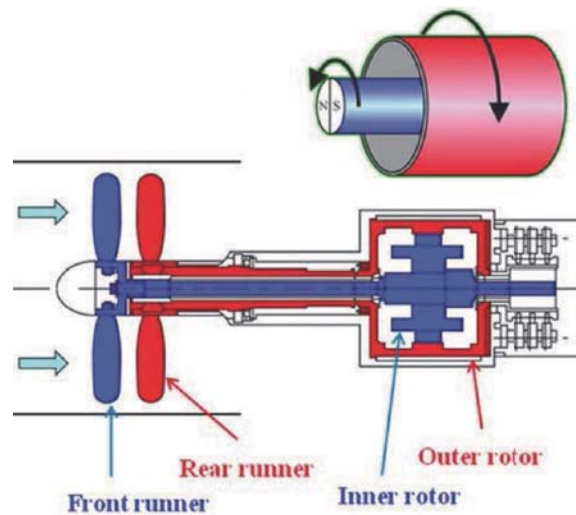


図8.5 相反転方式水車発電ユニット概略

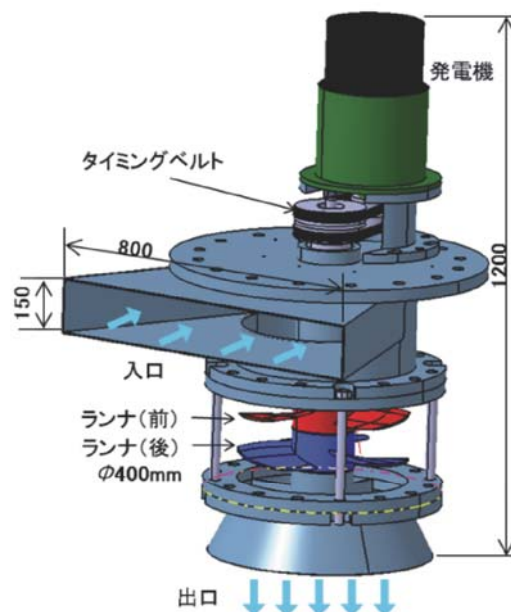


図8.6 農業用水路用の相反転方式水車発電ユニット

また、回転子に働くトルクが回転子間で相殺されるために発電機ケーシングの支持が極めて容易になり、発電ユニットの据付方法の簡素化ができる。

三重県多気町の水土里ネット立梅用水の農業用水路に設置された相反転方式発電ユニットのモデル図を図8. 6に示す。この水路は上端部での水路幅が2.25m、高さが1.44mである。灌漑期には田畑へ取水するために高さ0.5mの木製の板を設置して堰上げをおこなう。発電ユニットは工場で組み立てられた状態で現場に搬入された。設置はユニック車で吊り上げて堰板上部に引っ掛けるだけで済み、わずか一時間程度で完了した(図8. 7)。上流側を向いたダクトを有しており、ダクトに流入した水流は鉛直下部にある出口から排出される。除塵は別途必要となるが、低落差地点で増速機を設けずに高起電圧が得られ、コンパクトで設置が簡便な同ユニットは普及の観点から大きなメリットを有している。



図8. 7 相反転方式水車発電ユニットの実証試験の様子

3-3) 除塵機能を有する落差工専用水車—チロリアンクロスフロー水車—⁵⁾

チロリアンクロスフロー水車は農業用水路の落差工での発電に適する水車として開発された。チロリアンクロスフロー水車の概略を図8. 8に示す。落差工の鉛直壁面に貼りつくように設置する。水は水車上部からケーシング内部に流入し、ケーシング下部に設けた拡大部(ドラフトチューブ)を通過して下流方向へ流出する。そのため、落差工上流部と下流部の水位差を発電に有効に利用できる。「チロリアン」とは取水方法の呼称であり、下流方向にわずかに下り勾配を設けた除塵スクリーン上を水流が通過する際に、その水流の一部がスクリーンを通して取水され、残りの水はスクリーン上を越流する。越流水によってスクリーン面への塵芥付着を防止するセルフクリーニング機能を有している。一般的な水力発電では、除塵スクリーンに付着した塵芥は自動装置あるいは手作業により定期的に除去する必要がある。チロリアンクロスフロー水車はこの手間が不要あるいは極めて軽微であり、維持・管理コストの低減と安定した発電を実現できる。これらの点が最大の特長と言える。栃木県那須野ヶ原土地改良区連合の用水に設置されたチロリアンクロスフロー水車を図8. 9に示す。この地点は水路幅が約4mであり、幅2m、高さ1.8mの水車ユ

ユニットを2台並べて設置している。ユニットごとに工場内で組み立て完了した状態で現場に搬入、設置できるため、工事のための止水期間が短い点も導入に際して有利となる。発電時には越流水の裏側に位置するため設置前の景観が保全される。この地点では、落差が約1 m、流量が2 m³/s、出力が16 kWである。

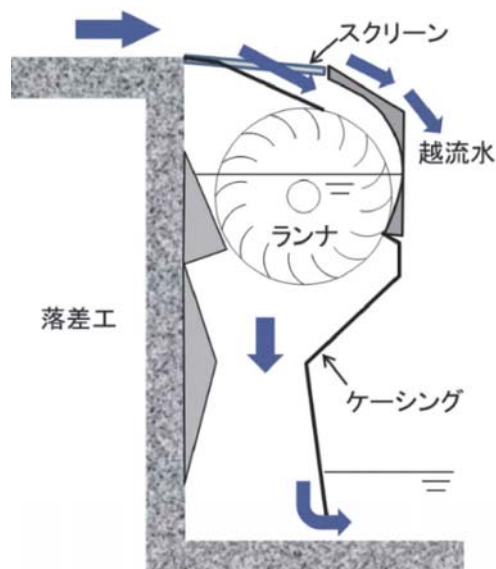


図8. 8 チロリアンクロスフロー水車概略



(a) 水車設置完了時



(b) 通水、発電の様子

図8. 9 チロリアンクロスフロー水車

3-4) 除塵不要の低コスト水車—開放型貫流水車—⁶⁾

開放型貫流水車は、徹底的な低コスト化を狙った水車である。開放型貫流水車の概略を図8. 10に示す。世界中の誰もが製作、導入、保守管理ができるように考案されたものであり、農業用水の落差工や小河川での発電が可能である。導水用の短い樋を有しており、水流はこの樋に沿って流下し、その下部のランナに作用する。樋下流端に曲率を設けることで流量変化時でも水流の落下位置を固定することが可能である。この樋は開水路となっており、塵芥による閉塞が生じない。ランナは貫流型であり、水流の運動エネルギーを効率よく動力に変換することが可能である。ランナは樋の裏側に設置することで塵芥の衝突

によるトラブルを回避している。ランナ直径は落差の3分の1程度と小径であり、高速回転化を実現している。多極の永久磁石式発電機を利用している。誘導発電機のように外部電源を必要としないため、無電化地域でも導入されている。ランナブレードは平板を曲げた形状を採用しており、鋳金と溶接技術のみで製作可能である。水車専用メーカー以外でも製作できるため、大幅なコスト削減を実現している。工作技術の乏しい発展途上国でも導入できる。

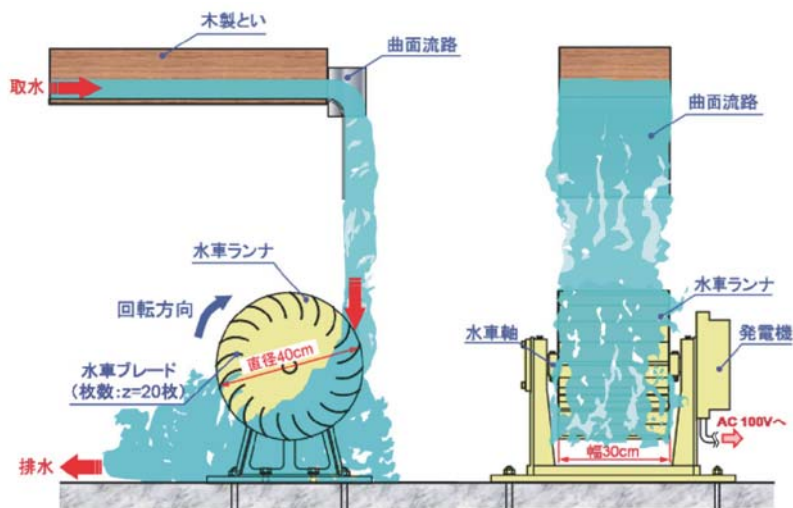


図 8. 10 開放型貫流水車の概略

群馬県嬭恋村に設置した開放型貫流水車を図 8. 11に示す。田畑の間を流れる自然の“せぎ”で発電し、電気を獣害防止用の電撃柵に供給するオフグリッドでの利用である。落差を得るために地元の間伐材で作られた樋で導水し、その末端に曲率を有した導水部を



図 8. 11 開放型貫流水車の運転の様子

設けている。発電した電力は、コンバータとインバータで家庭のコンセントと同品質で供給されており、電撃柵以外にも利用可能である。このサイトでは、電撃柵の導入により農作物への獣害が大幅に減少し、水車導入コストを上回る農業収益の増加が得られている。

