

## 第4章 長期シナリオ

### 4.1 国内の中長期シナリオ

日本のエネルギーの長期ビジョンは、これまで経産省の総合資源エネルギー調査会需給部会による「長期エネルギー需給見通し」が基本になってきた。最新（2009年策定）のものは2030年までの見通しで、従来の考え方のままで現状延長（フォアキャスト）している。業界団体の利害調整が中心であることから、「エネルギー家の家族会議」（吉岡九州大学教授）といわれる。「新・国家エネルギー戦略」は実質的に同じもので、「エネルギー技術戦略」も同じ発想である。

これに対し、環境エネルギー政策研究所（ISEP）を中心とする市民エネルギー調査会では、2004年6月に「持続可能な代替シナリオ」を発表している。このシナリオは、これまでの「長期エネルギー需給見通し」の妥当性を判断するとともに、市民やNGO自らが日本のエネルギーの将来像を提示するために策定された。国の「長期エネルギー需給見通し」に対してある種の警鐘を鳴らす役割を果たしており、エネルギー政策の根本的な見直しを目的としている。

京都議定書の第一約束期間（2008～2012年）やG8サミット（2008年7月）を間近に控え、地球温暖化に伴う気候変動への対応がエネルギー政策に関しても迫られた。国立環境研究所などのグループは2007年2月に「2050日本低炭素社会シナリオ」を発表し、バックキャストにより2050年における低炭素社会実現のためのビジョンを初めて示した。この長期シナリオでは2050年におけるあるべき低炭素社会の姿を2種類の社会シナリオで想定し、エネルギーサービスを維持した上で、2050年に日本国内の温室効果ガスの排出量を70%削減できるとの可能性を初めて示した。

ここで用いられた長期シナリオのモデル（AIMモデル）は、その後、民主党政権が官邸に設けた「地球温暖化問題に関する閣僚委員会タスクフォース会合」（2009年10月～12月）や環境省が2009年12月から開始した「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討会」において、2020年の中期目標に関する温室効果ガス排出量の試算の基礎となった。さらに2030年、2050年等の長期にわたる試算が発表されている<sup>1</sup>。その結果、2020年までに国内対策のみでの温室効果ガス排出量削減25%（1990年比）が可能であ

ることが示され、さらに2050年においては80%の削減の可能性が示された。

なかでも環境省の「中長期ロードマップ小委員会」のもとにエネルギー低炭素化ワーキンググループが設けられ、とくに日本国内における中長期的な自然エネルギーの導入策が検討された<sup>2</sup>。その結果、国内の一次エネルギー供給に対して、2020年に10～13%、2030年に17～19%、2050年に37～46%が自然エネルギーにより供給される可能性が示された（図4-1）。環境省は、2010年度も引き続き中央環境審議会の中長期ロードマップ小委員会で、2020年以降の中長期シナリオの検討を行っている。2010年12月にはその中間整理を発表した<sup>3</sup>。

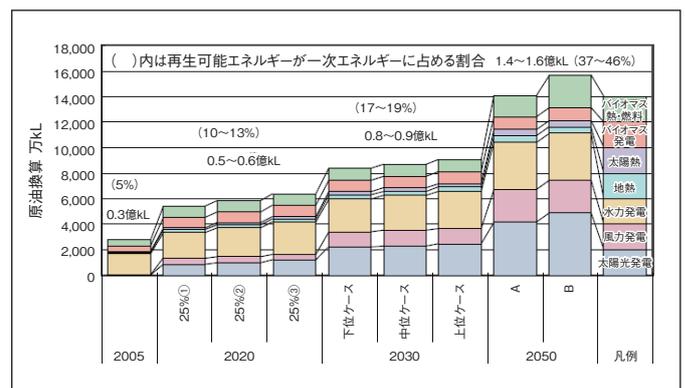


図4-1 自然エネルギー導入量の中長期シナリオ  
(出典：環境省「低炭素社会づくりのためのエネルギーの低炭素化検討会」)

一方、2002年6月に施行された「エネルギー政策基本法」にもとづいて、3年ごとに「エネルギー基本計画」が策定されることになっている。2010年6月には、改訂版が閣議決定され、2030年の目標を提示している。そこでは、エネルギー安全保障を強化するために、エネルギー自給率（原子力を含む、現状18%）を倍増させるとしている。また、電源構成に占めるゼロ・エミッション電源（原子力および再生可能エネルギー由来）の比率を2020年には約50%以上、2030年には約70%にするとしている（現状は34%）。そのうち、再生可能エネルギーの占める割合は、2020年までに一次エネルギー供給の10%を目指すとしているが、明確な道筋は示されていない。

<sup>1</sup> 国立環境研究所「日本温室効果ガス排出量 2020 年削減目標達成に関する AIM モデルによる分析結果」[http://www-iam.nies.go.jp/aim/prov/middle\\_report.htm](http://www-iam.nies.go.jp/aim/prov/middle_report.htm)

<sup>2</sup> 環境省「低炭素社会づくりのためのエネルギーの低炭素化検討会」<http://www.env.go.jp/earth/report/h22-05/index.html>

<sup>3</sup> 環境省「中長期ロードマップ小委員会（第 19 回）」<http://www.env.go.jp/council/06earth/y0611-19.html>

## 4.2 海外の長期シナリオ

### 4.2.1 世界シナリオ

国際的な長期エネルギーシナリオとしては、IEA（国際エネルギー機関）が“World Energy Outlook (WEO)”として2030年までのフォアキャスト（現状延長）型のシナリオを毎年発表している。WEO2007<sup>4</sup>あたりから世界のエネルギー需給の観点においてとくに中国とインドなど新興国のエネルギー需要の増加に注目し、基準（Reference）・代替（Alternative）・高度成長（High Growth）の3通りのシナリオを提示している。この中で、これからの10年間の国際的なエネルギー政策の重要性が強調されているが、気候変動に対応するCO<sub>2</sub>排出削減についての明確なビジョンは見られなかった。しかしながら、2008年に発表されたWEO2008<sup>5</sup>からは、気候シナリオを取り入れ、大気中の温室効果ガス濃度をCO<sub>2</sub>換算で450ppmに安定化させるシナリオを評価している。2010年11月に発表されたWEO2010<sup>6</sup>では、気候変動に対する評価をさらに重視するとともに、ピークオイル等のエネルギー安全保障に対する対応や、IEAの従来の予想を超えて普及しつつある自然エネルギーの可能性にも注目している。IEAの自然エネルギー技術開発部門であるIEA-RETD<sup>7</sup>では、自然エネルギーに注目した技術シナリオを発表しており、大気中の温室効果ガスの濃度を最終的に400ppm相当に安定化させるため、2050年までに世界の自然エネルギーの割合を60%程度とするシナリオになっている（図4.2）。

