

# 低炭素社会に向けたエネルギー選択に関する考察

藤野 純一<sup>1\*</sup>・日比野 剛<sup>2</sup>・榎原 友樹<sup>2</sup>・芦名 秀一<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 国立環境研究所・<sup>2</sup> みずほ情報総研)

\* e-mail : fuji@nies.go.jp

## 摘 要

エネルギー供給システムは既存のインフラの積み重ねであり、長らく政府やエネルギー業界の示す指針に従ったエネルギー政策が採られてきた。しかし、2050年のCO<sub>2</sub>排出量を1990年比で60%～80%削減するような低炭素社会を志向するのならば、おそらくエネルギー需要部門だけでなく供給部門においても大胆な転換を図らなければ実現できない。そこで、2050年の日本社会を想像し、人々がどんなエネルギーサービスを必要とするかを検討し、それを満たすエネルギー供給像についてそれぞれのエネルギー資源の供給可能性を推計した。その結果、既存のエネルギーシステムの大幅な変更を行えば、70%削減が実現可能なことがわかった。

キーワード：エネルギー供給、原子力、再生可能エネルギー、炭素隔離貯留、低炭素社会

## 1. 需要側と供給側の双方対策

地球温暖化問題とエネルギー問題は表裏一体である。地球温暖化の主因であるCO<sub>2</sub>の多くは、化石燃料を燃焼する際に発生する。生活の質を保ちながらエネルギーシステム由来のCO<sub>2</sub>排出量を抑えるには、生活に必要なサービス需要とそのため投入されるエネルギーをデカップリング(分離)するか、利用するエネルギーを低炭素化するかの2つの方法しかなく、それをいかに組み合わせるかで大幅な削減が可能となる。

日本を対象とした既存のエネルギーシナリオのうち、最近のものをピックアップすると、総合資源エネルギー調査会需給部会の「2030年のエネルギー需給展望」<sup>1)</sup>、それに対抗した市民エネルギー調査会の「持続可能なエネルギー社会を目指して—エネルギー・環境・経済問題への未来シナリオ—」<sup>2)</sup>、日本原子力産業会議の「2050年の原子力ビジョンとロードマップ」<sup>3)</sup>、経済産業省の「技術戦略マップ(エネルギー分野)～超長期エネルギー技術ビジョン～」<sup>4)</sup>、秋元らの「日本におけるCO<sub>2</sub>地中貯留のコスト評価」<sup>5)</sup>など様々なシナリオ分析が行われている。

「2030年のエネルギー需給展望」<sup>1)</sup>は、今まで10年程度の将来までしか見通していなかった同種の分析が2030年までのより長期を示した点と、2030年を前に人口減少などでエネルギー需要が減少する様子が示されている点が特徴的であった。市民エネルギー調査会<sup>2)</sup>は、それでも温暖化対策等には不十分とし、「2030年のエネルギー需

給展望」で行われた分析をベースにGDP(Gross Domestic Product：国内総生産)の考え方自体を見直したシナリオも提示した。

日本原子力産業会議のシナリオ分析<sup>3)</sup>は、世界で幅広く使われているエネルギー技術の積み上げモデルであるMARKAL(Market Allocation)を用いたシミュレーション分析で、2050年までの最適化計算を行っており、40%程度のCO<sub>2</sub>排出量の削減を見込む。「超長期エネルギー技術ビジョン」<sup>4)</sup>は、さらに2100年を見通し、主に技術開発のニーズとシーズを探るスタディで様々な技術のロードマップを描いている。ここでは、電力需要を2100年までに現状の8倍と見込み、サービスとエネルギーのデカップリングには踏み込んでいない。秋元らの研究<sup>5)</sup>は、日本を複数の地域に分類し、地域および日本全体のエネルギー需給バランスをとりながら炭素隔離貯留の技術的・経済的実現可能性を分析した研究である。エネルギー需要の与え方は計量経済的な手法を用いている。

脱温暖化2050研究プロジェクトでは、2050年の日本人の生活スタイルについて叙述したシナリオを構築し<sup>6)</sup>、活動量算定ツール・サービス量算定ツールを用いてそれぞれのシナリオに応じたサービス量を算定した。それによると、高効率エアコンなどの省エネ機器導入(単体機器対策)、高断熱住宅などへの建て替え(単体構造対策)、コンパクトシティなどによるモーダルシフト(面的構造対策)など、現在知りうる対策を徹底普及することで2000年に比べて約40%のエネルギー需要削減が可能なることがわかった<sup>7)</sup>。現在の人口約1億