3-5) その他

水車発電機以外の機械設備として導水管への塵芥流入を防止する除塵装置がある。塵芥による取水口の閉塞を防止する自動除塵機が一般的ではあるが、機器コストおよびメンテナンスコストが高い。他の塵芥対策としてバースクリーンを利用する例がある。自動除塵装置と比較して機器コストは大幅に低減できるが、塵芥の定期的な除去とその運搬・廃棄が必要であり、維持管理コストが高み事業性を低下させる。そこで、流水を利用した無動力の除塵スクリーンが開発されている⁷⁾(図8. 12)。一般的なバースクリーンよりも遥かに目開きが小さく、砂粒から大きな塵芥までその流入を防止できる。スクリーン面に下り勾配を設け、その面上に水を越流させることで塵芥はスクリーン面に張り付かずに本流へと流下するため塵芥の除去が不要である。この方式を採用できる地点においては、機器コストと維持管理コストの大幅な削減が可能である。



図8. 12 無動力式除塵装置

8. 3 小規模水力利用の拡大に向けて

小規模水力は身近なところに様々な形で存在する。そのいずれもが本来の目的を達成すべく長い時間とコストをかけて設置、管理されてきたものである。たとえば農業用水を例にとると、小水力発電が営農の障害になることがあってはならない。図8. 13は、農業用水路内に設置した水車に塵芥が引っ掛かったことで溢流が発生した事例である。農業用水路の周辺には田畑があり、この事例では溢れた水が近くの畑の表土を洗い流すとともに、耕作ができないほどの亀裂を発生させた。畑の地権者は半世紀にわたり土を育てながら営農をしてきていた。この地点では水車が設置される以前は農業用水から水が溢れることはなかった。このトラブルまではいかなくとも、水車を設置すれば水利用者は営農に影響し

ないかが気掛かりになる。また、水路を管理する手間が増えることになるかもしれない。地域に根差し、地域で守り、利用されてきた水資源を発電に利用する際には、事業者の視点ではなく、水資源を利用してきた受け入れ側の視点に立った導入、事前対策が必須である。一度トラブルが起これば、その地域での小規模水力利用は諦めざるを得ない。これらのことを常に意識して小規模水力利用の拡大を図りたい。



図 8. 13 水車への塵芥閉塞による水路からの溢流

8. 4 おわりに

小規模水力発電の利用拡大に向けて、小規模水力エネルギーの現状、利用拡大の課題、取組み事例等を紹介した。2011年の東日本大震災以降水力発電への関心が高まっている。これまで、水力発電は大手電力会社と大手水車メーカーによる大規模集中型であったが、今後の水力開発は小規模分散型である。小回りができ、地元のニーズに精通した中小企業、水利に関する団体、自治体、市民などが主体的に関わって導入を進めていくことが求められる。水車の製作から設置、発電、消費、運用まで一貫して地域でうまく回るように地産地消とすることで、エネルギー供給の観点のみでなく地域活性化効果をはじめとする二次的な効果が期待できる。紹介したもの以外にも様々なものが提案、実用化されている。今後の小水力発電の益々の発展に期待したい。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁webページ (2017年3月現在) http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/database/energy_japan003/
- 2) 平成20年度中小水力開発促進指導事業基礎調査 (未利用落差発電包蔵水力調査) 報告書、一般財団法人新エネルギー財団, p.195 (2009).
- 3) 古川明德、大熊九州男、田垣敦司: “ダリウス形水車による低落差水力の有効利用に関する一考察”、日本機械学会論文集B編、64(624)、pp.2534-2540 (1998)
- 4) 金元敏明、金子稔、田中大輔、八木努: “相反転方式水力発電に関する基礎研究 (第1報、発電機と軸流ランナの相反転化)”、日本機械学会論文集B編、66 (644)、pp.1140-1146 (2000)
- 5) 北洞貴也、小出良平、稲垣守人、大池真悟: “農業用水路の落差工に適した貫流水車に関する研究”、39(3)、pp.169-176 (2011)
- 6) 飯尾昭一郎、片山雄介、池田敏彦: “滝状流れで発電する開放型貫流水車の研究開発”、混相流、27(4)、pp.444-450 (2013)
- 7) 日本エンヂニヤ(株)ホームページ、<http://www.jyojin.com/>

第9章 再生可能エネルギーを利用する上での課題と新技術について

再生可能エネルギーは天候、資源の分布に大きく影響を受け、またエネルギー密度が化石燃料を利用した従来の大規模発電などと比較すると極端に小さいため、エネルギーの地産地消で表されるように、小規模かつ高品質とは言えないエネルギー（電力も含めて）を、その目的に応じて利用することが重要である。このとき、得られた再生可能エネルギーを効率よく利用することに目が向くが、では、エネルギーの高効率利用とは何を指すのか、またそのために必要な技術的課題は何が挙げられるかを吟味する必要がある。再生可能エネルギー利用促進の目的の1つは、CO₂排出量の削減である。しかしながら、再生可能エネルギーは、化石燃料と比較すれば、量および質の面で使いにくいことも事実であるため、せっかく得られたエネルギーを最大限有効利用することが求められる。本章ではそもそもエネルギーの有効利用とは何か、また様々な再生可能エネルギーはどのような特徴を持っているのかということに関して、エクセルギーという観点から論じる。

9.1 エネルギー消費動向の推移

例えば図9.1は製造業のエネルギー消費の推移を表したものである。日本のエネルギー消費の大部分を占める製造業においては、1973年の第1次石油ショック以降、各企業においてエネルギー利用効率を高めた結果、2014年において製造業の経済規模は1973年当時の2.4倍、生産指数も1.6倍に拡大した一方でエネルギー消費は0.9倍まで低下している。とくに、生産1単位当たりに必要なエネルギー消費（図9.2）は石油ショック以降、省エネルギーに積極的に取り組んだ結果、製造コストの削減および高付加価値商品へのシフトと重なって大きく改善している。図9.3は家庭部門のエネルギー消費の推移を表したものである。一般家庭におけるエネルギー消費は、1973年を100とすると、2000年に216まで拡大し、その後横ばいとなり、2014年で196程度となっているが、個人消費の伸びとほぼ同様に推移しており、家庭部門の日本のエネルギー消費に占める比率は14.3%と運輸部門の

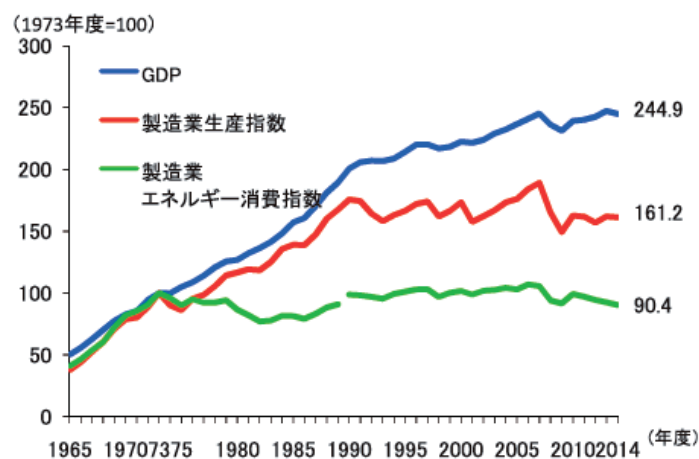


図9.1 製造業におけるエネルギー消費の推移（出典：経済産業省資源エネルギー庁HP）

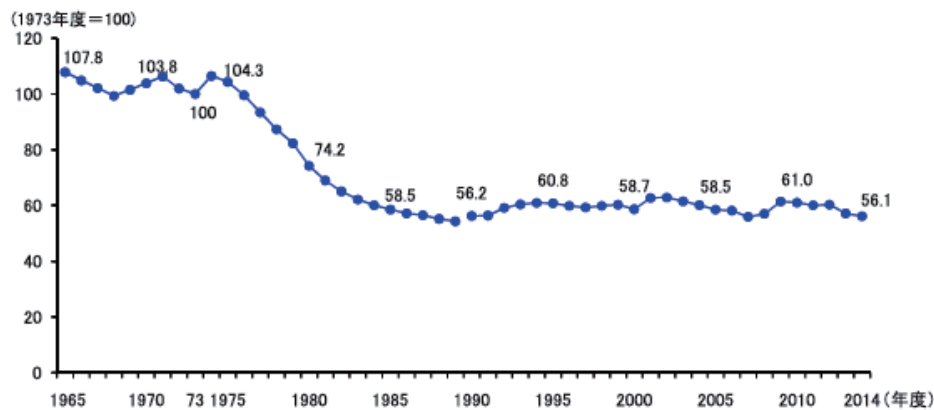


図9. 2 生産1単位当たりのエネルギー消費量 (出典：経済産業省資源エネルギー庁HP)

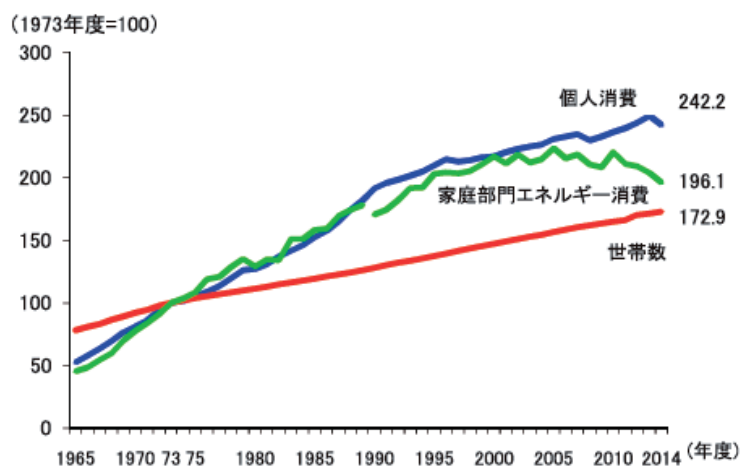


図9. 3 家庭部門におけるエネルギー消費の推移 (出典：経済産業省資源エネルギー庁HP)