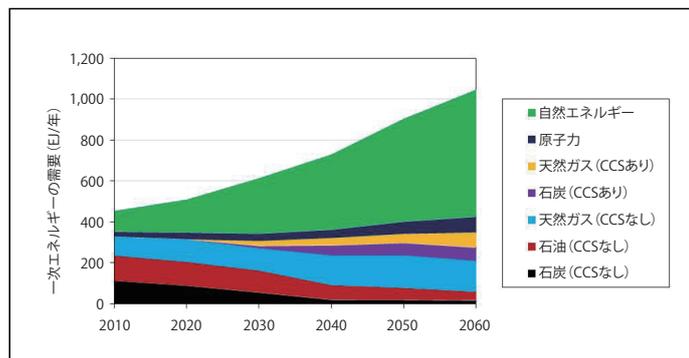


図4-2 IEA RETD ACES シナリオ  
（出典：IEA RETD）

これに対して地球温暖化による危険な気候変動を回避するため世界の平均気温の上昇幅を2℃未満に抑えることを前提として、国際環境NGOグリーンピー

ス・インターナショナル（GPI）とEREC（欧州再生可能エネルギー評議会）が2007年に“Energy [R]evolution”を発表した<sup>8</sup>。そこでは、2050年までの長期シナリオとして、省エネルギーと自然エネルギーの大幅な導入により、世界のCO<sub>2</sub>排出量半減が可能であることが示されていた。これに対しIEAでは、2008年に「エネルギー技術展望（ETP）」において初めてバックキャストの手法を採用し、技術的な視野から2050年までのCO<sub>2</sub>排出量の半減のシナリオを提示しているが、CCS（カーボン貯留技術）や原子力発電の大幅な拡充など、GPIのシナリオとは大きく異なる内容となっていた（2010年には最新版のETP2010を発表している）<sup>9</sup>。その後GPIでは、さらに進んだシナリオとして、全世界で2050年までにCO<sub>2</sub>排出量を80%以上削減するシナリオを発表している。その中で自然エネルギーの導入割合を80%以上としており、原子力やCCSの利用を想定していないシナリオとして注目される。

さらに2011年には国際環境NGOであるWWFより自然エネルギー100%の世界シナリオ「エネルギー・レポート～2050年までに自然エネルギー100%:The Energy Report – 100% Renewable Energy by 2050」が発表された<sup>10</sup>。この世界シナリオでは、2050年までに世界のエネルギー需要をすべて自然エネルギーで供給することが経済的にも技術的にも可能であるという研究成果が示されている。

### 4.2.2 欧州のシナリオ

欧州では、長期的に2050年頃までに自然エネルギーによりすべてのエネルギー需要を賄う「自然エネルギー100%シナリオ」が、2009年頃から発表されている。

ドイツでは、環境問題に関する学識者諮問委員会（SRU）など政府に対するアドバイザーグループなどから、自然エネルギー電力によって100%自給する提案が2009年に提出された。2010年7月には、ドイツ環境局（UBA）が、電力について2050年までに100%自然エネルギーとするシナリオを発表している<sup>11</sup>。

一方、欧州全体では、ECF（European Climate Foundation）が2010年に“Roadmap 2050”を発表し、そのシナリオでは欧州全体で2050年までに温室効果ガスの排出量を80%削減となっている<sup>12</sup>。その中で、欧州再生可能エネルギー評議会EREC（European Renewable Energy Council）による“Re-Thinking 2050”<sup>13</sup>は、2010年4月に発表された最も先進的な

<sup>4</sup> IEA World Energy Outlook 2007 <http://www.iea.org/weo/2007.asp>

<sup>5</sup> IEA World Energy Outlook 2008 <http://www.iea.org/weo/2008.asp>

<sup>6</sup> IEA World Energy Outlook 2010 <http://www.iea.org/weo/2010.asp>

<sup>7</sup> IEA RETD <http://www.iea-retd.org/>

<sup>8</sup> Greenpeace The Energy [R]evolution <http://www.greenpeace.org/international/en/campaigns/climate-change/energyrevolution/>

<sup>9</sup> IEA Energy Technology Perspectives <http://www.iea.org/techno/etp/index.asp>

<sup>10</sup> WWF「エネルギー・レポート」<http://www.wwf.or.jp/activities/2011/02/966203.html>

<sup>11</sup> UBA press release [http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse-e/2010/pe10-039\\_energy\\_goal\\_for\\_2050\\_100\\_percent\\_renewable\\_electricity\\_supply.html](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse-e/2010/pe10-039_energy_goal_for_2050_100_percent_renewable_electricity_supply.html)

<sup>12</sup> ECF Roadmap 2050 <http://www.roadmap2050.eu/>

<sup>13</sup> EREC Re-Thinking2050 <http://www.rethinking2050.eu/>

100%シナリオの一つであり、2050年までに欧州の全エネルギー需要を自然エネルギーで賄うことを想定している。

図4-3に示す欧州の電力需要に対する自然エネルギーの割合では、2050年に風力31%、太陽光27%、地熱12%、バイオマス10%、水力9%、海洋エネルギー3%となっている。さらに、図4-4に示す最終エネルギー需要に対する自然エネルギーの割合では、2050年にバイオマス34%、地熱18%、風力13%、太陽熱12%、太陽光11%、水力4%、CSP3%、海洋エネルギー1%となっている。

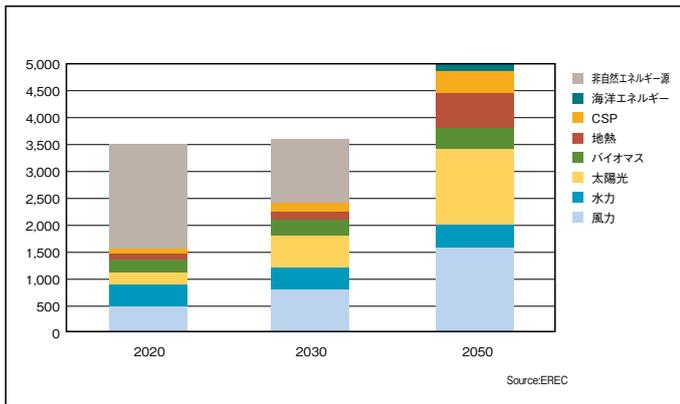


図 4-3 電力需要に対する自然エネルギーの割合 (TWh) (出典： EREC、Re-Thinking2050)

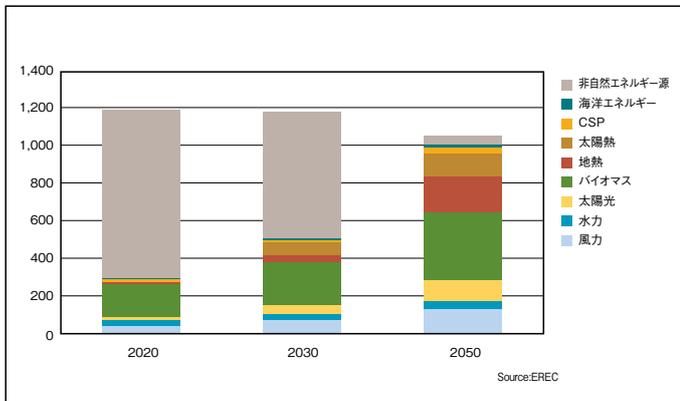


図 4-4 最終エネルギー需要に占める自然エネルギーの割合 (Mtoe) (出典： EREC、Re-Thinking2050)

