

# 2050年のエネルギー転換に向けた 再生可能エネルギーのグローバル流通の提案

創発戦略センター シニアスペシャリスト 木通 秀樹

## 目 次

1. 2050年に向けたエネルギー転換の必要性
  - (1) 日本の一次エネルギー供給量の現実的な想定
  - (2) エネルギー転換に要する時間
  
2. 求められるエネルギー転換の仕組み
  - (1) 再生可能エネルギーのグローバル流通
  - (2) グローバル流通に適したエネルギー
  - (3) グローバルに調達したエネルギーの活用方法
  
3. 再生可能エネルギーのグローバル流通に向けた提言
  - (1) 再生可能エネルギー適地の確保
  - (2) 再生可能エネルギーの燃料製造・輸送の経済性確保
  - (3) 国内の水素燃料需要の確保
  - (4) 再生可能エネルギー調達のグローバルネットワーク推進策の確保

---

## 要 約

1. 日本が目標に掲げる「2050年 温室効果ガス80%削減」を達成するためには、最終エネルギー消費の大幅な削減が求められる。しかし、運輸部門の60%削減などの目標は厳しく、現実的な想定をするならば一次エネルギー供給量は想定よりも不足することになる。また、再生可能エネルギーの普及などによる一次、二次エネルギーの大転換を行うためには、過去の歴史から見て30年程度の期間を要する。2050年に間に合わせるためには、至急実行策を講じるべき時期に来ている。
2. 一次エネルギー供給量の不足分に対して、再生可能エネルギーを調達するためには、利用可能な用地が少ない日本国内のみならず、再生可能エネルギー資源を確保しやすい海外の国々から調達することが有効である。再生可能エネルギーをグローバルに流通する際には、用地の利用効率、輸送特性などに優れる、太陽光、風力の水素化、藻類等のバイオマスの燃料化が有効である。また、国内では、再生可能エネルギー由来の電気が普及するが、運輸などの動力や熱を必要とする需要に対しては、海外から確保した水素などの燃料を直接利用することで、エネルギーの多様性と効率性を確保する方法が有効である。
3. 本論文では、不足する一次エネルギー供給量を再生可能エネルギーのグローバル流通によって確保することを提案するとともに、実行上の三つの課題解決を提案する。第1に、人口密度の高い国と低い国が混在するアジア圏で、再生可能エネルギーの需給体制を構築する。第2に、建設等の条件が有利で、エネルギー効率的に優れる適地を確保し、海外流通コストを吸収できる条件を見出す。第3に、国内の幅広い水素需要開拓のために、公共団体で燃料電池自動車や燃料電池コジェネレーションの利用を進めるなど、初期の公共セクター需要を確保する。第4に、アジアの国との政府間連携により、再生可能エネルギー由来の水素供給プロジェクトの合意を確保し、再生可能エネルギーの流通ネットワークを構築する。こうしたグローバルなネットワークを複数の国との間で構築すれば、安定した再生可能エネルギー流通のプラットフォームを形成することができる。

1. 2050年に向けたエネルギー転換の必要性

(1) 日本の一次エネルギー供給量の現実的な想定

1992年に気候変動枠組条約が策定されてから、すでに23年が経過した。この間、温暖化ガスの削減に向けて様々な取り組みがなされてきたが、年間3%の割合で世界の二酸化炭素は増加し続けている。

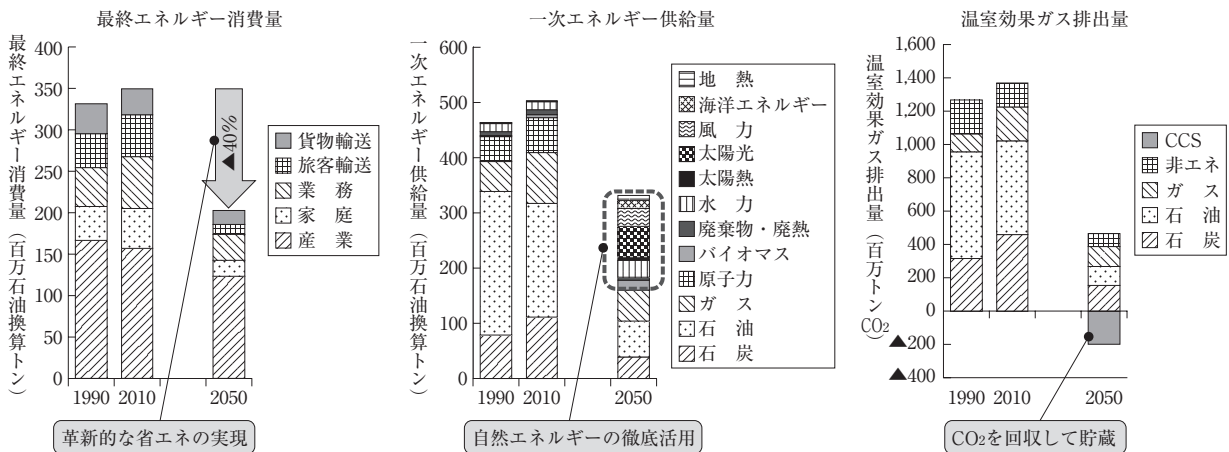
2015年11月にはCOP21が開催され、米中を含めた世界196の国と地域が参加して温室効果ガスの削減目標を設定することが合意された。しかし、これまで設定されてきたレベルの削減目標では、地球の気温は2100年までに2.7℃上昇するという報告もあり、今回の合意をもって十分ということとはできない。温暖化の緩和のためには、日本が他の先進国とともに公約している2050年までに温室効果ガス80%削減という目標の実現方策を考えなくてはならない(図表1)。