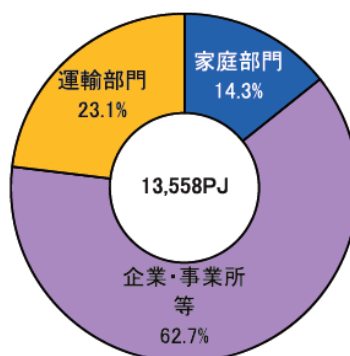


図9. 4 エネルギー消費の構成比 (2014年度) (出典：経済産業省資源エネルギー庁HP)

23.1%と比較しても決して小さくない (図9. 4)。このため、再生可能エネルギーの利用拡大においてはこれまで比較の見過ごされていた家庭部門での高効率エネルギー利用に目を向ける時期に来ている。

一般家庭の世帯当たりのエネルギー消費率の割合を図9. 5に示すが、家庭部門全体のエネルギー消費の増加は主に世帯数増加によるところが大きく、1世帯当たりのエネルギー消費量は1973年と2014年を比較すると、30GJ/世帯から34GJ/世帯に増加しただけでその

伸びは意外に小さい。用途別の内訳をみると暖房と給湯で約50%のエネルギーを消費しており、エネルギー消費で注目される冷房はわずかに2%を占めるのみである。1世帯で保有する家電製品の数は、1973年以降増加の一途をたどっているため、動力・照明他の割合も増加しているが、家庭部門でのエネルギー消費の多くは熱エネルギーとして消費されていることが分かる。一方、家庭部門におけるエネルギー源別消費の推移（図9.6）を見ると、2009年以降エネルギー源の50%を電気が占めるようになってきている。これはオール電化住宅の普及もあるが、安全で高品位のエネルギー形態として電気が積極的に利用されていることが表れている。

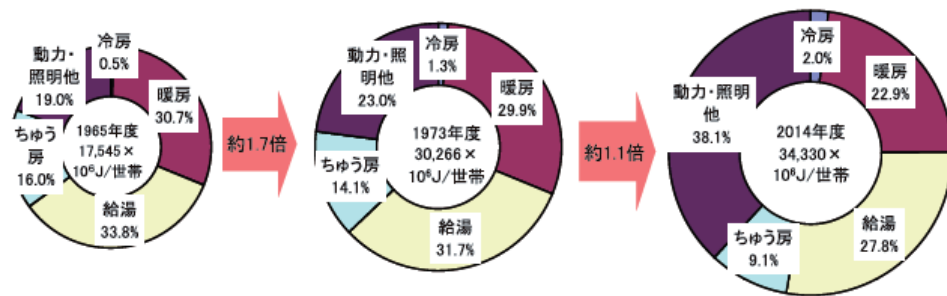


図9.5 家庭部門用途別エネルギー消費の推移（出典：経済産業省資源エネルギー庁HP）

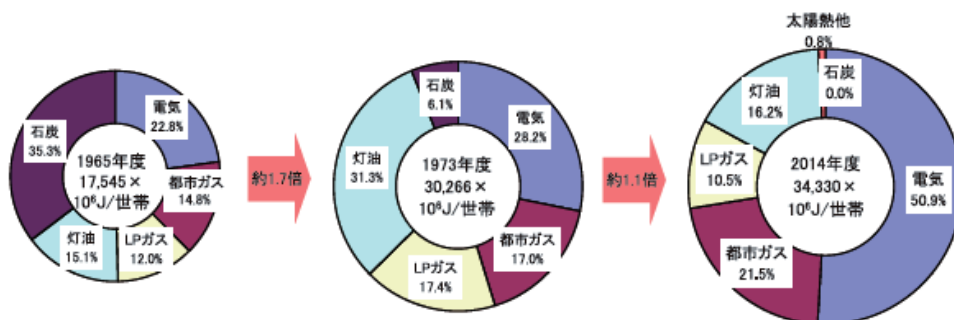


図9.6 家庭部門エネルギー源別消費の推移（出典：経済産業省資源エネルギー庁HP）

9.2 エネルギーの効率的利用の指標としてのエクセルギー

総合的なエネルギーの効率的利用を考えるうえで1つの指標となっているものはエネルギー利用効率である。エネルギー利用効率は定義により扱い方は若干異なるが、投入した電力あるいは燃料などのエネルギーに対して実際に「利用された」エネルギーの割合を示す。例えば最近では家庭向けエネルギーユニットとしてガスエンジンまたは燃料電池を利用したコージェネレーションシステム（コジェネ）の導入が進んでいる。コジェネにおいては熱機関（あるいは燃料電池）により発電を行うと同時に内燃機関から生じる排熱を給湯および暖房に利用する（図9.7）。このため例えば都市ガスで作動するコジェネを考える場合、内燃機関の発電効率が30%であっても排熱中の熱エネルギー70%を利用することができれば $30 + 70 \times 0.7 = 79$ （%）の総合効率であったと定義する。図9.5にも示さ

れるように一般世帯においては暖房や給湯に多くのエネルギーを配分する需要もあるため、コジェネの利用形態にもマッチする。

一方で臨海地区に天然ガスタービンと蒸気発電プラントを組み合わせた最新のコンバインドサイクル発電所を立地した場合、総合発電効率は60%程度まで達する。現状において火力発電所の平均熱効率は低位発熱量換算で約45%である。送電時のロス（5%）を考えると家庭に到達する時点での効率は40%であるが、臨海部に捨てられた熱エネルギーを世帯で直接利用することはできない。このため、一見コジェネの方が排熱を利用することで投入したエネルギー（この場合は都市ガス）の79%のエネルギーを無駄なく利用しているように見えるが、これはある意味誤りであり、ここにシステムの効率をエネルギー収支で議論する危険性がある。

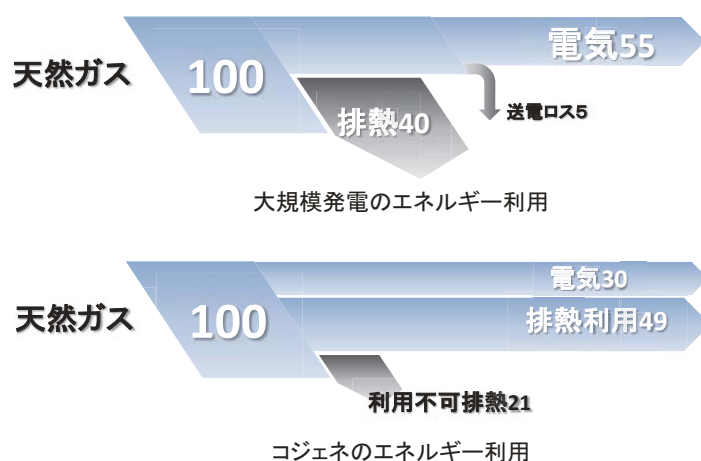


図9. 7 大規模発電およびコジェネシステムにおけるエネルギー利用の例

仮に断熱性の良い建築物の中で暖房用に100kJ相当の燃料（天然ガス）を消費して、すべての熱量が部屋の空気の昇温に利用された場合エネルギー利用効率100%であるが、これは高効率エネルギー利用といえるだろうか？あるいは投げ込みヒーターなどで給湯を行った場合、投入した電気エネルギーをすべて利用しているが、高効率エネルギー利用といえるだろうか？特に後者においては、電気での直接加熱は「不経済」である点、またはヒートポンプなどの方法を用いればより多くの加熱ができるという事実から、高効率エネルギー利用とは言えないであろうことが容易に予想できる。そもそもエネルギーは保存量であるため、熱エネルギーの形態で回収すればすべて利用率100%となってしまう。ではエネルギー利用効率ではなく何を基準としてシステムの効率を判断すべきであろう？その候補の1つとしてエネルギー利用効率でなく「エクセルギー効率」で判断することがより望ましい。ここではまずエクセルギーについて解説する。

ある熱源が存在するときはその熱源から最大どれだけの仕事を取り出せるかを考える。熱力学第2法則から、熱源が持つ熱エネルギーを100%仕事に変換することはできない。系のエントロピーは熱の移動があった時に変化するが、環境と可逆変化すなわちその境界

での熱の授受を考えると、

$$\Delta S = \delta Q / T_0$$

と表すことができる。また系の容積が増加した場合に、環境圧力に対しての仕事をしなければならぬが、これは最大仕事に含めることができない。このため取り出せる最大仕事 dW_m は、

$$dW_m = dw - P_0 dV$$

となる。これらの式と熱力学第1法則の式とを組み合わせると最大仕事 dW_m は、

$$dW_m = (U_1 - U_0) - T_0(S_1 - S_0) + P_0(V_1 - V_0)$$

と表すことができる。ここで添え字0は環境と平衡状態になった場合の状態量である。この最大仕事 dW_m は、変化が可逆的に行われること以外には、系の状態に対して何ら仮定を設けていない。すなわち、 dW_m はあらゆる形態のエネルギー（電気、機械、化学、熱 etc.）として取り出すことができることを示している。この最大仕事がエクセルギーであり、有効エネルギーとも呼ばれる。エクセルギーはある熱源が存在した場合に環境温度、環境圧力に対して、系が平衡となるまでに他のエネルギー形態に変換しうるエネルギーであり、熱源のエネルギーはエクセルギーと他のエネルギーに変換できない無効エネルギー（アネルギー）の和として理解される。非流動系において比エクセルギー e 、比内部エネルギー u 、比エントロピー s 、温度 T 、圧力 P 、比容積 v を用いて、

$$e = (u - u_0) - T_0(s - s_0) + P_0(v - v_0)$$

と表される。また流動系においては比エンタルピー h を用いて

$$e = (h - h_0) - T_0(s - s_0)$$

となる。

エクセルギーは環境条件を与えることで、熱力学的状態量と同様の取り扱いができるため準状態量ということが出来る。エクセルギーの定義から不可逆過程により系のエントロピーが増大するとエクセルギーは減少し、自然に増加することはない。系が環境と平衡状態になることで最終的にエクセルギーは0となる。またエネルギー的には環境より低い値であっても、環境との非平衡が存在すれば正のエクセルギー値をもつ。このため液化天然ガスのような極低温媒体からも仕事を取り出すことができる。また、電力は常に100%運動エネルギー（仕事）に変換できることから、電力におけるエクセルギーの比率は100%である。この観点からも電力はエネルギー源ではなくエネルギーキャリアである。