### 4.2.3 自然エネルギー 100%シナリオ

自然エネルギー 100%シナリオの目的は、自然エネルギーの100%導入に向けた単なる将来予測ではなく、自然エネルギー政策の形成や自然エネルギー市場の動向に示唆を与えようとするものである。よって、自然エネルギーの100%導入のシナリオを示すことにより、経済、環境、雇用創出などのメリットの定量的評価が行われ、逆に自然エネルギーがそれほ

ど導入されなされなかった場合のリスクも評価した上で、自然エネルギー導入を促進するための政策も提言されている。

これらのシナリオに共通している特徴として、以下の5項目を挙げることができる。

#### エネルギー費用の削減

2004年にはインドネシアが、2010年にはメキシコが石油輸出国から輸入国へ変遷したように発展途上国の石油需要は増え続けている。その一方、ピークオイルが指摘されるように、化石燃料は再生が不可能な有限な資源であり、2030~2050年の間に、1バレル120ドルから200ドルに石油価格が高騰することが指摘されている。現在主力のエネルギー源である石炭についても同様の指摘があり、欧州は、年間の石炭需要を2020年までに290Mtoe以上、2030年までにおおよそ500Mtoe、2050年までに1000Mtoe以上削減する必要があるとしている。そのため、自然エネルギーの導入により、2020年までに約1580億ユーロ、2030年までに約3250億ユーロ、2050年までに約1兆900億ユーロの化石燃料の費用を節約できるとしている。

#### 雇用の創出

自然エネルギーによる雇用創出効果も注目されており、2009年末までに、欧州において55万人が自然エネルギー産業で雇用されている。また、予測では2020年までに270万人、2030年には440万人、2050年には600~610万人の雇用創出が見込まれる<sup>14</sup>。

#### バックキャストイング

2050年に自然エネルギー 100%を達成する道のりを少なくとも2020年、2030年、2050年の時点で示し、自然エネルギーの中長期的な導入シナリオを描くことにより、バックキャストイングの手法によって政策の提言を行っている。

#### エネルギー安全保障

風力、水力、太陽光、海洋エネルギー、地熱、バイオマスといった多様な自然エネルギー資源を組み合わせることで、安定的なエネルギー供給を目指すとしている。EREC、グリーンピース・インターナショナル (GPI) の各シナリオでは、風力と太陽光が2050年の自然エネルギー源の主力となるということと一致しているが、その内訳は、エネルギー需要側のセクター別 (電気、熱、燃料) でかなり異なっている。

<sup>14</sup> EREC Re-Thinking2050 <http://www.rethinking2050.eu/>

### インフラの整備の重要性

自然エネルギー100%導入に向けた継続的な資本投資の活性化によるインフラの整備の重要性が指摘されている。たとえば、ECFのRoadmap 2050においては、遅くとも2015年まではインフラの整備が必要であり、2025年までには電力セクターへの年間資本投資を650億ユーロに増やす必要があると述べられている。仮にインフラの整備が10年遅れると、2035年の年間資本投資額は900億ユーロを超え、許認可や行政計画、規制、政治改革の必要性が増加し、短期的に資源・人材・建築ノウハウの不足を招く恐れがあるため、迅速な対応を促している。

インフラの整備の内容としては、効率のよい発電、輸送・建築インフラの低炭素化、系統の接続、国家の垣根を越えた技術開発などがあり、インフラ投資とともに政策協力が重要であると指摘している。今後のインフラとして注目すべきは欧州の主要な送電網となるEU高圧直流送電網（スーパーグリッド）である。スーパーグリッドは、主に需要側に焦点をあてたスマートグリッドと対照的に、主に供給側で地域間、ときには大陸間での送電網を整備することで、変動型の自然エネルギーを大量に導入することを目的としている。たとえば、スコットランド北海岸沖にある風力発電と、ドイツに並べられた巨大な太陽光パネル、ベルギーとデンマークの海岸に打ち寄せる波力発電、ノルウェーのフィヨルドにある水力発電ダムをつなぐことで、大規模に自然エネルギーを導入できる。さらに、各家庭のスマートメーターといった機器をつなげば、需要に応じた自然エネルギーによる電気の供給も可能となる。そのため、欧州の関係9カ国（ドイツ、フランス、ベルギー、オランダ、ルクセンブルク、デンマーク、スウェーデン、アイルランド、英国）では、予算額300億ユーロで、2020年までにこのスーパーグリッドを建設する計画が検討されている。

## 4.3 国内の自然エネルギー長期シナリオ

### 4.3.1 概要

2008年7月に自然エネルギー関係団体を中心に「自然エネルギー政策プラットフォーム（JREPP）」が設立された。JREPPは、日本が自らの目標を持ち、気候変動対策にどれだけの貢献が出来るか、とりわけイノベーションの核となる自然エネルギーの可能

性に注目し、日本の長期ビジョンを「2050年自然エネルギービジョン」として発表した。

このビジョンでは、2050年の日本の姿として、エネルギー起源のCO2排出量の75%以上削減（2000年比）と、エネルギー自給率50%の達成を目標として検討した結果、国内電力需要の67%を自然エネルギーにより供給し、一次エネルギー供給比においても自然エネルギーを50%以上とすることは可能としている。こうした長期ビジョンを実現するためには、長期的な高い数値目標とそれに対する政治的なコミットメント、賢く機能する自然エネルギー導入政策が不可欠である。JREPPは、固定価格買取制度（FIT）をはじめ、自然エネルギー事業の財務面でのリスクを長期間にわたって低減するための透明で安定した「自然エネルギー市場」を創ることなど、本ビジョン実現のためのさまざまな政策提言を行っている。

### 4.3.2 長期シナリオの検討手法

JREPPの長期シナリオの検討では、エネルギー需要モデルとして、国立環境研究所らが作成した「2050日本低炭素社会シナリオ」の中のゆとりと分散型・コミュニティ重視の“シナリオB”をもとに、民生部門のエネルギー需要を若干修正した上で採用した。その結果、2050年における大幅なエネルギー消費削減を前提としている。エネルギー供給については、国内エネルギー資源としての自然エネルギーの可能性を最大限利用するため、表4-1のとおり自然エネルギー源別の供給シナリオとして、自然エネルギー関係団体（風力、太陽光、太陽熱、地熱、小水力など）から導入可能性やその考え方を提示してもらい、整理・検討を行った上でビジョンに盛り込んだ。さらに達成すべき制約条件となる長期目標として、自然エネルギーの一次エネルギー供給比率を50%以上とし、CO2排出量を70%以上削減（2000年比）とした上で、化石燃料（石炭、石油、天然ガス）および原子力の利用は必要最小限に限定している。