日本では、自民党前政権時代の2009年8月に、環境省が「温室効果ガス2050年80%削減のためのビジョン」を提示した。その後、主要7カ国首脳会議で同様の方針が確認され、2015年までにアメリカも加わり80%削減の目標が確認されている。

温室効果ガス80%削減の実現方策は、2012年に環境省の中央環境審議会地球環境部会において提示されている。まず、運輸、民生の需要を2010年度比約60%削減することなどにより全体のエネルギー消費量を40%程度削減する。これにより、一次エネルギー供給量は2010年の約510百万石油換算トンの37%に相当する、約320百万石油換算トンが削減される。次いで、この一次エネルギー供給量に対して、再生可能エネルギーを2010年度比500%増やして約160百万石油換算トンとし、再生可能エネルギーの比率を50%程度まで引き上げる。これにより化石燃料は2010年比で40%程度に削減される。さらに、化石燃料由来のCO<sub>2</sub>の半分をCCS(二酸化炭素の回収・貯蔵)によって削減することで、80%削減を達成するという枠組みである。

しかし、現実には運輸部門などでエネルギー消費量を約60%減らすことは容易ではない。運輸部門では、電気自動車などを中心的な技術とした次世代自動車への転換が示されている。電気自動車は、ガソリンエンジン車に比べて平地での定常走行でのエネルギー効率が高く燃料消費を削減できる。しかし、

(図表1) 2050年の温室効果ガス80%削減の姿



(資料) 環境省2012年

ガソリンなどと比べると電池のエネルギー密度が小さいため、航続距離は小型車で3分の1、軽自動車では5分の1程度になる。また、貨物車のように重量物の積載が前提となる場合、移動範囲はさらに限定される。貨物車を電気自動車にした場合、50km/日以下程度の近距離移動を対象とするのが現実的である。仮に、電池の性能が2倍になったとしても、商用車としての用途は極めて限定される。運輸部門の消費エネルギーの約40%は貨物車両の燃料消費に由来しているため、とくに軽、小型貨物車では電気自動車への転換が期待されているが、航続距離の問題から転換が進みにくいことが想定される。

運輸部門でのエネルギー消費を削減するためには、コンパクトシティ化による移動距離の低下や、公共交通へのモーダルシフトなどが期待される。コンパクトシティは、都市機能を集約化することで、冷暖房などを地域熱源などによるエネルギーシステムで効率的に提供できるうえ、自動車の利用を減らすことにもつながる。しかし、憲法に保障されている居住の自由や資産保有とのバランスをどのように取るかなど、政策的に難しい面もある。

このように、運輸、民生部門などでの温室効果ガスの削減には技術、制度、文化などの面で少なからぬ制約がある。温室効果ガスの削減策では産業活動や国民生活の実態を踏まえた実効性のあるシナリオを策定する必要がある。ここでは、日本エネルギー経済研究所2009の「平均人口減少」、「一人当たりの実質GDP成長率」、「GDP当たりの一次エネルギー供給量原単位」をパラメータとする算定方式のリファレンスシナリオを過去5年の新たな統計情報や条件を用いて再計算した。この際、平均人口減少は、「50年後も人口一億人を維持する」という政府方針を考慮し、国立社会保障・人口問題研究所の「日本の将来推計人口（2012年1月推計）」から推計される▲0.7%の人口減少率を2050年に1億人を維持できる▲0.55%に緩和した。一人当たりの実質GDP成長率については、政府方針である「実質GDP成長率2.0%以上」を考慮し2.0%と設定した。GDP当たりの一次エネルギー供給量原単位は、産業・民生部門の省エネ効果、運輸部門の燃費改善等によるGDP当たりの一次エネルギー供給量原単位の改善が過去最も進んだ1980年代と同程度の▲1.8%と設定した。

したがって、ここでは2050年の人口が1億人となるように人口減少を17%としたうえで、過去最高の省エネ実績を用いることで、一次エネルギー消費量が現実的な範囲内で削減されることを前提とした（図表2）。その結果、2050年の一次エネルギー供給量は約440百万石油換算トンになる。2010年と比較して、13%程度の削減しかできないことになるが、政府の方針や過去の実績を踏まえた現実的な前提条件と言える。エネルギーは産業、生活の基盤であるため、過大な削減を前提とした計画策定は避けるべきである。そのうえで2050年に向けた目標を達成するためには、供給側の低炭素化が必須となる。