例として5℃の空気1kgを25℃まで昇温するケースを考える。このとき、必要な ΔQ は空気の定圧比熱を C_p ($=1.007\text{kJ/kg/k}$) とすれば $\Delta Q = C_p \Delta T = 20.1\text{kJ}$ となる。この空気の持つエクセルギーを環境温度 T_0 を5℃として計算すると、

$$\Delta E = Cp\Delta T - T_0 Cp \ln(T_1/T_0) = 0.691 \text{ (kJ)}$$

であり、空気の昇温に必要なエネルギーの約30分の1でしかない。このことから25℃の空気1kgの熱源は0.691kJ (3.4%) というわずかなエクセルギーと19.4kJ (96.6%) のエネルギーから構成されているといえる。さて、エクセルギーは可逆過程において熱源から最大取り出すことができる変換可能なエネルギーであったので、可逆過程を通して到達するために必要なエネルギー、すなわち平衡状態から出発してある異なる状態にするために必要な最低限の仕事と考えることもできる。これは上記の例においては、5℃の空気から25℃の空気1kgを作るために最低限投入しなければならない仕事は、熱量に相当する20.1kJではなくエクセルギーに相当する0.691kJであるということである。この考え方は一見、エネルギー保存則である熱力学第1法則に反しているように思えるが、0.691kJの仕事(エクセルギー)を投入すれば環境から19.4kJの熱を汲み上げて総熱量20.1kJの熱源を生成することができるということである。ヒートポンプはまさにこの原理を利用しているわけで、暖房用エアコンのCOP(動作係数)は5.5程度のものが市販されているが、これは電力1に対して4.5の熱量を環境(外気)からくみ上げてその合計を室内へ供給している。普及が進んでいる給湯用ヒートポンプもCOP3以上の成績となっている。

ではCOP 5.5のエアコンとCOP 3.0の給湯器では、数値の大きなエアコンのほうが高効率エネルギー利用といえるかということ、これも単純に数値を比較するだけでは判断できない。図9.8を使って説明しよう。前述の例と同様、環境温度5℃の場合で考えてみる。エアコンは室内の空調に用いられるため、機器出口での吹き出し温度が35℃とする。一方で、給湯設備は湯温を85℃まで昇温しているとする。この場合エアコンからの暖気の比エンタルピーおよび比エクセルギーは、

$$\Delta h = Cp\Delta T = 30.2 \text{ (kJ)}$$

$$\Delta e = Cp\Delta T - T_0 Cp \ln(T_1/T_0) = 1.52 \text{ (kJ)}$$

である。COP5.5であるので、エアコンには電力として5.49kJが投入されている。一方で給湯器の場合は、水の比熱 c (=4.186kJ/kg)として、

$$\Delta h = c\Delta T = 334.9 \text{ (kJ)}$$

$$\Delta e = c\Delta T - T_0 c \ln(T_1/T_0) = 40.6 \text{ (kJ)}$$

となり、COP3.0であるので給湯器には電力として111.6kJが投入されている。よって両者を比較すると、COP5.5のエアコンは5.49kJのエクセルギー(電力)投入に対して得られた暖気のエクセルギーは1.52kJであり、その変換効率(エクセルギー効率)は27.7%なのに対し、COP3.0の給湯器は、111.6kJのエクセルギー投入に対し得られる湯のエクセルギーは40.6kJであるため、その変換効率は36.3%とむしろ高い。この違いはそれぞれの装置で達成する温度の違いから生まれており、不可逆性の指標となるエクセルギー効率を比

較することで各システムにおける非効率性の評価を行うことが可能であるといえる。またエクセルギーの観点から考えた場合、熱を安価に生成することの難しさが理解できる。例えば先述の給湯を例に挙げると、一般的な湯沸かし式給湯器などで85°Cの湯を作ることは、燃料から熱へのエネルギー変換を行っていることに等しい。燃料のエクセルギーは後述するようにほぼ100%のため、燃焼時のエネルギー利用効率を90%としてもエクセルギー効率は $0.9 \times 40.6 / 334.9 = 0.109$ (10.9%) と非常に低い。しかし、これを向上させるためには熱機関とヒートポンプの組み合わせが必要となり、エクセルギーとしては有効利用できても高コストになることは否めない。熱を利用するという単一の目的ではエクセルギー効率を高く利用する限界は低いといえる。

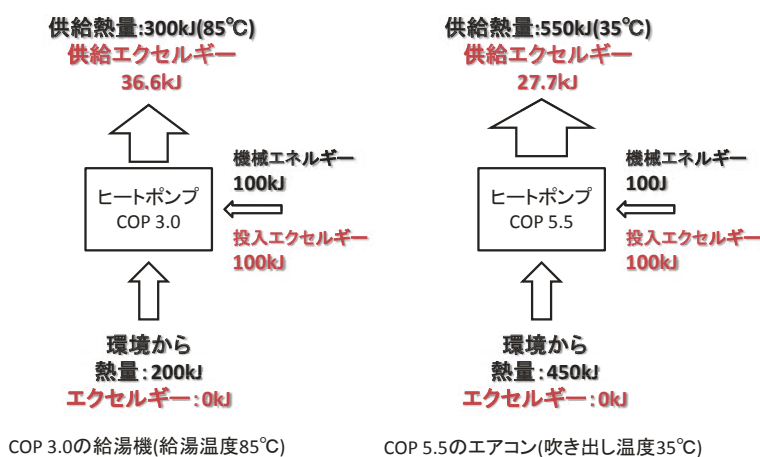


図9.8 ヒートポンプにみられるエネルギーおよびエクセルギー収支

9.3 エクセルギー評価によるシステム検討

このような視点に立って先に挙げたコジェネと大規模発電との比較を行ってみよう(図9.9)。コジェネにおいて発電効率は30%、排熱の70%の半分を給湯(給湯温度85°C)、もう半分を暖房(吹き出し温度35°C)で利用するとする。燃料を天然ガス(メタン)とした場合、燃料の持つエクセルギーはギブスの自由エネルギーから求めることが可能であり、意外と高く低位発熱量ベースで99.8%とほぼ100%に近い値がある(ちなみに水素は94.5%)。このためメタンを燃料として発熱量で100kJ投入した場合、30kJが電力、25kJが給湯(エクセルギー効率 $40.6 / 334.9 = 12.1%$)、24kJが暖房(エクセルギー効率 $1.52 / 30.2 = 5.0%$)に変換される。この結果、総エクセルギーは $30 + 25 \times 0.121 + 24 \times 0.05 = 34.2$ (kJ)となり、システムのエクセルギー効率は34%に過ぎない。特に、投入エネルギーの約半分の49kJを排熱の有効利用として回収しているが、実際回収されているエクセルギーは4kJ程度しかないことがわかる。一方で平均的な大規模発電は排熱と送電ロスを差し引いた40%が電力として家庭にまで供給されるためエクセルギー効率は40%である。発熱量100kJの天然ガスで40kJの電力が得られるので、理論的にはこのうち4kJ相当の電力を使え

ば上記コジェネの給湯と暖房相当を賄うことができ、効率の面で大規模発電が優位に見える。しかし、この値はあくまで電力から熱へ理論的に最大変換された場合の限界値であり、仮に先の例で挙げたCOPのエアコンとヒートポンプを用いた場合は、暖房と給湯を賄うために $25/3.0 + 24/5.5 = 12.7\text{kJ}$ の電力を投入することが必要である。この場合、電力として利用可能な量は 27.3kJ でありコジェネのほうがわずかではあるが高いエクセルギー利用率となっていることがわかる。このようにエネルギーの質を考慮してみた場合、エネルギー変換において、エネルギー利用効率の差に対してエクセルギー効率の差が小さくなる。あるいは逆転することもあり得る。エネルギー変換においてはエネルギー利用率ではなく不可逆過程を的確に表せるエクセルギー効率を用いることが重要であることがわかる。