表 4-1 自然エネルギー供給のシナリオ検討団体

種別	団体名
風力	日本風力発電協会 (JWPA) 風力発電事業者懇話会
太陽光	環境エネルギー政策研究所 (ISEP)
太陽熱	ソーラーシステム振興協会
地熱	日本地熱学会 日本地熱開発企業協議会
小水力	全国小水力利用推進協議会
バイオマス	環境エネルギー政策研究所 (ISEP)

とくに自然エネルギーによるエネルギー供給とエネルギー需要の考え方は以下のとおりである。

#### (1) 電力供給

供給ポテンシャルを最大限生かし、大規模な風力発電、地熱発電を導入し、水力やバイオマス、太陽光も積極的に導入する。既存の電源（とくに石炭、石油、原子力）は、段階的に削減することを想定した。調整電源として天然ガスと揚水発電を主力とし、残る石炭火力は高効率を想定した。系統全体の調整力は、現状の体制やシステムから抜本的に変わっていることを想定した（需要側の調整、需要側の分散蓄電池、日本全体での柔軟な需給調整、自然エネルギー側の出力調整、国際間連系など）。

#### (2) 分散電源

熱供給も同時に可能な分散型電源を積極的に導入する（バイオマス、地熱など）。太陽光発電を分散電源の主力としてほとんどの建物に導入する。産業分野の分散電源は、国立環境研究所のシナリオBをベースとする（製紙など）。

#### (3) 熱利用

家庭や業務部門では太陽熱、バイオマス、地熱、高効率ヒートポンプを積極的に利用する。産業部門の熱供給・需要は、国立環境研究所のBシナリオをベースとする。家庭部門の熱需要のうち、暖房については高断熱化が進むことを想定する。

#### (4) 燃料利用

脱化石燃料を達成し、国際的な持続可能なバイオマス利用（第2世代エタノール）を想定してバイオ燃料を導入する。想定としては電力や水素シェアの拡大もあり得る。

### 4.3.3 供給シナリオ

この「2050年自然エネルギービジョン」の供給側は、各自然エネルギー関係団体が自然エネルギーの供給ポテンシャルを最大限考慮し、個別に作成したシナリオをベースにしている。各自然エネルギー団体からの試算による自然エネルギー源別の2050年の電力および熱の供給シナリオの概要は以下のとおり。

#### (1) 中小水力発電

既存発電所（発電容量2008万kW、年間発電量779億kWh）は長期にわたり十分に保全されるとした上

で、新設分については中小・流れ込み式を前提とする。1000kW以上1万kW以下の流れ込み式の中小水力発電については、資源エネルギー庁の包蔵水力調査（2007年末現在）の結果に対して50%の発電設備容量である450万kW、年間発電量230億kWhとなる。一方、1000kW未満の新設を想定すると、溪流部分で280万kW、用水路などで22万kW、年間発電量の合計は185億kWhとなる。これらの新設分と既設を合わせて発電設備容量が2760万kW、年間発電量が1194億kWhとなる（全国小水力利用推進協会による試算）。

#### (2) 地熱発電

日本地熱学会を中心に検討を行った「ドリームシナリオ」を全面的に採用した。2050年の開発目標値を重力基盤深度以浅150℃以上の50%が開発可能とし、設備利用率は80%と仮定して電力量を算出した。地熱開発の重点地域に周辺有望地域などを加え、還元熱水や温泉の余熱を利用した温泉発電を加え、1223万kWを想定した。

#### (3) 太陽光発電

太陽光発電協会が2006年に発表した「太陽光発電産業自立に向けたビジョン」の2030年導入目標値8280万kWをベースに、2050年には全住宅（4200万戸）の75%に導入される高い導入目標値として、設備容量1億4267万kWを想定する。この場合の年間発電量は1500億kWhとなり、総電力需要の18%に達する非常に高い目標になっている。

#### (4) 風力発電

日本風力発電協会および風力発電事業者懇話会が検討した「風力発電長期導入目標値と目標値達成に向けた提言」において、2050年の導入目標値を提言している。各電力会社管内の風力発電貯存量は合計8100万kWとなるが、電力会社ごとの系統制約により総需要電力量に対する割合を考慮する必要がある。最も高い長期導入目標値を採用した場合を「ビジョン」と称し、総需要電力量の10%を風力発電で供給する。この場合、陸上風力は2006年度までの導入ペースを維持して2030年には710万kW、一方、洋上風力を2011年から導入を開始し、2050年には陸上と合わせて設備容量5000万kWが目標値となる。

#### (5) バイオマス発電

日本国内で供給可能なバイオマスとして木質、農業、畜産、廃棄物（食品、汚泥）などの供給ポテンシャル

ルを考慮し、供給可能量を推計した。とくに木質系バイオマス全体の供給量は、人工林や薪炭林の成長量から推計される供給量を含め1088PJとなり、バイオマス全体（1779PJ）の61%に達すると推計される。バイオマス発電としては、電気事業者による発電量が359億kWh、各事業者や施設などでの分散電源による発電量が823億kWhとなり、発電設備容量は1588万kWを想定している。熱利用可能な分散電源（コジェネレーション）を中心に構成されており、分散電源では製紙工場における黒液利用に加え、他の産業の自家発電や地域熱供給においても化石燃料の代わりにバイオマス燃料が大幅に導入される。

#### (6) 太陽熱利用

ソーラーシステム振興協会により2050年の太陽熱利用の導入ポテンシャルの試算が行われた。戸建住宅への設置は太陽熱温水器（3㎡）およびソーラーシステム（6㎡）を想定し、集合住宅に対しては比較的小型の集熱器（2㎡）を想定した。2050年の総住宅戸数4200万戸に対して、設置可能戸数76%で太陽熱利用が可能と想定すると、戸建・集合住宅で給湯205PJ、暖房19PJの供給が可能となる。業務用施設については、給湯負荷の大きい業種の建物を対象とし、全施設の76%で太陽熱が利用可能と想定した。飲食店、宿泊施設および老人福祉施設など8種類の業種ごとに使用する太陽熱集熱器の面積を考慮して推計した結果、給湯57PJ、暖房11PJを供給できる。

#### (7) 地熱利用

発電と同じ「ドリームシナリオ」を採用し、温泉などからの従来の地熱直接利用に加え、地熱発電還元熱水や温泉発電の排熱を積極的に利用する。さらに、温泉利用代替による燃料削減効果も合わせて113PJを想定している。