2,600万人が将来約1億人になるため、それにより約20%（年間約0.5%）のCO<sub>2</sub>削減効果が見込めるが、一方で一人あたりGDPの成長率を1%～2%見込んでおり、差し引きすると毎年0.5%～1.5%ずつCO<sub>2</sub>排出量を増加させる要因になる。そのような想定においても、ハイブリッドカーや高効率なLED(Light Emitting Diode：発光ダイオード)照明、高効率エアコンなどを徹底普及させるなど「生活に必要なサービス需要とそこに投入されるエネルギーをできるだけデカップリングする(エネルギー集約度の改善)」ことで、大幅な削減の可能性があることが示された。

しかし、それでも2050年のCO<sub>2</sub>排出量を1990年レベルの70%削減にするには十分ではない。つまり、残りの削減は「利用するエネルギーの低炭素化(炭素集約度の改善)」に求められる。

## 2. 低炭素社会に向けたエネルギーシステムに求められることは何か？

### 2.1 消費者側から求められる要件

エネルギーシステム分析では、しばしば供給面の対策が強調されるあまりに、消費者が必要とするエネルギーサービスに関する視点が失われがちである。そこで、本研究では2050年に低炭素社会を構築することを前提に、消費者が必要とするべきエネルギーサービスについて考察したい。

消費者が必要とするエネルギーサービスは、産業、民生(家庭・業務)、運輸(旅客・貨物)の各用途に大別される。各部門で必要とされる主なエネルギーサービス需要は、産業ではサービスを生産することを目的に、各種加工を行うための熱需要とモーター等を駆動するための動力源としての電力需要、民生では快適な居住空間・オフィス空間を実現するための暖房や給湯などの熱需要、冷房や照明、家電機器などの電力需要、運輸では移動することを目的とした自動車・航空・船舶用の液体燃料需要や鉄道用の電力需要がある。つまり、エネルギー需要の最終形態は大まかに分類して、電力、熱、交通用燃料の3種類に集約される(図1)。

さて、特に民生や運輸など小規模に分散した消費者に対して、どのようにしてエネルギーを供給すればよいだろうか。それぞれのエネルギーについて考察する。

#### (1) 電力の供給方法

二次エネルギーである電力は、それを利用した時点ではCO<sub>2</sub>を発生しない。しかし、化石燃料を原料にした火力発電所では、電力を生産する際にCO<sub>2</sub>を発生している。現在、電力の5割以上

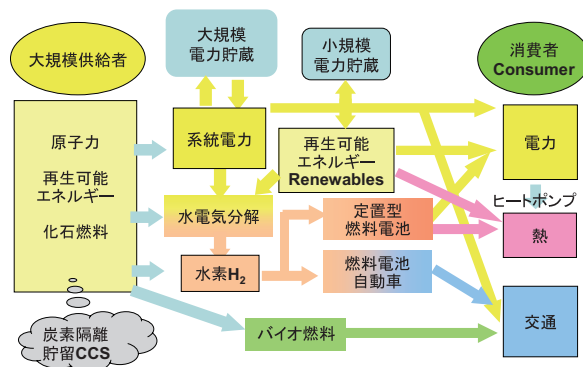


図1 低炭素社会に向けたエネルギーシステムの例。

は化石燃料の火力発電により供給されている。

火力発電所で発生したCO<sub>2</sub>の大気への排出量を少なくするためには、大気に出る前にCO<sub>2</sub>を回収し、地中や海中に貯留する炭素隔離貯留(CCS, CO<sub>2</sub> Capture and Storage)を行う必要がある。そこで問題となるのは、国内のどこにどれだけの量のCO<sub>2</sub>排出量を隔離・貯留できるかである。

一方で、原子力や再生可能エネルギーで電力を生産する限り、殆どCO<sub>2</sub>を排出しない。

また、水素を用いた燃料電池で電力を生産する際にも殆どCO<sub>2</sub>を排出しないが、電力と同様に二次エネルギーである水素を何から生産するかが問題となる。例えば、消費地の傍で天然ガスや灯油を改質して水素を生産し燃料電池を駆動してしまうと、CO<sub>2</sub>が分散して発生してしまうため、回収貯留・隔離するには困難が予想される。

#### (2) 熱の供給方法

現在、熱需要の大部分は、重油やLPG(Liquefied Petroleum Gas)、灯油などの石油製品、石炭、都市ガスなど化石燃料を消費者に直接供給し、その場で燃焼するなどして賄われている。鉄鋼業などの大規模な工場ならCCSとの組み合わせも考えられなくはないが、中小規模の工場や民生レベルなどでは分散して発生するCO<sub>2</sub>を回収し、隔離・貯留することは難しい。CO<sub>2</sub>を排出しない熱供給システムにするには、上記とは異なる方法をとる必要がある。