（図表2）2050年の日本のエネルギー消費量の予測の前提条件

	1980～90	90～2000	2000～2010	2010～2050	2010～2050の設定の前提条件
GDP当たり一次エネルギー供給量原単位	▲1.8	0.5	▲1.1	▲1.8	省エネ効果が最大の80年代の原単位を採用
一人当たりのGDP	3.8	1.2	0.5	2.0	政府方針を受けて採用
人口	0.5	0.2	▲0.4	▲0.55	政府目標である1億人維持を受けて採用
計	2.5	1.9	▲1.0	▲0.35	

（資料）日本エネルギー経済研究所2009を参考に日本総合研究所作成

(2) エネルギー転換に要する時間

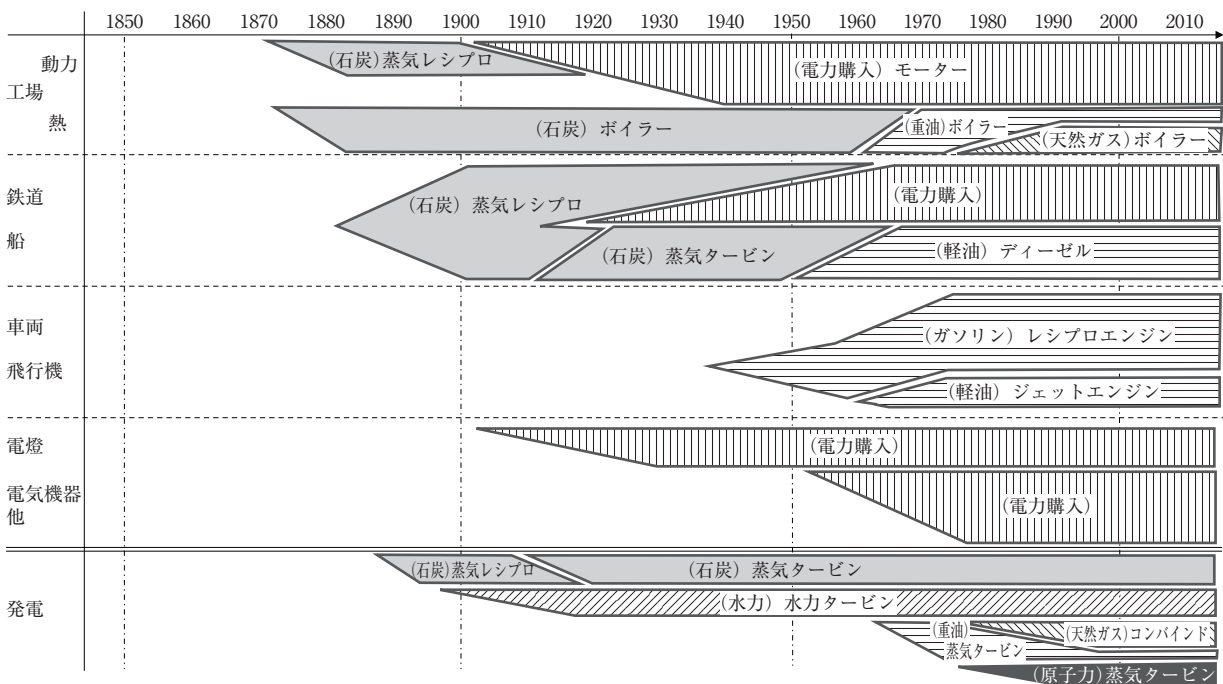
エネルギーの転換については、電力をはじめとする事業用に用いられる石油、石炭、天然ガスと、ガソリン、軽油など運輸用に用いられる石油を、温室効果ガスの少ないエネルギー源に転換する必要がある。そのためには、太陽光・熱、水力、バイオマスなどの再生可能エネルギーを中心としてエネルギー供給インフラを作らなければならない。化石燃料からのダイナミックな転換となる。

日本はこれまでも何度かエネルギー転換を経験してきた。一次エネルギーの転換としては、石油ショック後に電力用の一次エネルギーを石油から天然ガスへ転換した。電力向けの石油消費量が最大となったのは1977年だが、そこから石油の消費量が60%少ない現在の水準に至るまでに25年程度を要している。供給インフラの整備に加え発電設備の更新期間が影響した結果である（図表3）。

二次エネルギーの転換では、工場動力の蒸気から電力への転換が1900年代初頭から1930年代後半まで40年程度かかり、灯りの燈油から電力への転換も同時期に進んだ。また、家庭への電気機器の普及は20世紀中頃から始まり30年程度を要した。ガソリンを燃料とするレシプロエンジン車の普及は1930年代中頃に国産自動車販売が始まった後、50年代中頃から70年代中頃にかけて一般大衆に普及するまで、おおむね40年程度を要している。二次エネルギーの転換は、需要側に分散する受変電設備や給油所、あるいは工場や家の構造、さらにはライフスタイルや業態の転換などを要するため長い時間を要するのである。

エネルギー転換のなかには、工場の重油ボイラー、発電所の油焚き蒸気タービンによる火力発電所のように、比較的早く普及するものもある。しかし、これらは、1960年の重油規制法の改正により、大気汚染に深刻な被害を及ぼした石炭の代わりに重油が使用できるようになったこと、拡大する需要に対して設備投資が急速に進んだことの結果であり、高度成長期の特異な現象といえる。