#### (8) バイオマス熱利用

木質系バイオマスなどを直接燃焼し、産業用ボイラー、家庭や業務の暖房・給湯に利用、また、廃棄物などからのバイオガスを厨房に利用する。全体の熱供給量を715PJと想定している。民生部門では、暖房・給湯に対して高効率ヒートポンプの利用を大きく見込み、給湯での太陽熱の利用も考慮したバイオマスの熱利用の量は国立環境研究所のシナリオBよりも小さくなっている。産業部門では、農業分野でのバイオマス熱利用が増え、近隣の山林からの残材等の活用が広がるとともに、農業系や畜産系バイオマスの利用が活発になると想定される。

### 4.3.4 長期シナリオの検討結果

#### (1) 電力供給の姿

図4-5には、本ビジョンの検討結果として2050年のエネルギー源別の系統電力および分散電源を合わせた電力量の比率を示す。これによると、太陽光、バイオマス、水力、風力、地熱などの日本国内の自然エネルギーを用いた発電により、国内電力需要の67%が賅われる。表4-2に示すように系統電力に対して、太陽光やバイオマス発電などの分散電源の普及が進み、日本全体の電力量需要についても年間8397億kWhまで減少する（2000年1兆427億kWh）。図4-6(a)(b)（P76）には、2000年および2050年のエネルギー源別の電力量と発電設備容量を示す。

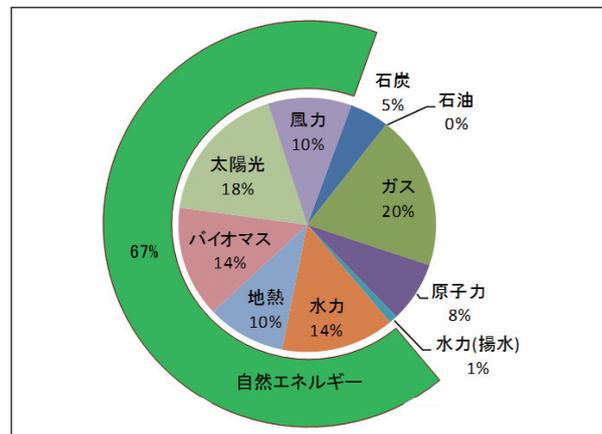


図 4-5 2050 年のエネルギー源別の電力量の割合

表 4-2 2050 年の電力供給の姿

種別	系統電源	分散電源	電力量合計 [億 kWh]	設備容量 [百万 kW]
石炭	300	115	415	5.6
石油	0	0	0	0.0
ガス	1,289	353	1,642	34.2
原子力	644	0	644	11.0
水力(揚水)	87	0	87	19.8
水力	1,181	13	1,194	27.6
地熱	720	137	857	12.2
バイオマス	359	823	1,182	15.9
太陽光	150	1,350	1,500	142.7
風力	876	0	876	50.0
合計	5,605	2,792	8,397	318.9
自然エネルギー比率	59%	78%	67%	78%

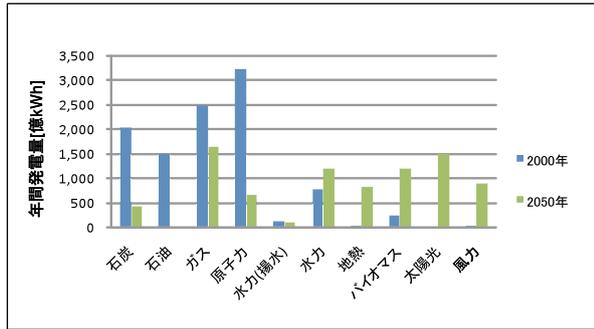


図 4-6(a) 2000 年および 2050 年の年間電力量

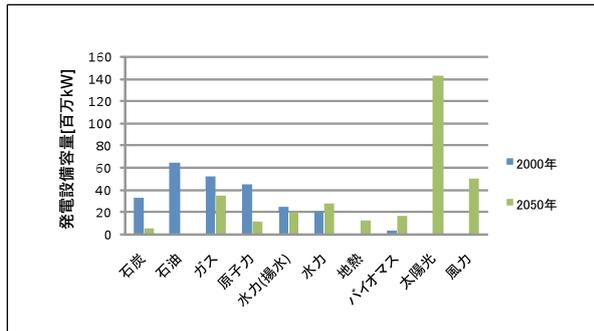


図 4-6(b) 2000 年および 2050 年の発電設備容量 (エネルギー源別)

## (2) 熱需要の姿

図4.7に示すように、本ビジョンでは2050年には国内熱需要の約30%を自然エネルギーで賄う。表4.3に示すように部門別では、家庭部門および業務部門は電力利用分を除き、100%自然エネルギーを利用している。産業部門は、国立環境研究所シナリオBとほぼ同じ熱需給を想定しているため、自然エネルギー比率は12%程度に留まる。家庭部門では、太陽熱や地中熱の利用が進み、業務部門ではバイオマスや地熱が積極的に利用されている (図4.8)。産業部門の熱需要については、石炭や石油の利用が大幅に減少し、ガスへの燃料転換が進んでいると想定しているが、さらなる産業構造の転換や代替エネルギーへの移行が必要とされる (図4.9)。

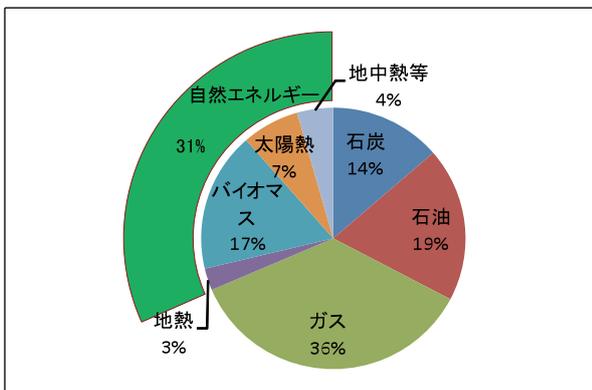


図 4-7 2050 年のエネルギー源別の熱利用の割合

表 4-3 2050 年の部門別の熱利用量 (単位: PJ)

種別	産業	家庭	業務	全体
石炭	565	0	0	565
石油	789	0	0	789
ガス	1,484	0	0	1,484
地熱	0	13	100	113
バイオマス	380	102	232	715
太陽光	0	224	68	292
地中熱等	0	76	107	183
合計	3,218	414	506	4,140
RE 比率	12%	100%	100%	31%