図9. 9 大規模発電およびコジェネシステムにおけるエクセルギー収支の例

再生可能エネルギーを利用するシステムを考えた場合、バイオマス・汚泥などの低熱量燃料、風力・太陽光からの発電、地熱など熱源など多様なエネルギー源が考えられる。これらのエクセルギーをなるべく減少させないように輸送及び利用することが重要であるが、一方でエクセルギー減少を極小にして利用するための技術は、エネルギー形態によって現状その効率が大きく異なるという事実がある。例えば、電力から動力への変換あるいはその逆の動力から電力（水力、風力発電）はかなり高効率に行われる。また燃焼ガスから仕事（熱機関）、仕事から熱移動（ヒートポンプ）も幅はあるが25～40%程度で低くはないが決して高くもない。光から電力（太陽光発電）は開発途上の技術であり、現時点では光の波長を選択する必要があり実際の効率も15～20%とまだ十分高いレベルには達していない。燃料から電力（燃料電池）は例えば、固体酸化物型燃料電池（SOFC）を利用した1kW以下の小規模のもので現状で発電効率45～50%（LHV基準）のものが市販されている。これは大中規模出力の高効率ガスエンジンの熱効率と同程度であり家庭用で利用するケースにおいて有力な候補となる。このようにエネルギー変換の効率は変換方式によって大きく異なりすべての変換方法が高効率で行われるわけではない。このため良質の（エクセルギー比率の高い）エネルギーを生産する際に、変換方式によっては副産物として低質エネ

ルギーが大量に発生し、また良質なエネルギーを効率よく使う手段も限られているためエクセルギー的に減少させないように利用するには限界がある。

また、得られたエクセルギーをどのように変換するかということに関して、エネルギー的な観点以外にも経済的観点での検討も無視できない。先に述べたように木質バイオマスを直接ストーブで燃焼させて農業用ビニールハウスの暖房とした場合、エクセルギー効率はおそらく5%程度である。一方で木質ガスでガスエンジンを駆動し（エクセルギー効率30%）、この電力でCOP5.5のエアコン（エクセルギー効率28%）で暖房を行った場合、最終的なエクセルギー効率は $0.3 \times 0.28 = 0.084$ （8.4%）となり、木材を直接燃やすよりエクセルギー効率が良い。エンジンの排熱も暖房に利用すればエクセルギー効率は12%程度になる（ストーブで直接燃やすより2.4倍の容積の農業ハウスを暖めることができる）。しかしながら、最新技術を複数利用してもこの程度であり導入コストやランニングコストを考えるとこの7%のアドバンテージはまったく魅力とならない。まだ発電分を全量売却したうえでエンジンの排熱を暖房に利用し、さらに不足する熱量分を新規の木質燃料の燃焼をとおして暖房にした方がエクセルギー効率は低くても利用者の理解を得られる。この場合電力に関しては地産“否”地消となる。再生可能エネルギーの利用の難しさはまさにこの点にあり、良質なエネルギーを生産し高効率で利用するよりも低質エネルギーを低効率でふんだんに使う方がコスト的に安く、むしろせつかく生産した良質エネルギーはエクセルギー効率の高くない装置で地消せずに売却したほうがよいということになる。これは農業・漁業など1次産業と似た産業構造の傾向があるといえる。しかも再生可能エネルギーで得られる電力は、多くの場合エネルギー源が無料に近い（将来もそうであるとは限らない）というメリットはあるが、最新の大規模発電と比較すると高品質でも高効率でもない。この点も採集よりも農業が、釣漁業より養殖漁業の方が高生産性であるのと同じ構図である。このような再生可能エネルギー利用の特徴はさらにエクセルギー効率の高いエネルギー変換技術が現れればおそらく変わっていくのかもしれないが、現状においては再生可能エネルギー産業は高度なエネルギー政策のもとで保護していかなければならない存在であるといえる。

9. 4 エクセルギーから見た再生可能エネルギーの利用拡大のための課題

再生可能エネルギーが利用拡大の流れになるためには得られた再生可能エネルギーをどのように消費するかが重要な点となる。その際にエネルギー利用率ではなくエクセルギー効率を用いることの有用性を議論してきた。家庭部門では照明・動力と熱が主なエネルギー消費形態であるが、再生可能エネルギーは運動エネルギー（風力・水力）、光エネルギー（太陽光）、化学エネルギー（バイオマス）などの形態で供給される。このため最終利用に際し、いくつかのエネルギー変換を通して消費されることが予想される。このため複数（少なくとも2つ）のエネルギー変換を通じたあとにおいても、そのエクセルギー効率が現在の汎用的な熱機関と同等の30%を超えるような組み合わせで利用される必要があるで

あろう。仮に2変換で30%としても、単純に考えれば各装置において平均55%以上の変換効率が求められる。この値はチャレンジングな値であるが、例えば最新の内燃機関、燃料電池、風力発電などは正味の変換効率が50%程度のものもあり、また水力発電（小規模水力発電）や一部の燃料電池のようにそもそも変換効率の高い（～80%）ものを組み合わせるのであれば長大な供給・分配システムが不要であるなどの理由で地消することにもメリットが見いだせる。このようにエネルギー利用率ではなくエクセルギー効率で議論することによりどこにボトルネックがあり、また伸びしろが期待できる分野の特定などが明らかになる。

ここでは風力発電・小水力発電、太陽光発電、木質バイオマスをそれぞれ例にとってエネルギー・エクセルギーの観点から議論しよう。実際の運用には経済的観点を考慮しなければならないことに十分留意されたい。

風力発電・小水力発電：

風力発電と小水力発電はともに流体の運動エネルギーを直接利用してエネルギー変換を行うシステムである。このためエネルギー変換効率は高く、風車および水車が設置された流動系のエネルギーに対して、風力においても40%以上、水力に至っては80%程度を回収できると考えられる。また、羽根車から発電機への変換効率は90%以上が想定されるため、これらのシステムにおいてはエクセルギー損失は非常に小さく（10～30%程度）、自然エネルギーとして発生する風力および水系のエネルギー供給量が有効利用の可否を決定するといえる。これは風力発電および水力発電が太陽エネルギーに起因する地球規模の循環系内で、そのエネルギー流束の大きな部分（強風地帯や河川）に変換装置を設置して発電を行うという性格から明らかである。エクセルギー的には十分高効率であり、逆に言えば現在の効率から大幅な増加を見込むことは難しい。一方で立地条件が適した地域であれば安定的な電力供給が見込まれるため、消費と売電が期待されほかの再生可能エネルギーと比較しても経済的には最も安定すると予想される。

太陽光発電：

太陽光発電はその他の再生可能エネルギーの根源となっている太陽からの光子エネルギーを直接変換するシステムであり、エネルギー源としては無尽蔵に近いがエネルギー密度が低い状態で安定しているともいえる。最新の太陽電池パネルにおいても効率は最大でも20%程度であるためエクセルギー効率はこの値以上にはならない。エネルギー的観点から見た太陽光発電のメリットは、光エネルギーから電気エネルギーへの直接変換であるためパネル以外のシステムを介在しないことであるが、昼夜および気象条件による入力変動に加えてそもそもエネルギー密度が低いという点が大きなデメリットである。一方で、変換効率に対して大きなブレイクスルーが生じた場合にはエクセルギーの観点から大幅な効率増加が見込まれる。しかしながら、基本的には大面積がなければ発電量を確保できないシステムであり人工物であるパネルを設置できる面積は限られるという事実を考慮すると、分散型の極小規模の電力システム（1kW未満）としての活用が最も適していると考えられ

る。

木質バイオマス：

木質バイオマスは太陽エネルギーを消費して生命活動により炭素固定した物質であるため素材としての性格は石油製品に近い。エネルギー・エクセルギー的観点から考えると、生成速度が植物の光合成速度に起因しているためエネルギー生産速度は極めて遅いが、バイオマス自体のエクセルギー値自体は高い。これは生命活動により、低効率ではあるが莫大な面積で光エネルギーから化学エネルギーへエネルギー変換を行った結果と考えることができる。石炭との混焼なども実用化されているが、木質バイオマスを高効率で利用しようとするならばガス化などのプロセスを経て高効率な熱機関あるいは燃料電池を駆動するシステムが挙げられる。この場合、燃料化の効率と熱機関あるいは燃料電池の効率が最終的なエクセルギー効率を決定する。既存の木質ガス化発電プラントにおけるガス化効率および熱機関の熱効率はそれぞれ65%および35%程度が見込まれるが、この状態ではエクセルギー効率では20%程度でありコスト的な観点から普及拡大は難しい。熱の有効利用はエクセルギー的には有効でないことを示したようにガス化効率および熱効率のさらなる向上が求められる。ガス化効率で80%、熱効率45%以上が1つの目標と考えられる。ただし、ガスエンジンに代表される既存の熱機関は一般に出力サイズの低下とともに熱効率が低下する傾向がある。現在、1MWクラスのスラッシュガスエンジンでは熱効率43%程度のものも市販されており、ガス化効率が65%でも発電効率が28%と許容できる値であるが、家庭用コージェネで市販されている1kWクラスのスラッシュガスエンジンでは熱効率は26%（LHV換算）程度まで低下する。このため電気と熱を供給する分散型エネルギーユニットとした場合においても、各戸での分散型とするとガス化効率が65%では発電効率が17%まで低下する。これはエクセルギー的に不利であるだけでなく、家庭部門で必要とされる電気／熱のエネルギー比率ともかい離してしまう。よってスラッシュエンジンをを用いる場合には、各戸ではなく集合住宅のように100戸程度に供給するような比較的統合された分散システム（たとえば100kW級スラッシュエンジンを使用）に適用することが望ましいと考えられる。仮に100kW級スラッシュエンジンの効率を36%とした場合には、ガス化効率を65%と仮定して木質チップのエクセルギーの23.4%を電力に変換できる。この値はそれほど高くないようにも見えるが、スラッシュエンジンは後述する燃料電池と比べて燃料性状の変化に対してロバストでありバイオマス燃料にはより適していると考えられる。