例えば、ヒートポンプで熱を供給する方法があるが、投入する電力を何から作るかの問題がある。また、太陽熱やごみ発電などの再生可能エネルギーによる方法は、どれだけの量が安定して確保できるかが問題である。そして、定置型燃料電池から発生する熱を利用する方法では、電力同様、投入する水素を何から作るかの課題が残る。このように、おおよそ3つの方法があるが、それぞれ問題点がある。

### (3) 交通用燃料

交通用燃料の大部分は、ガソリンと軽油である。自動車などで使用する際に CO<sub>2</sub>が発生するため、オンサイトで化石燃料を利用している限り、CO<sub>2</sub>を回収し隔離・貯留することは難しい。

現在の内燃機関エンジンが今後も主流を占めるとするならば、持続可能な形で生産する限り CO<sub>2</sub>を発生しないバイオエネルギーなどを燃料にすることが有望だろう。さらにハイブリッド化することで、効率が2倍から3倍に高まると予想されている<sup>4)</sup>。一方、モーター駆動のエンジンが適用可能となれば、電気自動車や燃料電池自動車有望になるだろう。しかし、電力や熱の項でも指摘したように、電力や水素を何から作るかが課題になる。

#### 2.2 供給側で可能となる対策

それでは、低炭素社会に必要なエネルギーはどれくらい供給できるのだろうか。

##### (1) CCS のポテンシャル

RITE(財地球環境産業技術研究機構)/ENAA(財エンジニアリング振興協会)による調査<sup>8)</sup>では、帯水層に CO<sub>2</sub>を隔離貯留するポテンシャルとして、キャップロックに覆われた構造を持つ構造的帯水層では、坑井・震探データが豊富な油ガス田で 35 億 t CO<sub>2</sub>、坑井・震探データのある基礎試錘で 52 億 t CO<sub>2</sub>、坑井データはないが震探データがある基礎物探で 214 億 t CO<sub>2</sub>が見込まれ、合計 301 億 t CO<sub>2</sub>の貯留ポテンシャルが推計されている。一方、トラップを持たない非構造的帯水層では、油ガス田と基礎試錘の合計で 276 億 t CO<sub>2</sub>、基礎物探で 1,160 億 t CO<sub>2</sub>の合計 1,461 億 t CO<sub>2</sub>貯留ポテンシャルが見積もられている。

また、RITEによる日本を対象としたシナリオシミュレーション<sup>9)</sup>では、日本のエネルギーGDP原単位を 2050 年で 2000 年度比半減するケースを想定した場合、累積で基礎試錘データがある 52 億 t CO<sub>2</sub>の半分である 26 億 t が経済性を持って利用されるとし、2020 年時点で約 6 MtC/yr、2050 年時点で約 60 MtC/yr の CCS が行われていた。そこで、2050 年には最大で 60 MtC の CCS が可能であると想定した。

##### (2) 原子力の導入量

原子力政策大綱(2005 年 10 月閣議決定)では、原子力発電を基幹電源の一つとして位置づけ、2030 年度以降も現在の水準程度かそれ以上の発電量を維持することを目指している。また、ウラン資源の有効活用の観点から、原子燃料サイクル技術の確立とプルサーマルの推進を掲げ、使用済

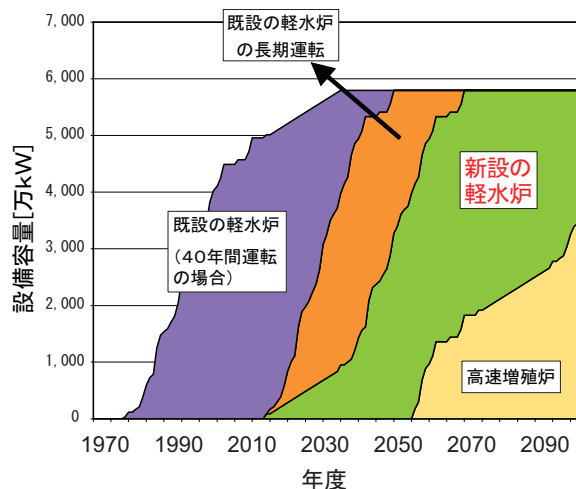


図2 わが国の原子力発電の中長期的な方向性<sup>10)</sup>。

燃料のうち再処理能力の範囲を超えて発生したものについては中間貯蔵しておき、その処理方針は 2010 年頃から検討を開始する予定である。なお、高速増殖炉については 2050 年以降に商業ベースに乗せられるよう技術開発することとしている。また、原子力立国計画<sup>10)</sup>では、将来の原子力発電所の設備容量を図2のように想定している。