(図表3) 一次・二次エネルギー転換の歴史



(資料) 日本総合研究所作成

---

このようにエネルギーの転換の歴史を整理すると、化石燃料から再生可能エネルギーへの転換は、発電における一次エネルギーの転換と、工場の熱需要、自動車や船舶の動力需要の一次、二次エネルギーの転換を含めた大転換であることが改めて認識される。一方で、2050年までの35年間は、高度経済成長時のような急激な成長による設備投資や、ライフスタイルの急速な転換などが期待できないため、政策の役割が一層重要になる。そう考えると2050年を目標とした低炭素社会の実現を目指す2050年までの35年は決して長くない。むしろ、すでに待ったなし、と言ってもいい時期に差し掛かっているのである。

## 2. 求められるエネルギー転換の仕組み

### (1) 再生可能エネルギーのグローバル流通

2050年の一次エネルギー供給量の推定が320百万石油換算トンから440百万石油換算トンになった場合、一次エネルギーが120百万石油換算トン不足する。これは、2050年の再生可能エネルギー導入量の75%に相当する量である。

この不足分は、主に、省エネ効果が低くなりがちな分野で生じると考えられる。例えば、運輸部門での貨物車両の電化が進みにくいことなどが推定される。こうした分野では、電力だけでなく燃料の低炭素化も重要になる。

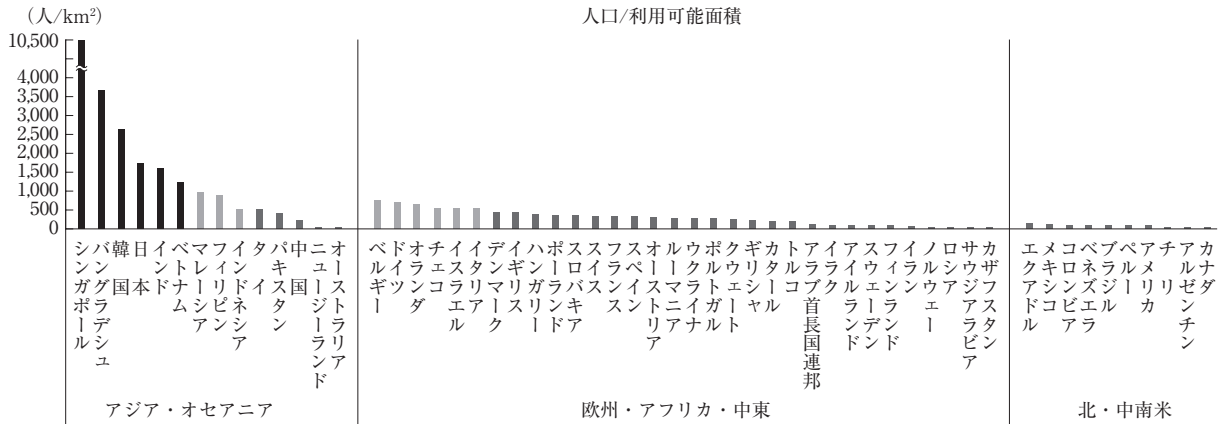
低炭素化を維持したうえで、一次エネルギーの不足分を確保するには、再生可能エネルギーを用いる方法と、化石燃料利用によって生じた二酸化炭素をCCSによって封じ込める方法がある。実際には、両者を併用すべきだが、ここでは120百万石油換算トンの一次エネルギーを再生可能エネルギーとして調達することを想定する。

120百万石油換算トンを太陽光発電によって供給した場合、太陽光発電設備の平均発電効率を現在の最高効率の設備と同レベルの20%とすると、太陽光発電の敷設面積は約0.6万km<sup>2</sup>キロメートル必要となる。これは、環境省が算定した国内の太陽光発電設備可能設置面積0.2万km<sup>2</sup>キロメートルの3倍以上に相当し、日本の宅地面積1.9万km<sup>2</sup>キロメートルの約30%に相当する。海洋構造物として設置する場合、四国の面積1.8万km<sup>2</sup>キロメートルの3分の1に相当する太陽光発電設備を整備しなくてはならない。一方、風力発電を整備する場合には、敷設面積は約2.0万km<sup>2</sup>キロメートルと算定される。これは、四国よりやや大きい面積となる。このように、日本では、再生可能エネルギーに活用できる用地が少ないという国土構造上の問題によって、再生可能エネルギーの導入が進みにくい。

再生可能エネルギーの自国内確保の難しさは人口密度の高い国ではさらに顕著になる。図表4に、国土面積が10km<sup>2</sup>キロメートル以上で、GDPが1,000億USドル以上の国々における、森林と耕作地を除いた再エネ利用可能用地1km<sup>2</sup>キロメートルに対する人口を示した。本グラフを見ると、日本、韓国、シンガポール、ベトナム、インド、バングラディッシュが突出して大きいことが分かる。しかも、すべてがアジアに集中しており、再エネの導入が欧州や北米からアジアに拡大するにしたがって、再エネの設置用地が問題になる可能性を示唆している。

一方、世界的にみれば、再生可能エネルギー資源は極めて大きなポテンシャルを持っている。日本で必要となる再生可能エネルギーは、環境省の想定する160百万石油換算トンと、不足する120百万石油換算トンを合わせた280百万石油換算トンとなる。これらすべてを太陽光発電で賄おうとする場合、その