燃料電池との組み合わせではガス化の高効率化に加えて必要となる燃料純度の確保が課題となるが、ここにブレークスルーが達成された場合は大幅なエクセルギー効率の増加も見込まれる。燃料電池の中でも固体酸化物形燃料電池（SOFC）は H_2 のみを燃料とする固体高分子形燃料電池（PEFC）と異なり燃料として H_2 だけでなくCO等が利用でき、また単体での発電効率も高いため木質バイオマスを利用したコージェネに向いていると考えられる。例えば高効率（発電効率（LHV）52%）の小規模SOFCユニット（1kWクラス）を利用した場合、地域で集中的に木質バイオマスからのガス供給および燃料改質を行い、

これらを用いて各家庭で分散的発電・排熱利用を行うことで地域において完結したエネルギー生産と消費が達成される可能性がある。ガス化効率が65%としても排熱利用も含めたエクセルギー効率が33.8%となり、木材チップのエクセルギーの3分の1を発電に利用できたことに相当する。これは燃料電池が熱機関と異なりダウンサイジングした際の効率低下の幅が小さいことが理由として挙げられる。このようにガス生成に関しては大型化のスケールメリットを生かせる地域集約型とし、また発電および熱利用に関しては小型化しても効率が高いSOFCの特徴と家庭におけるエネルギー消費形態の特徴（電気50%、熱50%）がマッチすることで、再生可能エネルギーをエクセルギー的に有効に使うことができる。また、発電ではなく高エクセルギーではあるが、電気と比較して輸送が難しいガス化燃料を初段のエネルギー変換にしていることも、エネルギーの売却ではなく地産地消につながる。燃焼電池の特徴である静粛性も家庭用として優位である。しかしながら地域差、木材種、天候などにより性状が変化しやすい木材チップから、組成の安定した燃料ガスを燃料電池に供給する技術の確立が課題となる。また、現状においても木質バイオマスの安定確保が課題となっており、将来的にはバイオマスの生産性の低さがネックとなる危険性もある。

第10章 再生可能エネルギーを活用する街づくりについて

本章では低炭素まちづくりの取組み背景にある「都市の低炭素化の促進に関する法律（エコまち法）」の概要と次世代のまちづくりに貢献する先端技術の融合構想「超スマート社会（Society 5.0）」の概要を述べた後、愛知県安城市の低炭素まちづくりと岐阜県八百津町の次世代まちづくりの取組を紹介し、究極の低炭素まちづくりとなる地域エネルギーマネジメントシステムについて解説する。

10. 1 低炭素まちづくりの取組みの背景

2012年7月にスタートした再生可能エネルギーの固定価格買取制度導入による再生可能エネルギーの普及拡大¹⁾、および2012年9月5日公布の「都市の低炭素化の促進に関する法律」（通称、エコまち法）²⁾を背景に、低炭素まちづくりは環境未来都市構想として推進され、現在では数多くの自治体が戦略的な低炭素まちづくりを進めている。図10. 1はエコまち法に基づいてまちづくり計画が作成された23都市であるが、中部圏では愛知県が3都市で計画を掲げており、東京に次いで多い。

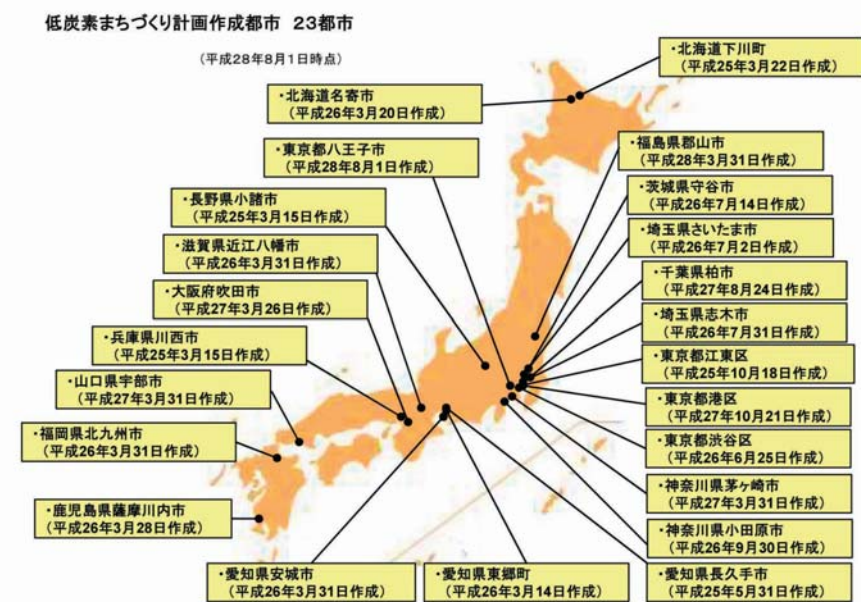


図10. 1 エコまち法に基づいた低炭素まちづくり計画を作成した都市²⁾

次世代のまちづくりに関する戦略は「第5期科学技術基本計画」（2016年度～2020年度）も大きく関与している。「科学技術基本計画」とは、科学技術基本法に基づき政府が策定する10年先を見通した5年間の総合計画であり、政府・学界・産業界・国民といった幅広い関係者がともに実行する計画として位置付けられる³⁾。この中でエネルギー・環境分野イノベーション戦略の1つとして、世界に先駆けた「超スマート社会（Society 5.0）」の実現が目標として掲げられている。これはネットワークやInternet of Things (IoT)、

情報通信技術（ICT）の活用をあらゆる分野に広げ、経済成長や健康長寿社会の形成、さらには社会変革につなげていくことを目標とするものである。

低炭素まちづくりにおいては、炭素フリー（CO₂フリー）の革命的な地域エネルギーシステムの導入や地域エネルギーマネジメントシステム（CEMS）の構築が最終的なゴールとなるであろうが、次項では、現有技術のまちづくりと次世代技術によるまちづくりの違いという観点で比較する。

10. 2 低炭素まちづくりに関する施策

10. 2. 1 都市の低炭素化の促進に関する法律（エコまち法）の概要

エコまち法は図10. 2に示すように現在の社会問題（超高齢社会への対応）と環境問題（温室効果ガス排出増による気候変動）の解決への一助となるまちづくりであり、さらには自治体の財政状況改善にも寄与する効果も期待される。まちの機能が住まいの身近なところに集積され、住民が自家用車に過度に頼ることなく、公共交通によってこれらの機能にアクセスできるような「コンパクトなまちづくり」が推奨されている²⁾。

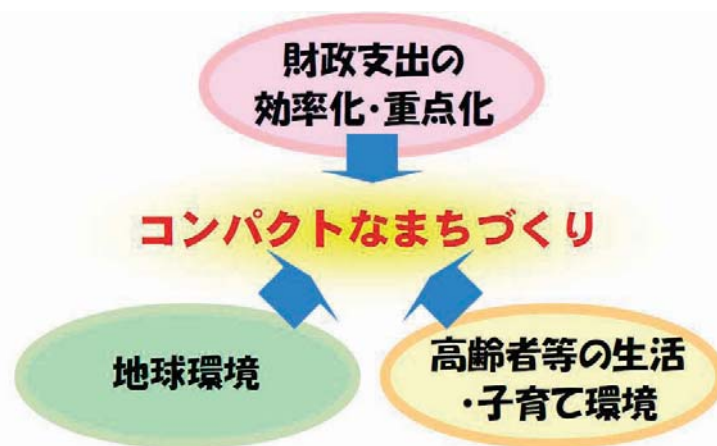


図10. 2 エコまち法の概要²⁾

自治体はエコまち法にしたがってビジョンや具体的な取組みを示した「低炭素まちづくり計画」を策定する。その計画の特徴として、以下の3つが挙げられている。

- ・低炭素まちづくり計画を通じて、まちづくりと公共交通等を一体的に計画し、様々な施策を総合的に取り組むことができる新たな仕組み。
- ・民間や住民の方々が主役となって、行政がこれらの方々の取組みをサポート・コーディネートする、新たな官民協同によるまちづくりの仕組み。
- ・それぞれの地域の実情や、まちの規模等に応じて、柔軟に使うことができる仕組み。

図10. 3は低炭素まちづくり計画の全体像であり、都市機能の集約化、公共交通機関の利用促進、建物などの低炭素化、緑・エネルギーの面的管理・利用促進の4つを主テーマ

としている。いずれも現時点での技術で実現可能な取組みであり、自治体の推進力と住民の理解・協力がエコまちづくりを進めることになる。



図10. 3 市町村が行う低炭素まちづくり計画の策定²⁾

10. 2. 2 超スマート社会 (Society 5.0) の概要

次世代技術が進展し社会実装されていくと、高度なレベルでまちづくりを考えることが可能となる。図10. 4はエネルギー・環境イノベーション戦略で構想されている「超スマート社会」の全体像である⁴⁾。最近のIoT、人工知能 (AI)、ビッグデータ解析技術、ICTの発達はめざましく、これらの情報技術によって図10. 4に例示した複数の異なる社会・経済システム同士が連携・協調し、そこに作り出される多様なバリューチェーンを通じて人々に豊かさをもたらすのが、「超スマート社会」(Society 5.0)である。



図10. 4 超スマート社会 (Society 5.0) の全体像⁴⁾

超スマート社会においても社会・経済活動においてはエネルギーは必要である。エネルギー消費による人為的な温室効果ガスの排出は、気候変動を引き起こし、水資源への影響（干ばつ・水不足）、生態系への影響（種の生存域変化や絶滅・森林火災・サンゴ白化）、食料生産への影響（生産量低下・作物種の変化）、沿岸域への影響（洪水・沿岸部消滅）、健康影響（感染症の増加）をもたらすことは事実である。それらの緩和のために現在とられている対策は、第一に省エネルギー、第二に再生可能エネルギー（太陽光、風力、水力、バイオマス、廃棄物）の利用、第三に二酸化炭素の回収（実用化に向けて開発中）である。これに加えて、超スマート社会では第四の方策として、エネルギーシステムそのものの大変革を構想している。