そこで、2050 年には最大で約 60 GW の原子力が導入可能であると想定した。

##### (3) 太陽光発電のポテンシャル

2004 年の、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「2030 年に向けた太陽光発電ロードマップ(PV2030)」<sup>11)</sup>では、図3に示されるように、技術開発が行われた場合の 2030 年の設備容量を 101.9 GW、また、図3よりも前倒しで完成し、2030 年頃には大規模発電の実用化も大幅に実現しているケースでは、2030 年の設備容量を 201.8 GW としている。現状ではやっと 1 GW を超えたばかりであり、2050 年においても標準ケースを上限にした。

##### (4) 風力発電のポテンシャル

NEDOの「平成 16 年度 風力発電利用率向上調査委員会の風力発電ロードマップ検討結果報告書」<sup>12)</sup>によれば、風力発電量の年度別導入目標は 2010 年度に 300 万 kW(内訳：陸上 300 万 kW、洋上 0 kW)、2020 年度に 1,000 万 kW(内訳：陸上 620 万 kW、洋上 380 万 kW)および 2030 年度に 2,000 万 kW(内訳：陸上 700 万 kW、洋上 1,300 万 kW)と予測している(図4)。また、2020 年度と 2030 年度の導入目標の設定方法は、基本的には陸上と洋上の導入可能量を基に検討したものである、としている。一方で、電力系統への影響を考慮し、一部の地域では導入の抑制が行



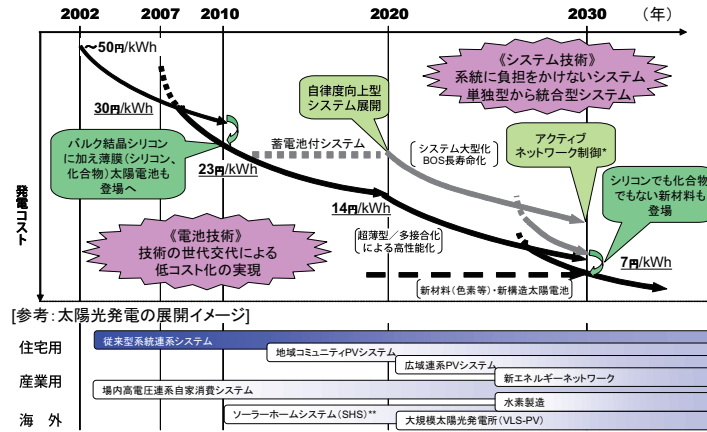


図3 太陽光発電の経済性改善シナリオ<sup>11)</sup>。  
 (\*アクティブネットワーク制御：パワーエレクトロニクス技術を使用する電力ネットワーク制御、\*\*ソーラー・ホーム・システム：途上国の無電化地域向け小規模住宅用システム)

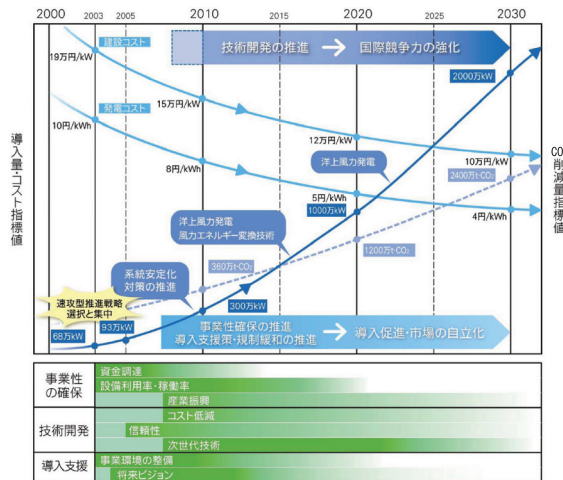


図4 わが国における風力発電導入量の予測<sup>12)</sup>。  
 本シナリオは現状における検討結果であり、今後の状況によって変わることがある。

われている。そこで、2050年の上限を2,000万kWとした。

#### (5) バイオマスのポテンシャル

山本ら、「最適化型世界土地利用エネルギーモデルによるバイオエネルギー評価」<sup>13)</sup>を基に、バイオマス資源量を検討すると、わが国の残渣系バイオマスの究極供給可能量は、2010年に、食料系537PJ/年、木材系1,319PJ/年、合計1,856PJ/年である。この量は、わが国は一人あたりバイオマス消費量と人口がともに安定しているため、将来もほぼ一定と考えられる。このうち、経済性を考慮したときに利用される資源量は、750PJ/年(約20Mtoe/年)程度と考えられる。

また、長期バイオマス需給シナリオに基づく、世界の余剰耕地面積から生産可能なエネルギー作

物の量は、2050年に80EJ/年(約200Mtoe/年)と計算された。これと比較すれば、わが国で30Mtoe/年程度のバイオマスを輸入することは可能かもしれない。そこで、国産および輸入できるバイオエネルギーの目安として50Mtoe/年の利用が可能であると想定した。