(図表4) 各国の活用可能用地面積1km<sup>2</sup>当たりの人口の推定



(資料) 日本総合研究所作成

必要敷地面積は約1.5万km<sup>2</sup>キロメートルとなる。これは、サハラ砂漠の面積1,000万km<sup>2</sup>キロメートルの0.15%に過ぎない。また、仮に全世界の2050年の一次エネルギー約200億石油換算トン再生可能エネルギーで賄う場合には用地面積106万km<sup>2</sup>キロメートルが必要となるが、それでもサハラ砂漠の10.6%にしかならない。実際、砂漠の真真中で太陽光発電を行うことは難しいが、この程度の面積であれば、周辺部、その他の乾燥地帯等で十分に確保できる。狭い自国内での調達にこだわらなければ、再生可能エネルギーは十分に確保することができるのである。

以上を考慮すると、人口密度の高いわが国において本格的なエネルギー転換を実現するに当たって必要なのは、アジア圏の人口密度が高い国や再生可能エネルギー資源が豊富な国を結ぶグローバルな再生可能エネルギーの流通システムの構築であるといえよう。

(2) グローバル流通に適したエネルギー

120百万石油換算トンの再生可能エネルギーを海外から調達する方法としては、太陽光や風力などから水素を生成する方法、太陽光や風力で得られた電力を蓄電池に溜めて輸送する方法、バイオマスを生産しバイオ燃料として輸送する方法などがある(図表5)。

太陽光発電を電力に転換する場合には、前節でも示したように、日本国内と同程度の採光環境で、発電効率が20%の太陽光発電の場合は約0.6万km<sup>2</sup>キロメートルが必要となり、集光型の太陽光発電を用いる場合は、その半分程度で賄えることになる。同様に、風力であれば、日本の一般的な風力発電と同程度の風況環境であれば、約2.0km<sup>2</sup>キロメートルが必要となり、太陽光に比べて、多くの用地面積が必要となる。

この際、発電した電力を輸送する方法として、水素を生成して液化水素として輸送する方法、蓄電池に貯めて輸送する方法などがある。これは太陽光発電でも風力発電でも技術的に変わらない。また、これらの生産、貯留設備は、太陽光発電設備、風力発電設備の設置面積に対して十分小さいので面積としては算入していない。

一方、経済性を考慮するうえで、輸送効率の指標となるエネルギー密度を比較すると、液体水素は

33,000Wh/kg、リチウムイオン電池は210Wh/kgとなる。輸送効率の面では液体水素の方が、百倍以上が良いことが分かる。ただし、液体水素は、重量当たりのエネルギー密度が高く、輸送効率は良いが、体積当たりのエネルギー密度は2,300Wh/lと低い。このため、大量輸送する際のコストがタンカー等の積載可能体積によって制約されるという課題がある。積載可能体積による制約の影響が小さくなるような輸送方式を開発することが求められる。

バイオマスを利用する方法としては、バイオ燃料の原料となる油脂生成微細藻類の大規模育成、パーム等を用いた大規模バイオマスプランテーションなどがある。微細藻類は、近年、技術進化が著しく、約140kl/haの油脂収量が確保できるようになっており、120百万石油換算トンのバイオ燃料を確保するために必要な施設面積は約1万km<sup>2</sup>キロメートルとなる。一方で、パームのプランテーションでバイオ燃料を作る場合は、油脂の収量が約6kl/haであるため約23万km<sup>2</sup>キロメートルとなり、微細藻類に比べて23倍程度の敷地が必要となる。ただし、微細藻類は新種の生物を大量に培養しなくてはならないため、生態系への影響等安定操業上の課題があり、排水処理や育成管理のためのコスト負担も大きい。

この際、バイオマスからバイオ燃料（バイオ軽油）を精製するには、精製プラントが必要であるが、上述と同様に、藻類育成、プランテーションの面積に比べて十分小さいので、ここでは面積に算入しないこととする。

また、経済性を考慮するうえで、輸送効率の評価を行う際には、どちらもバイオ軽油として輸送するので、効率は同じになる。バイオ軽油のエネルギー密度は7,500Wh/kgであり、液体水素に比べて5分の1程度と小さいが、蓄電池に比べれば40倍程度と大きく、効率が良いことが分かる。