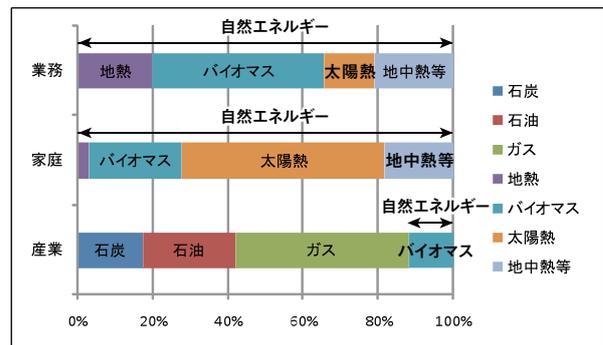


図 4-8 2050 年の部門別の熱利用の内訳

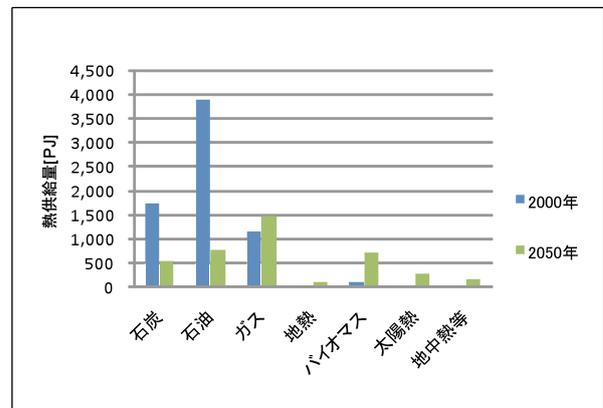


図 4-9 エネルギー源別の熱利用量

## (3) 燃料需要の姿

高効率化やモーダルシフトにより燃料需要を70%以上削減 (国環研シナリオB)。脱化石燃料を達成し、バイオマス (1072PJ相当) を燃料に全面的に利用することを仮に想定した。

### ① バイオマスの燃料利用 (バイオ燃料) に関する前提および想定

今回のシナリオでは、簡便のために、国産バイオマスは基本的に電力・熱で利用し、輸送燃料に必要なバイオ燃料は全量を輸入で賄うことと想定したが、当然のことながら、国産バイオ燃料の製造や輸

入バイオマス発電に用いることは生じうる。また、バイオ燃料の国際取引をめぐって、食糧や生態系、途上国の開発に影響を与える懸念もあるため、今回の想定はあくまで「仮」という位置づけである。とはいえ、今回のシナリオは輸送燃料に関して、燃費向上とモーダルシフトなどできわめて大胆な削減が織り込んである。それでもなお、必要な代替燃料は相当量に上るため、「持続可能な輸送燃料」に関する現実的なオプションが必要とされる。今回は、それを「輸入を主体とする認証された第2世代エタノール」と仮想定した。本シナリオではバイオ燃料を主オプションに位置づけたが、今後の技術進化によっては電気自動車や水素を排除するものではない。

## ②電気自動車や水素利用の考え方

本ビジョンは、スウェーデンの輸送燃料シフトのシナリオを参考にする。すなわち、徹底的な（ストックでの）燃費向上で半減以下を目指すというものである。そして、第2世代エタノール（セルロースからの合成エタノール）への転換を中心に考える（全量輸入を想定）。また、電気自動車（+プラグインハイブリッド）も想定するが、水素（燃料電池）は現時点では考えない。

## (4) CO2排出量とエネルギー自給率

2050年には日本国内のエネルギー起源のCO2排出量を75%以上削減する（2000年比）。一次エネルギー供給のほぼ60%を自然エネルギーで賄うことによりエネルギー自給率50%以上を達成している（表4.4）。図4-10には、エネルギー源別の一次エネルギー供給量を2000年と2050年で比較して示す。図4-11には、2050年の一次エネルギー供給量のエネルギー源別の比率を示す。

表 4-4 2000 年および 2050 年の評価指標

評価指標	2000 年	2050 年
CO2 排出削減率	基準年	76.1%
自然エネルギー比率	5.4%	59.7%
エネルギー自給率	5.4%	51.0%

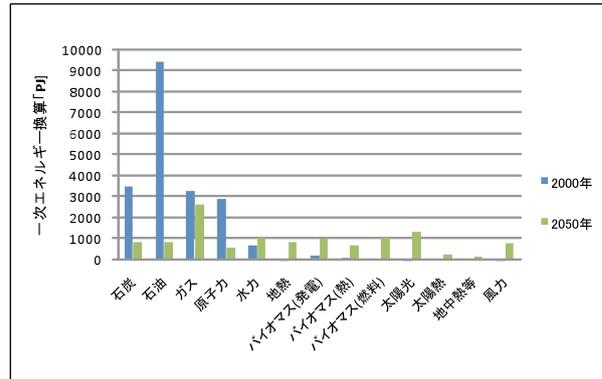


図 4-10 2050 年の一次エネルギー供給量

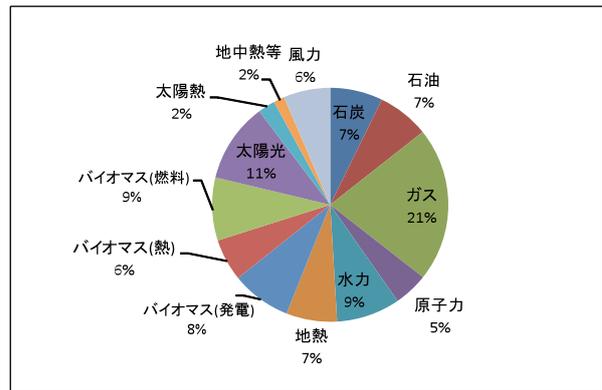


図 4-11 2050 年の一次エネルギー供給量比率

## 4.3.5 風力発電の長期シナリオ

### (1) 長期目標

日本風力発電協会（JWPA）は、2050年までの中・長期導入目標を策定し、関係省庁への要望書や自然エネルギーに関するセミナーなどにおいて、日本国内での風力発電の導入目標値を長期シナリオとして以下のとおり公表している。

- ☆中期導入目標値（2020年）：1100万kW以上
- ☆中期導入目標値（2030年）：2700万kW以上
- ☆長期導入目標値（2050年）：5000万kW以上  
（国内需要電力量の10%に相当）

この導入目標値を算出する手順は、以下のとおりである。

①『2050年度までに、風力発電による電力量供給比率を、2009年度における日本の全需要電力量の10%以上とする』=5000万kW

### ②開発率の設定

北海道、東北、東京、中部、中国、四国、九州、沖縄は、全発電設備容量に比して風力発電設備の容

量が50%を超過しているため、電力需給制御面などに問題を生じる可能性があることから、陸上風力の開発率を50%、着床式洋上風力の開発率を40%、浮体式洋上風量の開発率を30%に設定。

- ③発電設備容量、需要電力量による制限と補正
- 各電力会社における風力発電設備容量(kW)比を50%未満とする。
  - 各電力会社における風力発電電力量供給(kWh)比を20%未満とする。
  - kW比またはkWh比により制約を受けた電力管内は、その値の5%以内で目標値を低減する。
  - 設定開発率では必要な設備容量に達しない電力管内以外は、その値の5%以内で目標値を増加する。
  - 沖縄は、他電力と連系していないことなどから上記補正を行わず、沖縄電力管内における需要電力量の10%供給に必要な風力発電設備容量とする。