しかし、上記のシナリオでは森林の一部をエネルギープラランテーションとすることや、国産材の利用活性化に伴う残渣発生量の増加を見込んでいない。これらも加えると、さらなる供給の可能性はある。

#### (6) 水素の供給ポテンシャルについて

経済産業省の水素シナリオ<sup>14)</sup>では、燃料電池自動車(FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle)導入を2010年5万台、2020年500万台、2030年1,500

万台など、燃料電池技術の導入・普及目標が掲げられるだけで、エネルギー源としての水素に関する公式のシナリオやロードマップは発表されていない。そこで、この導入目標を満足させる水素の供給が可能であるかをチェックする。

副生水素については、石油業界、石油化学業界、ソーダ業界、アンモニア業界、鉄鋼業界併せて160～170億m<sup>3</sup>、FCEV 1,500万台相当の供給ポテンシャルが存在する。

天然ガス改質水素については、FCEV 1,500万台相当に必要な天然ガス原料は50億m<sup>3</sup>強となり、これは現状の日本の都市ガス供給量325億m<sup>3</sup>の6分の1以下にすぎない。2050年のFCEV普及率を50%、定置用燃料電池(定置用FC(Fuel Cell))として1,400万kWが普及していたとすると、水素の総需要は410億m<sup>3</sup>となり、これを全量天然ガス改質で供給するとしても、必要な天然ガス原料は130億m<sup>3</sup>強と現状の都市ガス供給量の3分の1程度で済む。このときに問題となるのは、天然ガス改質を行う際、確実に炭素を回収、隔離・貯留できるかどうかである。一方、将来は高温ガス炉による水素製造や風力や太陽光などの電気分解も技術的には可能なため、CO<sub>2</sub>フリーな水素をつくることに対して技術的にはそれほど問題はない。

2.3 供給側で特に考慮すべき事項

前節の検討から、それぞれの供給オプションには相当の供給ポテンシャルが存在することがわかった。次に問題となるのは、経済性はもちろんのこと、エネルギー需給システム間のバランスを考えたときにどこまで利用できるかである。

(1) 電力需給バランスについて

現在の電力需要は昼2時ごろにピークを迎え、深夜に底を打つ凸凹な割合(電力負荷率と呼ばれる)が大きくなっている。供給側は、出力がほぼ一定なベース電源として、流れ込み式の水力、原子力、石炭火力などがあり、一方、ゆっくりとした負荷の変化に追従する電源としては天然ガス火力と石油火力がある。さらに、夜間の余った電気を蓄えて昼のピーク対応に利用する揚水発電などにより、バランスが保たれている。

今後、CO<sub>2</sub>排出原単位の小さい原子力の割合を大きくしようとする、出力変動が許されない限り(フランスでは出力変動運転が行われている)、電力需要パターンからその上限が制約される。一方、蓄熱式ヒートポンプやプラグインハイブリッドなどにより、夜間電力の利用量を増やすことも考えられる。本研究では、原子力の電力負荷率として原子力ビジョン<sup>3)</sup>で設定している60%を上限

とした。

今後の持続可能なエネルギーシステムを構成する、重要な要素である再生可能エネルギー由来の電力の導入制約はどこにあるのだろうか。

太陽光発電を系統に接続する際の問題点として、出力の不安定性や電圧降下などの問題もあるが、面的に広がっていけば天気予報と組み合わせることで安定した電力供給が可能になり、設備容量としてのkW価値も十分に期待できる。問題は、落雷などの系統事故の復旧工事を行う時にはすべての電源を停止する必要があるが、日射があるために個々の太陽光発電設備で発電を続けることでさらなる事故が起こることである。これには適切な装置をつけて対応するほか、将来Home Energy Management System(HEMS)が本格化すれば情報ネットワーク網から系統事故の情報が送られて、自動的に系統から解列する仕組みも構築されるだろう。

風力発電は、出力が風況次第であるため、蓄電池などの出力安定化対策が施されないまま系統に連系されると、系統の周波数変動を助長する。したがって、その変動を火力発電や揚水式発電によって吸収しなくてはならない。特に、深夜・早朝の時間帯ほど一般的に風力の出力が大きく、同時に火力の発電割合が低いいため、風力の大規模系統連系が難しい。既に、北海道、東北、九州などの風況が良いところでは導入量に制限をかけ始めている(図5)。

一方で、欧州では風力発電の導入量は増加し続けている。方式が日本とは異なるものの、電力グリッドを欧州内の各国と連係することで負荷調整を可能にしている。日本では、負荷周波数制御や