(図表5) グローバル流通に適した再生可能エネルギーの評価

	太陽光/風力		バイオマス	
	水素	蓄電池	微細藻類 (バイオ燃料)	パーム (バイオ燃料)
用地特性 (敷地面積)	太陽光発電 : 約0.6万km <sup>2</sup> (四国の1/3) 風力発電 : 約2.0万km <sup>2</sup> (四国よりやや大)		約1万km <sup>2</sup> (四国の1/2)	約23万km <sup>2</sup> (日本の1/2)
輸送特性	33,000Wh/kg (体積当たり: 2,330Wh/l)	210Wh/kg (体積当たり: 550Wh/l)	7,500Wh/kg (体積当たり: 10,000Wh/l)	
技術特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術革新が進んでいる。</li> <li>微細藻類などに比べて管理が簡易である。</li> <li>輸送の際には、液体水素の高度な管理が必要となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術革新が進んでいる。</li> <li>水素、藻類に比べて管理が容易である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術革新が進んでいる。</li> <li>輸送は簡易である。</li> <li>藻類の緻密な管理が必要で、環境変化等で大規模減産の可能性ある。</li> <li>大量の水による環境影響。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来からの手法で、作業も確保しやすい。</li> </ul>
コスト特性	水素製造、水素の液体燃料化などの設備コストが现阶段で高コストとなっている。	蓄電池が高コストである。蓄電池の劣化が大きい。体積密度も小さく、輸送船の利用コストが高くなる。	大量の水が必要で、排水処理などのコストが大きい。残渣の処理が必要となる。	作業者の人件費が大。食用の価格高騰によって、食用転換され、入手できなくなるリスクがある。
総合評価	◎ 全体として高評価	△ 輸送の効率が悪い	○ 管理が困難であるが、全体に効率が良い	× 敷地が大きすぎる

(資料) 日本総合研究所作成

以上を考慮すると、再エネの流通については、太陽光発電によって水素製造した後に、液体水素として輸送する方法が最も優れることが分かる。次いで、施設面積を重視する場合には微細藻類を用いてバイオ軽油を作り輸送する方法が優れ、輸送効率や安定操業を重視する場合には風力発電で水素を生成し



液体水素を輸送する方法が優れている。これらに比べて、蓄電池で電力を輸送する方法、パンプレーションでバイオ燃料を生成する方法は効率が悪い。

(3) グローバルに調達したエネルギーの活用方法

2050年に向けて最も大きな消費エネルギーの削減が期待されているのは運輸部門である。この際、運輸に適した代替二次エネルギーの条件は、動力への転換を効率的にできることである。候補として、電気、水素、バイオ軽油などがある。

運輸部門では、小型のガソリンエンジン車のエネルギーのほとんどを電動とすることが想定されている。このような電気への転換により、電力需要は25%程度増加する。ここでは、ガソリンエンジン車と同等の距離を走行する電気自動車消費する電力の増加分に対する年間の総消費電力1兆kWhの比率を算出した。この際、最新の電気自動車の電費4.73km/kWhとハイブリッド車の燃費21km/l（ともに米国環境保護局発表）を参考とし、ガソリンエンジン車の消費燃料を5,700万kl（国交省自動車燃料消費量統計年報）と設定した。こうした自動車の電化をすべて系統電力に頼ると、新たな電源の確保、配電網の増強などが必要となる。また、ただでさえ課題となっている総発電量に占める再エネ起源の電力のシェアの向上が一層難しくなる。

また、発電・送配電を含めた系統電力の効率を40.6%とした場合、ガソリンエンジン車で直接燃料を使用するのに比べて、燃料を使って発電所で電気を作って自動車に充電する方が20%程度多く燃料を使用することになる。電化してから電気自動車で使用するのではなく、燃料のままエンジンに投入した方が効率はよくなるのである（図表6）。

(図表6) ガソリンエンジン車の電化に伴う影響

増加率	備考 (算定根拠)
① 自動車の電化による 発電量増加 25% (2,500億kWh)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガソリン使用量5,700万kl (国交省自動車燃料消費量統計年報)</li> <li>・先進的ガソリンエンジン車の燃費21km/l (アメリカ環境保護局発表)</li> <li>・先進的電気自動車の電費4.73km/kWh (米国環境保護局発表)</li> <li>・日本の電力需要10,000億kWh</li> </ul>
② 電化による燃料増加 20%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・系統電力の効率(40.6%)：日本の火力発電の発電端熱効率45%、送配電効率95%、直交変換効率95%として想定</li> <li>・ガソリンの発熱量9.1kWh/l</li> </ul>

(資料) 日本総合研究所作成

一方、水素を用いる場合には、自動車燃料としては、現在、圧縮水素ガスを用いる方法が主流となっている。現在、規格化が進められている燃料電池自動車の水素燃料装置では700気圧の水素タンクが採用されている。比較対象としてガソリン等のエネルギー密度を合わせて図表7に示した。タンク重量を含めたガソリンのエネルギー密度が9,000Wh/kgであるのに対して、燃料電池車の高圧タンクを含んだ高圧水素のエネルギー密

(図表7) 自動車向けエネルギー供給手段のエネルギー密度

エネルギー供給手段	エネルギー密度
ガソリン	9,000Wh/kg*
高圧水素	1,800Wh/kg*
リチウムイオン電池	210Wh/kg
ニッケル水素電池	70Wh/kg
鉛蓄電池	35Wh/kg