④方式別風力発電設備容量を設定  
各電力管内の風力導入目標値を達成する風車方式(陸上、洋上)は、各電力管内の平均風速や方式別のポテンシャルなどにより決定する方式も考えられるが、ここでは、仮設定した開発率に基づく各電力管内における陸上、洋上(着床)、洋上(浮体)の設備容量比を基準にする。

⑤これまでの単年度導入実績に基づく成長曲線などから目標値達成の成長曲線を設定し、2050年度までの導入目標値に展開する。

図4-12および表4-5に、中・長期導入目標値と風車構成を示す。

中・長期導入目標値による地域別導入量試算結果を図4-13および表4-6に示す。

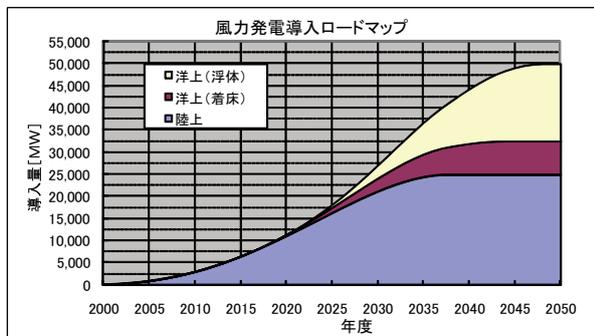


図4-12 中・長期導入目標値と風車構成 (出典：JWPA)

表4-5 中・長期導入目標値と風車構成

年度	風力導入目標値[MW]			合計
	陸上	着床	浮体	
2008	1,854	0	0	1,854
2010	3,000	0	0	3,000
2015	6,500	10	0	6,510
2020	11,100	200	10	11,310
2025	16,300	1,200	600	18,100
2030	21,200	2,900	2,900	27,000
2035	24,500	5,100	7,100	36,700
2040	25,000	7,000	12,300	44,300
2045	25,000	7,500	16,600	49,100
2050	25,000	7,500	17,500	50,000

(出典：JWPA)

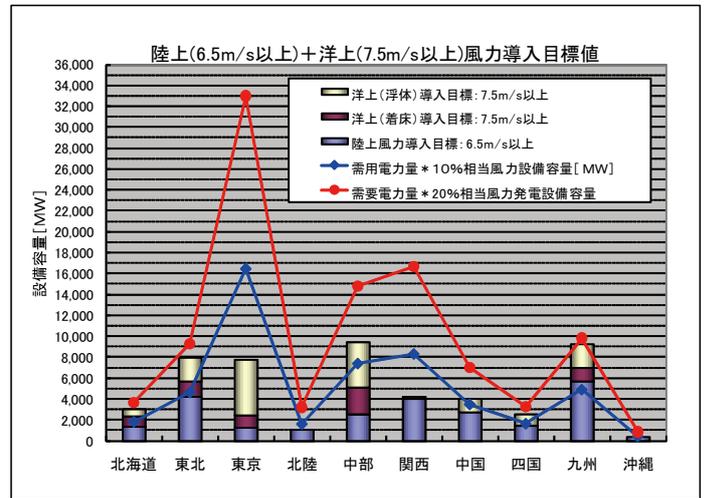


図4-13 地域別導入量試算結果 (出典：JWPA)

表4-6 地域別導入量試算結果

電力会社	発電設備容量 MW	km <sup>2</sup> 当り10MWで計算風車容量 [MW]			風力長期導入目標値 (陸上) MW	管轄区域 (陸上) 面積 km <sup>2</sup>	管轄区域(陸上)面積に対する風力建設面積比率(土地改変面積比率ではない)		
		陸上	洋上(着床)	洋上(浮体)			陸上	洋上(着床)	洋上(浮体)
北海道	6,505	1,400	1,000	700	3,100	79,094	0.18%	0.13%	0.09%
東北	16,800	4,200	1,500	2,300	8,000	79,895	0.53%	0.19%	0.29%
東京	63,981	1,300	1,200	5,300	7,800	39,534	0.33%	0.30%	1.34%
北陸	7,962	1,100	0	0	1,100	12,566	0.88%	0.00%	0.00%
中部	32,626	2,600	2,500	4,400	9,500	38,965	0.67%	0.64%	1.13%
関西	33,865	4,000	0	200	4,200	28,760	1.39%	0.00%	0.07%
中国	11,826	2,800	0	1,200	4,000	31,919	0.88%	0.00%	0.38%
四国	6,665	1,500	0	1,100	2,600	18,790	0.80%	0.00%	0.59%
九州	20,023	5,700	1,300	2,300	9,300	42,039	1.36%	0.31%	0.55%
沖縄	1,925	400	0	0	400	2,233	1.79%	0.00%	0.00%
合計	202,177	25,000	7,500	17,500	50,000	373,796	0.67%	0.20%	0.47%

(出典：JWPA)

(注) 面積比率は、風車配置を10D×3Dとした場合における値(10MW/km<sup>2</sup>)である。D=ブレード径

実際の土地改変面積は、陸上風力で2MW~3MW機の場合、風車基礎・建設用地とメンテナンス道路の合計で約1haであることから、表4-6に示した面積比率の約1/20となる。

## (2) 長期シナリオ実現のための政策提言

風力発電は、地球温暖化対策のみならず、エネルギー安全保障、産業・雇用効果を含めた総合的な経済効果の観点からも、世界的に自然エネルギーの切り札として中・長期導入目標が定められ、生産設備の新增設が進められている。しかしながら、系統連系対策や新機種の開発・投入には10年単位での期間を要する場合が多く、つねに10年先を見越した対策の実施が必要である。

日本の中・長期導入目標（2020年、2030年、2050年）が、日本風力発電協会の導入目標値と同等な値に設定される事を前提にした対策は以下のとおり。

① 2020年の目標値（1100万kW以上）実現のために2010年頃までに開始

### 系統連系対策

- ・主に深夜帯の会社間連系線と個別制御蓄電池システムを活用した風力開発の実施
- ・グループ制御方式蓄電システムを活用した風力開発の実証
- ・ウインドファーム制御機能（最大出力制限、出力上昇率制限、無効電力・電圧制御）を活用した風力開発の実施
- ・風況の良い地点への送電線・会社間連系線、電力貯蔵設備および調整電源の新增設計画の策定

### 調査・研究開発

- ・気象予測システムを取り入れた50（60）Hz系統の広域系統運用システムの実証
- ・着床式洋上風力の実証
- ・浮体式洋上風力の研究

② 2030年の目標値（2700万kW以上）実現のために2020年頃までに開始

### 系統連系対策

- ・グループ制御方式蓄電池システムを活用した風力開発の実施
- ・風況の良い地点への送電線・会社間連系線の新增設実施
- ・風況の良い地点への電力貯蔵設備、調整用電源の新增設実施（集中制御方式蓄電システム、揚水発電、コンバインド火力など）