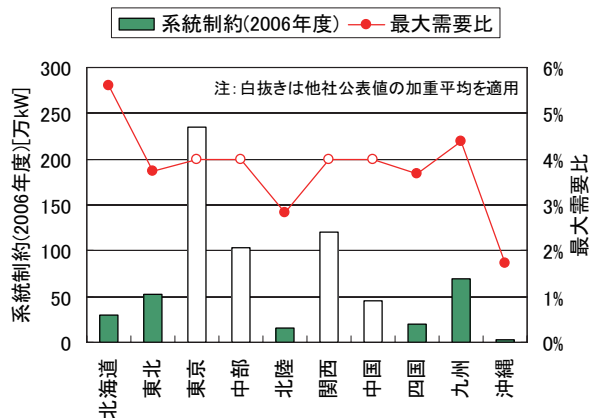


図5 風力発電の系統制約(蓄電池併設分除く)<sup>15)</sup>  
 ※ 2006年9月末時点で連系可能容量を公表している電力会社については公表値と2006年度最大需要との比率を用い、公表していない会社については、一律に4%(公表値を2006年度最大需要で加重平均して推定)を適用。

経済負荷配分制御、会社間系統連系の強化を行うと、出力安定化対策なしでも電力部門の総設備容量比で6.5%まで太陽光や風力発電が導入可能である。加えて、風力発電や太陽光発電の大規模導入による出力平滑化効果を勘案すると、総発電量の約20%を太陽光や風力で賄うことができるという試算がある<sup>16)</sup>。さらに、洋上風力等で生産した電力を水電気分解で水素にして適宜貯蔵し、使いたいときに燃料電池で電気と熱に変換することで系統の制約から解放され、さらなる利用拡大の可能性はある。

## (2) 水素輸送について

水素の本格的な利用を行うためには、その水素を輸送・貯蔵する社会インフラの整備が不可欠である。水素燃料電池自動車や定置型燃料電池などの機器と水素社会のインフラは車の両輪の関係にあり、十分なインフラがなければ機器が普及せず、機器が普及しなければインフラの整備を進める推進力とはならない。特に、社会インフラ整備は投資額の規模が大きいため、水素が普及した社会シナリオの実現可能性を検討するためには、機器の導入のみならず社会インフラも含めた総投資額の検討が重要となる。

水素社会構築コストの試算にあたり、脱温暖化2050プロジェクトのシナリオチームが構築したシナリオA<sup>17)</sup>を試算の前提とした。

水素ステーションを想定した社会背景における水素関連の項目を抜粋し、以下に整理した。

〈想定1〉：水素は主にPEM(Proton Exchange Membrane：固体高分子膜)電解プラントで製造され、水素パイプラインによる大規模輸送によって各家庭、あるいは水素ステーション→FC自動車へと供給されるものとする。

〈想定2〉：旅客交通需要の約50%が水素で供給される(水素燃料自動車がほとんど全国どこでも利用できる程度のインフラが必要)。

〈想定3〉：水素を製造するためのエネルギー源として再生可能エネルギーが利用される(水素需要量を供給できる数のPEM電解プラントが必要)。

〈想定4〉：民生部門の熱需要(暖房・給湯)の10%が水素FCコジェネの熱で主に賄われる。FCの稼働率はせいぜい80%であるので、約13%の世帯に定置型FCが導入されている。

〈想定5〉：民生・交通など様々なシーンで水素が利用されているため、少なくとも現在の都市ガス程度のカバー率で各地に水素を供給できるだけのインフラ(主にパイプライン)が導入されているものとする。

上記の想定から、2050年の水素需要は自動車交通用に6 Mtoe、民生・産業用に9 Mtoeの合計15 Mtoeと推計した。

そして、既存の文献等に示される値をもとに、燃料電池自動車(FCV)、定置型燃料電池(定置型FC)、パイプライン、PEM電解水素製造プラントのコストを推計したところ、年間投資額はHighケースで5,000億～1兆円、Lowケースで1,000億～7,000億円程度となった<sup>16)</sup>。

## 3. 2050年のエネルギー供給の可能性

2章で検討した各種エネルギー資源量を組み合わせ、エネルギー供給システムを低炭素化することで、日本のCO<sub>2</sub>排出量を1990年比70%削減する方策について検討する。

### 3.1 2050年低炭素エネルギーシステムの想定

シナリオAでは、原子力やCCSなどの大規模技術が受け入れられやすいとした。そして、都市部に人口が集中することから、水素パイプラインを用いた水素供給に対しても利便性や経済性から受け入れられると想定した。

一方シナリオBでは、不確実なリスクのある原子力やCCSの社会受容性が低く、原子力は寿命40年で廃止、CCSは導入されないとした。一方、バイオマスなどの地域エネルギー資源を積極的に利用するとした。他方で、人口が地方周辺部にも分散して配置すると想定したため、水素燃料電池自動車による自動車交通は難しく、液体バイオ燃料を用いたハイブリッド自動車などの割合が高まると想定した。