(資料) 日本総合研究所作成

(注) タンクの重量を含む。

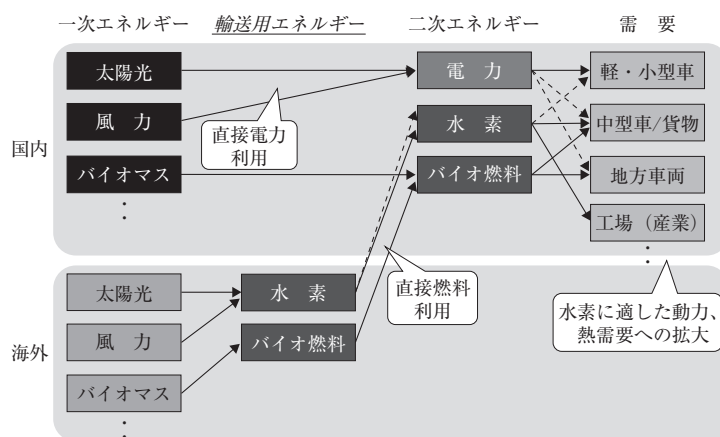
度は1,800Wh/kg、また、電気自動車に使用されている電池のなかで、現在最も効率の高いリチウムイオン電池ではエネルギー密度が210Wh/kgである。この他、ニッケル水素電池と鉛蓄電池を参考として示した。高圧水素は、ガソリンに比べるとエネルギー密度が5分の1程度だが、電池を活用するよりも10倍近くエネルギー密度が高いことが分かる。

バイオ軽油は、常温常圧で従来の燃料タンクで管理、利用することができるので、従来の軽油と同様の使用が可能である。このため、水素インフラへの投資が進みにくい地域で活用することが期待される。

以上を考慮すると、動力需要に対しては、輸入した水素燃料をサービスステーションまで輸送し、高圧ガスにして燃料電池に利用する方法が有効である。これにより、電気自動車の移動範囲の制限などの課題を回避することができ、トラックやバスのような大型車両についても水素と燃料電池を用いた電動化が視野に入る。

また、水素燃料の活用が期待されるのは産業分野である。産業分野の2050年に向けた温室効果ガスの削減目標は30%と、運輸分野のように過大な削減目標は課されていない。これは、熱利用のための化石燃料の転換の方法がないことが一つの理由と考えられる。しかし、産業用の熱需要は一次エネルギー供給量の約70%を占めるため、この分野を放置しては本格的な温室効果ガス削減は難しい。産業用ヒートポンプ、高効率加熱装置など電気による熱供給も検討されているが、ヒートポンプでは工業用の高温の熱は得られないことから用途が限定され、加熱装置では発電時の熱損失によって効率が低下することから現実的とはいえない。このため、鉄鋼、セメント、窯業、金属、化学、製紙、食品などのように、高温の熱、高温、高圧の蒸気を大量に必要とする分野では、利用可能な代替燃料が必要となる。再生可能エネルギー由来の水素はこうした熱需要の多さに対して解決策を提示できる可能性がある(図表8)。

(図表8) グローバルに調達したエネルギーの活用方法



(資料) 日本総合研究所作成

### 3. 再生可能エネルギーのグローバル流通に向けた提言

本論では、再生可能エネルギーのために利用可能な用地が少ないという日本の国土構造の制約を踏まえ、再生可能エネルギーのグローバルな流通の必要性を指摘した。そのためには、幾つかの課題を解決しなければならない。一つ目は、調達の安定性、安全性を確保するための適地の確保、二つ目は、再生可能エネ

ルギーを国内で確保する場合と同等の経済性の確保、三つ目は、国内の水素燃料需要の確保、四つ目は、再生可能エネルギー調達のグローバルネットワーク推進策の確保である。

### (1) 再生可能エネルギー適地の確保

海外から再エネ由来の燃料を確保する場合、再エネの賦存量、政治的な視点等から安定して再生可能エネルギーを供給できる適地を確保しなくてはならない。

再生可能エネルギー資源の適地は多い。図表4に示したように、世界的にみれば、海外から再生可能エネルギーを調達しなければならない国の方が少ないため、日本は買い手市場のなかで、日本国内に比べて十分効率が良い用地を選択することができる。エネルギー資源は、長期の安定した関係を構築できる国から調達する必要がある。

また、長期的な国際情勢に変化を勘案すれば、相手国は複数確保する必要がある。同時に、水素エネルギーインフラの産業面での効果を考えると、輸出側の国の事情に制約されることなく、日本が技術輸出や事業投資ができる関係を有していることも重要である。以上のような、条件を満たす国としては、具体的には、アジア・オセアニアではオーストラリア、ミャンマー、タイ、カンボジアなどがある。

### (2) 再生可能エネルギーの燃料製造・輸送の経済性確保

再エネの国際流通に関しては輸送コストが高むことを考慮し、用地コストが安価であること、耐震・耐風設計などの建設コストが少ないこと、太陽光や風力などのエネルギー効率が高いこと、などの条件を満たす地域を確保する必要がある。

日本に比べ、欧州の太陽光発電の建設コストは3割程度安価であるといわれる。日本国内の建設費が耐震・耐風設計などによって割高になっているためである。欧州よりも物価が低い地域であれば用地コストも低減される。

また、国内の全天日射量は平均で1,300から1,400Wh/m<sup>2</sup>程度であるが、オーストラリア中北部やチリなどでは2,400Wh/m<sup>2</sup>程度に達するため、温度上昇による発電効率の悪化を考慮しても、4～5割程度の発電量の向上が期待できる。