### 調査・研究開発

- ・気象予測システムを取り入れた50（60）Hz系統の

広域系統運用システムの実施

- ・浮体式洋上風力の実証

③ 社会環境、経済環境などに応じて、継続的に実施

### 事業性の確保

- ・風力発電による発電電力の適正買取価格設定（FIT）
- ・風力発電による発電電力の買取期間延長（設計耐用年数との整合）

### 規制・制度の緩和と創設

- ・自然公園、農地および林地への風力発電導入促進と申請の簡素化
- ・建築基準法における風力発電に対する超高層建築物並みの要求基準緩和
- ・地元へのインセンティブ付与

## 4.3.6 地熱エネルギーの長期シナリオ

日本地熱学会は、日本国内での地熱エネルギー供給の長期シナリオを検討した。この長期シナリオは2050年自然エネルギービジョンに反映するために、2008年に作成されたものである。長期シナリオには、「ベースシナリオ」「ベストシナリオ」「ドリームシナリオ」があり、各シナリオで予測される地熱エネルギーにより供給される電力量や熱量を2005年、2020年そして2050年の3段階に分けて表4-7（P80）に示す。

### (1) 地熱発電

地熱発電のベースシナリオは、「平成13年度地熱開発促進調査開発可能性調査」<sup>15</sup>による重点地域開発可能資源量950MWを2050年に100%開発するとし、それを達成するための2020年開発目標値を10.3MW<sup>16</sup>とした。また、電力量は設備利用率を70%として算出した。

地熱発電のベストシナリオは、2050年の重点地域開発可能資源量950MWに周辺有望地域950MWを加えて開発目標値とした。2020年の開発目標値は現状から2050年目標値に到達するとしたときの中間値である。電力量は設備利用率を70%として算出した。

地熱発電のドリームシナリオにおける2020年の開発目標は、ベストシナリオの2050年開発目標を前倒ししたものとした。このドリームシナリオの2050年開発目標値では、「日本の地熱資源評価に関する研究」<sup>17</sup>による重力基盤深度以浅150℃以上（蒸気型発電とバイナリー型発電を対象）の50%が開発可能とした。電力量は設備利用率を80%として算出した。

<sup>15</sup> NEDO-NEF、2002

<sup>16</sup> 「展望 地熱発電 2040年」

<sup>17</sup> 地質調査所、1991

なお、2005年の電力量は「地熱発電の現状と動向」<sup>18</sup>による。各シナリオの電力量は、地熱発電と温泉発電の合計である。

一方、温泉発電のベースシナリオは、使用可能温度範囲は100℃から53℃までで、その60%を使えるとした。そのとき温泉総湧出量が毎年4万3600L/min増えるとした<sup>19</sup>。また、2050年に至る過程として、2020年の中間値を同年の開発目標値とした。電力量は設備利用率を70%として算出した。

温泉発電のベストシナリオ、ドリームシナリオは、ベースシナリオの温泉余熱による発電に加えて、地熱発電の還元熱水が発電に使えるとした。「地熱発電の現状と動向」<sup>20</sup>に記載されている還元熱水量から単位電力当たりの平均還元熱水量を求め、2020年、2050年の電力値に乗じて各年の還元熱水量を算出した。設備利用率をベストシナリオでは70%、ドリームシナリオでは80%として電力量を算出した。

## (2) 地熱の熱利用

各シナリオの熱量の導入予測は、直接熱利用、温泉利用代替、地中熱による熱量の合計である。ただし、地中熱の冷房利用についてはなしとしている。

直接熱利用のベースシナリオは、現状値から主に地域暖房が増加するとした。すなわち日本の寒冷地について、人口当たりの増加率を地域暖房が普及しているトルコ並みとして算出した。

直接熱利用のベストシナリオは、温泉発電のベ

ストシナリオに用いた温泉と地熱発電還元熱水の量をベースとした。すなわち温泉余熱の25%と還元熱水余熱の10%を使用し、利用の下限を2020年は45℃、2050年は20℃、利用率は39%とした。そのことにより、単位水量当たりの使用熱量が1.5倍になるとした。

温泉利用代替は、42℃以上の温泉は15℃の水を42℃まで加温するエネルギーを得ていると考え、利用率を39%として求めた。

ベースシナリオでは、温泉総湧出量の現状値を環境統計集「温泉利用状況」<sup>21</sup>から求め、温泉発電の項で述べたように、温泉総湧出量が毎年4万3600L/min増えるとしてそれを加算した。

ベストシナリオとドリームシナリオでは、これに加え温泉発電の項で考慮した地熱発電還元熱水の量の25%が温泉として使えるとし、利用率を39%として求めた。

一方、地中熱は運転効率80%、ヒートポンプのCOPを3、地中から取り出すエネルギー量は機器能力の約50%、暖房のための運転時間を900時間と仮定した。

施設の形態に応じ、2010～2015年に新築の5%に導入を開始し、シナリオ別に毎年の増加率をベース1%、ベスト2.5%、ドリーム5%とした。大型の施設については、ベース、ベスト、ドリームの順に従って設置箇所数が増え、敷地面積も増えていくとした。

なお、温水や蒸気などの地熱の熱利用の現状値(2005年)は、「日本の地熱直接利用の現状」による。

表 4-7 シナリオ別の地熱エネルギーの導入予測

		現状 (2005年)	2020年	2050年
ベースシナリオ	電力量(億kWh)	32.7	48.1	156.6
	地熱発電	32.7	37.6	91.0
	温泉発電	0.0	10.5	65.6
	熱量(PJ)	41.5	62.6	120.9
	直接熱利用	4.9	8.8	16.4
	温泉利用代替	36.5	45.2	62.6
	地中熱	0.0	8.6	41.8
ベストシナリオ	電力量(億kWh)	32.7	77.9	253.3
	地熱発電	32.7	63.9	171.0
	温泉発電	0.0	14.0	82.3
	熱量(PJ)	41.5	70.7	162.4
	直接熱利用	4.9	9.9	21.9
	温泉利用代替	36.5	46.1	65.2
	地中熱	0.0	14.7	75.2
ドリームシナリオ	電力量(億kWh)	32.7	190.3	826.1
	地熱発電	32.7	171.0	720.0
	温泉発電	0.0	19.3	106.1
	熱量(PJ)	41.5	104.1	311.6
	直接熱利用	4.9	18.3	39.3
	温泉利用代替	36.5	47.8	73.5
	地中熱	0.0	37.9	198.8

(出典：日本地熱学会)

<sup>18</sup> 火力原子力発電技術協会「地熱発電の現状と動向」、2006

<sup>19</sup> 温泉総湧出量と湧出量の増加率は、環境省(2007)の環境統計集「温泉利用状況」による。

<sup>20</sup> 火力原子力発電技術協会「地熱発電の現状と動向」、2006

<sup>21</sup> 環境省、2007