図10. 5は次世代エネルギーシステムの研究開発における具体的な項目である（エネルギー・環境イノベーション戦略）。インパクトの大きい革新的なエネルギーシステム総合技術の開発を行うとしており、そのエネルギーシステムを構成するコア技術として、分野別革新技術が例示されている。まちづくり関連では、蓄エネルギー分野の「水素製造・貯蔵・利用」技術開発、すなわち二酸化炭素を大量に低減できる水素社会を構築するためのコア技術開発が計画・進行している。



図10. 5 エネルギー・環境イノベーション戦略における革新技術分野⁴⁾

水素社会の到来は言うまでもなく今後のまちづくりを大きく変えることとなろう。水素エネルギーの導入とエネルギーマネジメントシステムの導入は、エネルギー需要に的確に対応でき、必要な時に必要なだけエネルギーが供給されるシステムを構築できる。これに

よって、エネルギーの徹底的な有効利用が可能となり、究極の省エネルギー・低炭素社会につながる。

10. 3 中部圏の低炭素まちづくりの取組み事例

ここではエコまち法に基づいた「低炭素まちづくり計画」を策定した中部圏3自治体（愛知県安城市、長久手市、東郷町）のうち、安城市の例を紹介した後、超スマート社会を意識した次世代まちづくりを計画中の岐阜県八百津町の取組みを紹介する。

10. 3. 1 愛知県安城市

安城市は2020年度における将来人口を18.7万人と想定（2005年度から9.8%の増加）を見込んでおり、人口増加（すなわちCO₂排出量増加）に対応した低炭素まちづくりを進めることが必要となっている。すでに第7次安城市総合計画では、将来の都市構造として4つの拠点形成（図10. 6）が示されており、それら拠点の特徴に合わせた低炭素まちづくりを進めるとしている。図10. 6からわかるように、安城市はJRと名古屋鉄道を中心として市街地がコンパクトに展開されている。4拠点は以下のとおり。

- ・JR安城駅周辺の中心市街地（安城拠点区域）
- ・JR三河安城駅周辺の市街地（三河安城駅広域拠点区域）
- ・名鉄新安城駅周辺の市街地（新安城駅地域拠点区域）
- ・名鉄桜井駅周辺の市街地（桜井駅地域拠点区域）

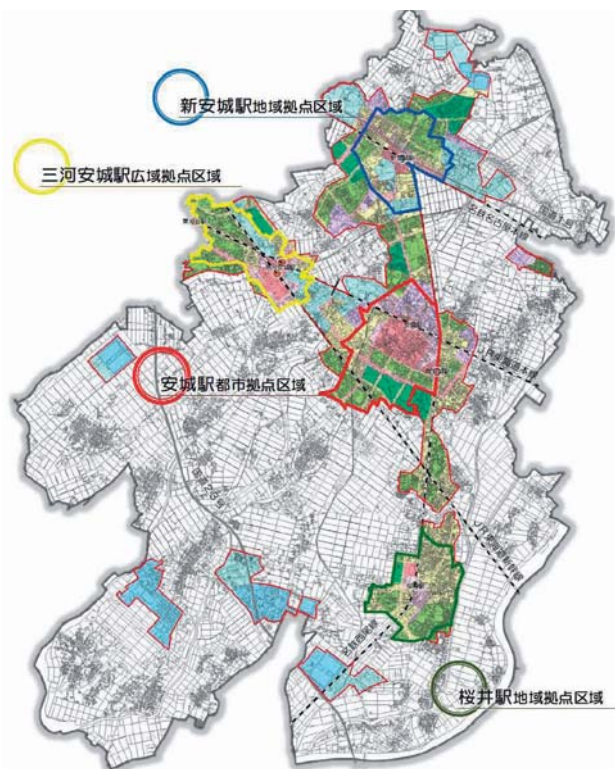


図10. 6 愛知県安城市での低炭素まちづくり計画における4つの拠点⁵⁾

2014年3月に公表された「安城市低炭素まちづくり計画」では、第一段階として安城拠点区域の低炭素化の推進が計画された。まちの課題である「人口の増加」、「まちの更新」、「自動車への過度な依存」を踏まえて、

- ・都市の機能の集約を図るための基盤整備や都市機能の配置の適正化
- ・公共交通機関の利用促進・自動車等利用における二酸化炭素の排出の抑制の促進
- ・緑地の保全及び緑化の推進
- ・環境負荷の少ない建築物の普及促進

を整備方針としている。具体的には「くらす」、「うごく」、「いやす」、「つくる」の4分野において、図10. 7に示した取組み方針の実現を目指している。特に、太陽光発電普及率を市域全体で60%とする高い目標をあげているのが特長的である。

これらの取組みはコンパクトシティ化と太陽光発電普及拡大を基軸とする低炭素化であり、現存技術での代表的まちづくりの事例と言える。

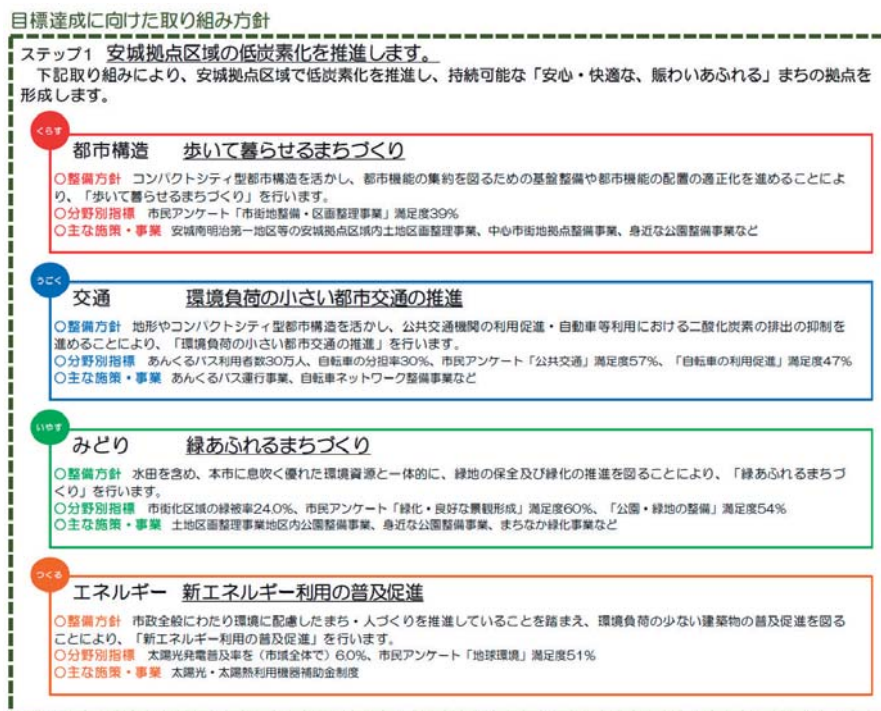


図10. 7 安城市の低炭素まちづくりにおける取組み方針⁵⁾

10. 3. 2 岐阜県八百津町

岐阜県は2016年に「岐阜県次世代エネルギービジョン」を改定し、新たに再生可能エネルギー由来の水素や熱を活用した地産地消型エネルギーシステムの構築を行うことを宣言した⁶⁾。八百津町では他の市町村に先駆けて、地産地消型の次世代まちづくりとして、超スマート社会を意識した取組みを行っている⁷⁾。図10. 8はその全体像であり、3つの重点プロジェクトにより中山間地型水素社会を構築し、100%エネルギー自給自足のまちを目指している。まちづくりに水素エネルギーを考慮している都市は横浜市や北九州市など

工業地帯に隣接する大規模都市であり、余剰水素などの水素エネルギーがすでに存在する地域に限られる。八百津町は中山間地に位置する人口1万人程度のまちであり、もちろん水素エネルギーは皆無である。このような水素をもたないまちが水素社会をまちづくりに取り組む事例はおそらく初であろう。



図10. 8 岐阜県八百津町の次世代まちづくり計画

八百津町では太陽光や木質バイオマス等の地域の再生可能エネルギー、そして移動型水素ステーションを有効活用することで、エネルギー自給自足の町を目指す。最近では、岐阜大学とともに水素キャリア（液化アンモニア）を用いた分散型エネルギー（燃料電池発電）の活用の検討も始めた。

次世代まちづくりは八百津町内の3つのエリアを対象に行い（図10. 9）、それぞれ重点プロジェクトとして、目的に応じた地域エネルギー供給システムを構築・実証する計画である。

- ・重点プロジェクト1：八百津地区熱電併給防災拠点エリア（新産業創出と災害時拠点）
- ・重点プロジェクト2：八百津地区個別省エネエリア（災害時拠点）
- ・重点プロジェクト3：久田見地区熱電併給産業エリア（個別施設の高度省エネ）

しかし、これらのプロジェクトは現存技術のみでは不可能であり、図10. 5で示したエネルギー・環境イノベーション技術のうち水素キャリアを用いた水素の製造・貯蔵・利用技術の開発が急務となる。