一方、燃料の輸送コストは、資源エネルギー庁の報告では、2025年に燃料単価に対して2～3割程度で、水素の液化、輸送が実施できることが想定されている。これらを考慮すると、水素等の輸送用技術の開発が進めば、国内に残された割高で条件の良くない地域で再生可能エネルギー由来の水素製造をするよりも、海外で生産する方が安価になる可能性もあると考えられる。輸送用技術の早期確立を推進する政策が求められる。

### (3) 国内の水素燃料需要の確保

水素のサプライチェーンは、まず国内で工業プロセスから生じる副生物、都市ガスからの改質、再生可能エネルギーから水素を生成する実証事業、等から水素を供給した後、海外で生産した水素を国内に運ぶグローバルなサプライチェーンを構築することになる。そのためには、国内からの水素を消費したうえで、当該チェーンが成立するだけの需要規模が求められる。

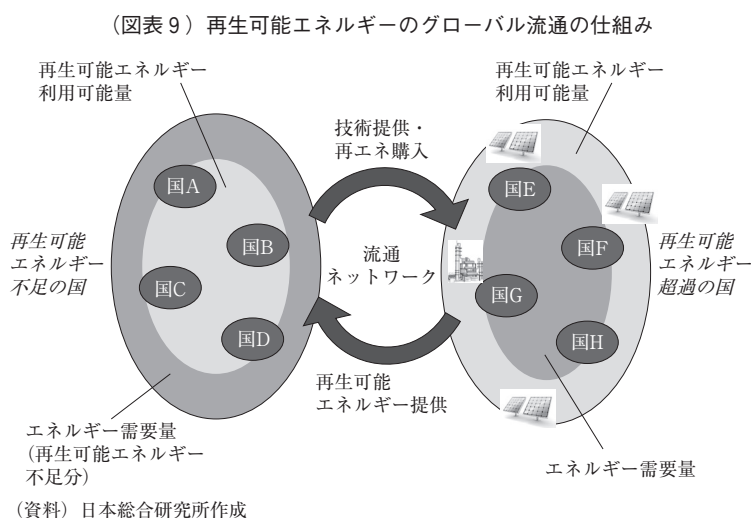
対象需要としては、主に自動車燃料、燃料電池などの分散電源、産業用ボイラ等の熱関連機器などがある。国内からグローバルなサプライチェーンの進展を実現するには、当初から幅広い需要を開拓できるようなプランが必要である。ここでの政策の役割は、民間の需要開拓のための支援制度の整備と公共セクターが需要先となることの支援である。各地に水素ステーションを整備するに当たって、まず公共団体に燃料電池自動車や燃料電池コジェネレーションの利用を進めれば、水素ステーションの稼働する基盤を作り、民間の需要を後押しすることができる。

#### (4) 再生可能エネルギー調達のグローバルネットワーク推進策の確保

海外での再生可能エネルギーを使った水素の供給拠点の開発は、民間だけで進めることは難しい。政府が拠点建設のための用地を提供する相手国との関係を構築したうえで、拠点建設においても民間資金を呼び込むためのリスクテイクをすることが必要となる。

具体的には、まず、日本と友好関係にある国と再生可能エネルギー由来の水素供給の協働プロジェクトの合意を確保し、両国間の官民でSPC（特別目的会社）を設立したうえで、民間資金を呼び込むための公的資金を注入し、あらかじめ作った水素の需要先と供給契約を確保する、といったプロセスが考えられる。こうすれば、相手国政府との良好な関係の下で民間事業者が適当なリスクをとって新たな事業の立ち上げに邁進できる。また、相手国とも事業創出の果実を共有することができる。

こうしたグローバルなネットワークを複数の国との間で構築すれば、安定した再生可能エネルギー流通のプラットフォームを形成することができる（図表9）。



本論文では、2050年の温室効果ガス80%削減を実現するための、再生可能エネルギーのグローバル流通の必要性を提言した。そのうえで、2050年までに、産業活動や国民生活に過度な負担を負うような最終エネルギー消費量の削減目標を課さなくても、国際的な枠組みを作って再生可能エネルギーを海外から調達することで、80%削減を達成することが可能であることを示した。人口密度が高く、再生可能エネルギーの確保が難しいわが国では、国内での再生可能エネルギーの電気利用に過度に依存せず、海外

から水素やバイオ軽油を調達することで、バランスよくエネルギーを獲得する方法が適している。一次、二次を含むこうした大きなエネルギー転換には、過去の歴史から見て30年程度はかかると推測される。2050年に向けた目標を実現可能とするためには、早期の枠組み作りの開始が必要である。

(2016. 1. 26)

#### 参考文献

- [1] 環境省 [2009]. 「温室効果ガス 2050年 80%削減のためのビジョン」 2009年 8月
- [2] 環境省 [2012]. 「2013年以降の対策・施策に関する報告書」 中央環境審議会地球環境部会資料 2012年 6月
- [3] 小宮山涼一 [2009]. 「日本の2050年の長期エネルギー需給シナリオ」 IEEJ、2009年 4月
- [4] 環境省 [2011]. 「再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」 2011年 4月
- [5] 資源エネルギー庁 [2014]. 「水素の製造、輸送・貯蔵について」 水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ資料、2014年 4月