これらの叙述的な条件をもとに、表1で示した供給ポテンシャルを想定し、エネルギー需給の調整を行った。その結果、計算された一次エネルギーおよび発電量のグラフを図6および図7に示した。どちらのシナリオでも化石燃料の総量が減少しているが、CO<sub>2</sub>原単位の小さい天然ガスの供給量は横ばいとなった。また、どちらのシナリオでも再生可能エネルギーの割合は増加している。発電量の構成を見るとシナリオAでは原子力の割合が大きくなっているが、負荷調整の観点から電力需給の時間マッチングを相当行わなければならないだろう。

### 3.2 低炭素エネルギーシステムの変化幅

2050年までを見通したとき、既存のエネルギーインフラの大半は更新機会があり、その際に、適切に選択すればエネルギー供給システムはより劇的に変更する可能性も秘めている。

そこで、2章で検討した供給ポテンシャルをさ



表1 シナリオAとBの想定.

	シナリオ A	シナリオ B
原子力	既存と計画中の52 GW、稼働率は90%、総発電量の60%を上限.	寿命60年で順次廃炉、稼働率は90%.
炭素隔離貯留	上限を年間60 MtC.	利用しない.
太陽光発電	住宅用の屋根面積の4分の1に設置等で42 GW <sup>18)</sup> .	住宅用の屋根面積の2分の1に設置等で86 GW <sup>18)</sup> .
風力発電	洋上風力も用いて35 GW <sup>18)</sup> .	陸上のほぼ限界まで6.59 GW <sup>1)</sup> .
バイオマス	残渣系バイオマスのポテンシャルの範囲.	自動車燃料や熱源に幅広く利用.
水素	風力発電による電力と天然ガスから生成.	利用しない.
石炭	CCSと組み合わせることで電力シェアの10%を担う.	発電用には使わず熱源として利用.
天然ガス	CCSと組み合わせて利用.	石炭を利用しない分シェア拡大.
石油	発電用には使わず産業用の熱源等で利用.	発電用には使わず産業用の熱源等で利用.

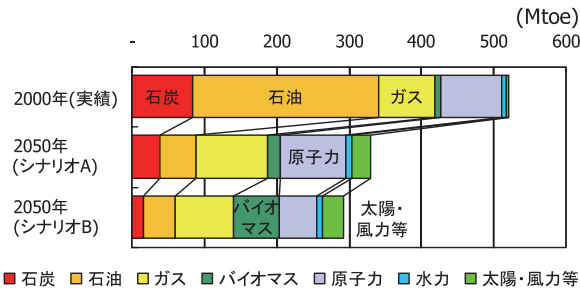


図6 2000年と2050年の一次エネルギー供給量.

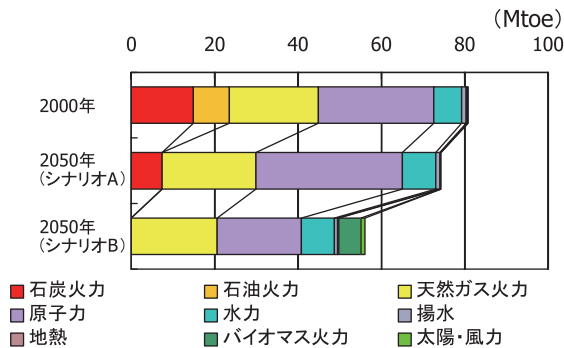


図7 2000年と2050年の発電量.

らに拡大させたケースを検討した。

水素と太陽光および風力の利用が拡大するシナリオでは、太陽光発電を住宅の屋根等、建物の上に来る限り設置した場合の17,300万kW<sup>18)</sup>、風

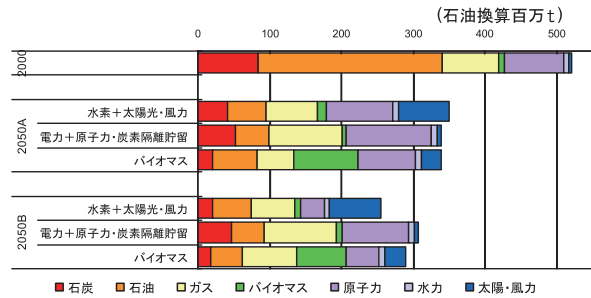


図8 さまざまなエネルギー供給の可能性.