水素キャリアとは液化アンモニアや有機ハイドライドなど水素を含む化学物質をいう。貯蔵・輸送時は水素キャリアを用い、水素を必要とする場所で水素キャリアから水素をとりだすエネルギーシステムである。これによって水素の貯蔵コストや輸送コストを大幅に低減でき、水素の普及拡大につながることから、国家プロジェクト「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）エネルギーキャリア」として研究開発が推進されている。また、岐阜大学ではアンモニアから高効率に水素を製造するデバイス開発に成功しており⁸⁾、近い将来水素キャリアによる分散型エネルギーが実用化される可能性がある。

水素キャリアを用いると八百津町のような中山間地であっても水素を製造・利用できることからあらゆる地域でCO₂フリー地域エネルギーシステムの構築が可能となる。



図10. 9 八百津町の次世代まちづくりにおける3つのモデルエリア

10. 4 次世代のCO₂フリー地域エネルギーシステム

超スマート社会でのエネルギー供給は大規模発電（電力会社）からのベース電源供給と再生可能エネルギーによる電源供給、再生エネルギー余剰電力による水素製造と供給、そして水素キャリアを用いた分散型電源で構成されるようになるであろう。ベース電源をバイオマス発電や廃棄物発電といった安定的な再生可能エネルギーに徐々に置き換えていくことで最終的には地産地消のオフグリッドな電力システムを地域に構築でき、これは同時にCO₂フリーの地域エネルギーシステムの構築を意味する。

地域単位の電力網をIoTやICTを駆使して制御・管理する技術をスマートグリッドというが、具体的には地域エネルギーマネジメントシステム（CEMS）という。図10. 10には大規模発電からのベース電源供給を含むCEMSの概念図を示す⁹⁾。この図では再生可能エネルギーとして太陽光発電のみが例示されているが地域特性を生かして風力発電や小水力発電、バイオマス発電、廃棄物発電が適宜組み込まれる。また、将来的には水素キャリアを用いた燃料電池分散型電源や精密な電力供給制御用の小規模な蓄電池が多数組み込まれる。

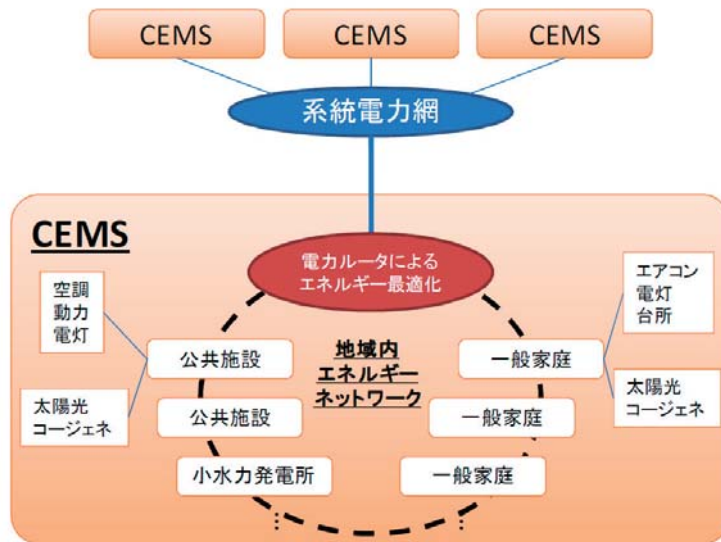


図10. 10 地域エネルギーマネジメントシステム（CEMS）の概念⁹⁾

現在、家単位あるいはビル単位で電力管理するホームエネルギーマネジメントシステム（HEMS）やビルエネルギーマネジメントシステム（BEMS）が導入されつつあるが、これらがCEMSと同調することによって究極の省エネルギー社会、すなわち超スマート社会でのエネルギーシステムが完成することになる。CEMSでは気象条件（温度、湿度、風速、日照時間）と個々の住居やビル、商業施設での電力使用量を逐次把握してデータベース化する。AIはそのデータベースをもとに日々の電力供給量を予測し発電効率が常に最大となるように燃料電池分散型電源の発電量を制御する機能をもつ。ユーザーはリアルタイムで電力使用量を監視できることになるが、この機能活用の1つとして「高齢者の見守り」が考えられている。その他スーパーマーケットやコンビニエンスストアの販売状況（POS）とを組み合わせれば精度の高い売れ行き予測による物流の最適化や生産量の最適化にまで波及し低炭素化がいっそう進むことになる。

10. 5 おわりに

エコまち法に基づいて現在進められている低炭素まちづくりは、コンパクトシティ化による交通システム効率化による低炭素化が主目的であるが、コンパクトシティを基盤に超スマート社会を構築すると容易に究極の低炭素まちづくりが可能となる。超スマート社会構築に必要な技術は今後の研究開発を待たねばならないが、近未来のまちづくりは劇的に変わるものと期待される。

超スマート社会構築の過程では地域毎のエネルギーマネジメント会社をはじめとしてバイオマス発電や廃棄物発電の小規模電力会社、分散型電源の製造・管理会社、アンモニア供給会社等々のエネルギー会社および関連会社が創出される。超スマート社会は新産業創出という観点で地域創生に大きく寄与すると考える。

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ：
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/index.html
- 2) 国土交通省ホームページ：
http://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/eco-machi-case.html
- 3) 内閣府ホームページ：<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html>
- 4) 内閣府ホームページ：<http://www8.cao.go.jp/cstp/nesti/index.html>
- 5) 安城市ホームページ
<http://www.city.anjo.aichi.jp/kurasu/machidukuri/toshikeikaku/ecomachidukuri.html>
- 6) 岐阜県ホームページ
http://www.pref.gifu.lg.jp/event-calendar/c_11353/enevision_sakuteiH2803.html
- 7) 八百津町ホームページ
<http://www.town.yaotsu.lg.jp/contents/view.cfm?id=1814&g1id=4&g2id=18>
- 8) Hydrogen Production from Ammonia Using a Plasma Membrane Reactor, S. Kambara, Y. Hayakawa, Y. Inoue, T. Miura, J. Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 4(2), pp.193-202, 2016.
- 9) 地域エネルギーマネジメントの有効性評価のためのシミュレーションソフトウェア、吉田、神原、情報処理学会研究報告、2015.

おわりに

本報告書では中部圏での再生可能エネルギー導入が、これまで以上に推進されることを目的に、再生可能エネルギー導入計画、実証試験、事業化を目指す際に参考となる情報について論じた。まず、国内外の導入の動向を紹介するとともに、中部圏で今後期待される再生可能エネルギーの導入ポテンシャルと現時点での導入実績を調査報告した。また、再生可能エネルギーごとにその特徴を整理し、現在までに開発されているそれぞれの利用技術の種類や方式を分類し、それらの特徴と課題、また課題を解決するための研究開発動向をレビューした。導入ポテンシャルを総計すると、現在の電力設備容量と比べて中部圏でもかなりの容量が試算されている。しかし、その多くは再生可能エネルギーの宿命ともいえる安定供給ができないエネルギー源であるため、その導入ポテンシャルをほぼ全量活用することは極めて困難である。どこまで技術的にブレークスルーして、経済的にも自立できるシステムを構築し、普及を図ることができかが重要なポイントとなる。例えば、原則的に再生可能エネルギーの地産地消かつ、地域に経済的ベネフィットがもたらされるドイツモデルはひとつの方法論であるかもしれない。しかし、それはFIT価格に大きく影響を受けるだけでなく、大規模火力発電を含めた過剰供給による余剰電力の発生やそれに伴うネガティブコストでの電力流通などの弊害も社会問題として顕在化しつつある。このような事例から今後は、大規模発電との共存を前提とした地域分散の再生可能エネルギー導入を検討していくことが求められる。

中部圏においても、再生可能エネルギー導入の普及促進を図る上で、他地域の利用システムがそのまま適用できることは少なく、地域性を踏まえたシステムを企画・設計していく必要がある。その際に本稿の調査結果や提言が、事業計画者に少しでも参考になれば幸甚である。

本報告書の執筆に際しては、各分野で専門の先生方に依頼したところ、多忙のところ快諾頂いた。また、多くの方々や機関には、執筆に必要な情報を快く提供して頂いた。中部圏社会経済研究所および特に同研究所の梅田良人氏には、「再生可能エネルギー利用研究会」の設置・運営から本報告書の取りまとめに至るまで精力的に協力を頂いた。これらの方々の多大な協力のお陰で、本報告書の発刊に至ることができた。最後に、この場をお借りして謝意を申し上げたい。

2017年4月

岐阜大学工学研究科 板谷 義紀

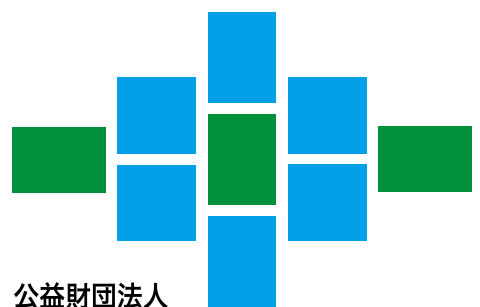
「中部圏における再生可能エネルギーの
利用拡大に関する調査研究」
報告書

2017年4月

制作発行 公益財団法人 中部圏社会経済研究所
(担当：企画調査部 梅田 良人)

〒460-0008 名古屋市中区栄四丁目14番2号 久屋パークビル3階
TEL: (052) 212-8790 FAX: (052) 212-8782
URL: <http://www.criser.jp/>

本調査研究報告書の著作権は、当財団に帰属します。
無断で複写・転載することをご遠慮ください。



公益財団法人

中部圏社会経済研究所

Chubu Region Institute for Social and Economic Research

〒460-0008

名古屋市中区栄四丁目14番2号 久屋パークビル3階

TEL:052-212-8790 FAX:052-212-8782

URL:<http://www.criser.jp>