力を洋上風力も出来るだけ建設した場合の7,500万kW<sup>18)</sup>とした。電力+原子力・炭素隔離貯留シナリオでは、原子力の上限を現時点での既存設備に、建設中および計画中の設備の容量を合計した6,681万kWが、2050年まで保たれると想定した。また、バイオマスシナリオでは、国産材の利用が増加し、バイオマスエネルギーの国際マーケットも活発になると想定し、90 Mtoe近いバイオマスエネルギーが国産および輸入で賅われるとした。

それらをまとめた結果を図8に示したが、このようにいろいろな組み合わせが可能である。ただし、どの一次エネルギーを選択するにしても、その供給ポテンシャルと需要側から必要とされる二次エネルギー(ガス・水素、液体、電力、その他)の需給両面からの制約を受ける。例えば、原子力は、立地・受容・リードタイムのほかに需要側の電力負荷率が制約になる。バイオマスは、国内資源だけでなく国外からの輸入可能量に制約があり、自然エネルギーには供給ポテンシャルおよび出力の不安定性など本質的な制限がある。水素供給には、まだ殆ど建設されていない水素インフラが必要になる。

早期の一次エネルギー供給見通し、二次エネルギー形態の検討、エネルギー供給・利用面での分散多様化による、エネルギー安全保障面と低炭素化目標達成の両立を見据えた早期の路線決定が望まれる。

#### 4. 低炭素エネルギー供給システムに向けて

大幅な温室効果ガス削減を実現するためには、既存のエネルギーシステムの大幅な変更を行わなければならない、と結論された。また、エネルギーセキュリティの観点から、化石燃料から脱却した需給システムを検討することは重要である。これらを総合的に判断するためには、経済性を含めたさらなるシステム分析が必要である。

一般に、エネルギーシステムの変更には長い

リードタイムが必要だといわれている。しかし2050年まで見通せば、発電所の建て替えだけでなく送配電線の張替えなど、殆どのインフラの変更まで視野に入り、大幅にエネルギーシステムを変えることができる。また、再生可能エネルギーの利用を促進させるためには、地域資源を有効に利用するような都市計画や再生可能エネルギーの買い取りに関する政府の強いシグナルが必要になる。

今後は、産業や民生、運輸などの、エネルギー消費者にとって真に必要なエネルギーサービスと同定し、その人たちにとって安心して使いやすいエネルギーサービスを供給するような考えが生まれることを期待する。

### 謝 辞

本研究は環境省、地球環境研究総合推進費・戦略的研究開発プロジェクト「脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案手法の確立に関する総合研究プロジェクト(脱温暖化2050研究プロジェクト)」(S-3-1)の成果の一部である。また、プロジェクト傘下のエネルギー供給WGの各位には様々なアドバイスを頂いた。心より感謝の意を表したい。

### 引用文献

- 1) 総合資源エネルギー調査会需給部会(2004)2030年のエネルギー需給展望。
- 2) 市民エネルギー調査会(2004)持続可能なエネルギー社会を目指して-エネルギー・環境・経済問題への未来シナリオ-。
- 3) 日本原子力産業会議(2004)2050年の原子力ビジョンとロードマップ。
- 4) 経済産業省(2005)技術戦略マップ(エネルギー分野)~超長期エネルギー技術ビジョン~。
- 5) 秋元圭吾・大隈多加志(2006)日本におけるCO<sub>2</sub>地中貯留のコスト評価。第22回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 17-4。
- 6) 榎原友樹・藤野純一・日比野剛・松岡 譲(2007)低炭素社会検討の前提となる社会経済ビジョンの構築。地球環境, 12, 145-151。
- 7) 藤野純一・日比野剛・榎原友樹・松岡 譲・増井利彦・甲斐沼美紀子(2007)低炭素社会のシナリオとその実現の可能性。地球環境, 12, 153-160。
- 8) RITE/ENAA(2006)二酸化炭素地中貯留技術開発。平成17年度成果報告書。
- 9) RITE(2006)二酸化炭素地中貯留, 平成17年度報告書。
- 10) 経済産業省資源エネルギー庁(2006)原子力立国計画。
- 11) NEDO(2004)2030年に向けた太陽光発電ロードマップ(PV2030)。
- 12) NEDO(2005)風力発電ロードマップ。
- 13) 電力中央研究所(2001)研究報告, Y01005。
- 14) 経済産業省資源エネルギー庁(2004)水素社会に向けたシナリオについて。第12回燃料電池実用化戦略研究会, 資料6-2。
- 15) 浅野浩志(2006)RPS制度下における2014年度までの新エネルギー導入可能性の経済的分析。総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会RPS法小委員会(第3回), 配付資料2。
- 16) 芦名秀一・藤野純一(2007)多地域電源計画モデルを用いたわが国電力部門における再生可能エネルギー導入ポテンシャルの定量的検討。第23回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, 461-464。
- 17) 脱温暖化2050研究プロジェクト(2007)エネルギー供給WG報告書。
- 18) 総合資源エネルギー調査会(2000)新エネルギー部会資料。

(受付2007年11月26日, 受理2007年12月12日)