

エネルギー [r]eボリューション

日本の持続可能なエネルギーアウトルック



© GP/NAOMI TOYODA

© GP/NTSCH

GREENPEACE

目次

発刊に寄せて	3
序	4
要約	6
第1章 政策	9
第2章 エネルギー[r]eポリューション	12
第3章 エネルギー資源と供給保障	16
第4章 コスト見通し	20
第5章 エネルギー供給シナリオ	24
第6章 日本のエネルギー[r]eポリューション・シナリオ	28
第7章 政策提言	37
付属資料	39
あとがき	43

エネルギー に[r]eポリューション

原題：energy [r]evolution 日本の持続可能なエネルギーアウトック

発行：グリーンピース・インターナショナル／欧州再生可能エネルギー評議会（EREC）

シミュレーション（ベースはOECD太平洋地域シナリオ）：DLR, Institute of Technical Thermodynamics, Department of Systems Analysis and Technology Assessment, Stuttgart, Germany: Dr. Wolfram Krewitz, Dr. Sonja Simon, Dr. Thomas Pregger, Ecofys BV, (Demand Projection), P.O. Box 8408, NL-3503 RK Utrecht, Kanaalweg 16-G, NL-3526 KL Utrecht, The Netherlands: Wina Graus, Eliane Blomen

エネルギーモデル：MESAP/PLaNet

リサーチ協力：特定非営利活動法人 環境エネルギー政策研究所（ISEP）
〒164-0001 東京都中野区中野4-7-3 TEL:03-5318-3331 FAX:03-3319-0330
<http://www.isep.or.jp> 大林ミカ、飯田哲也、松原弘直

欧州再生可能エネルギー評議会（EREC）担当者：Arthouros Zervos, Oliver Schäfer

グリーンピース・インターナショナル担当者：Sven Teske, Athena M. Ronquillo Ballesteros

グリーンピース・ジャパン担当者：鈴木真奈美、城川桂子、Mhairi Dunlop

プロジェクトマネージャー&主著者：Sven Teske, Greenpeace International

英文編集：Mhairi Dunlop

デザイン&レイアウト：Tania Dunster, Jens Christiansen, onehemisphere, Sweden

エネルギー[r]eポリューション（energy [r]evolution）の[r]eポリューションとは、英語のrevolution（革命）とevolution（進化）の2つの意味をかねています。[r]は、電気工学において電気「抵抗」（r:resistance）を表しますが、ここでは環境負荷を増大させるエネルギー政策に対する「抵抗」を意味しています。なお本書の文責は、グリーンピース・インターナショナルとグリーンピース・ジャパンにあります。

日本語版制作・発行：特定非営利活動法人 グリーンピース・ジャパン 2008年12月発行（要約版2008年6月発行）

〒160-0023 東京都新宿区西新宿 8-13-11 N・Fビル2F

TEL:03-5338-9800 FAX:03-5338-9817

<http://www.greenpeace.or.jp>

この冊子のカラー版PDFファイルはグリーンピース・ジャパンのサイト（<http://www.greenpeace.or.jp>）より入手できます

日本語版DTP制作：荒川俊児 印刷：アクティブサービス

【表紙写真】青森に設置された「市民風車」。市民の出資で建設された大型の風力発電機が日本の各地で運転している。

【本写真】水田に映る風車。5月半ばの北日本。

発刊に寄せて



将来のエネルギーは、これまでのような需給構造から脱却する必要があるとの認識が、いま、世界で高まりつつある。エネルギー安全保障だけが理由ではない。燃料の燃焼がもたらす汚染の抑止が急務であること、そして気候変動に対する取り組み、すなわち二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの大幅削減が強く求められているためだ。

この報告書シリーズは、もうすぐ実用化される、あるいは近い将来に実用化が見込まれている技術を幅広く検討し、示唆に富む将来シナリオを提供している。最新技術はもとより、現存する技術を十分に活用することが、温室効果ガスの排出を抑制するうえでもっとも効果的であるのは、誰もが認めるところだ。国際エネルギー機関（IEA）も、以前は単一のエネルギー・パス（道程）にもとづく需給予測だけだったが、いまでは将来の技術変革を取り入れた代替シナリオも作成するようになった。「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）の第4次評価報告書が、技術評価を横断的なテーマとして取り上げているのも、気候変動に対する緩和策と適応策にとって、どのような技術を選択するかが重要となるからだ。

気候変動対策の緊急性を示す科学的根拠は、ますます強固かつ確実になってきている。温暖化対策の成否は、現存する自然エネルギー技術の利用、エネルギー効率の一層の向上、分散型エネルギー技術の普及と選択肢の拡大などが、今後、どれほど進むかにかかっているといえよう。多くの文献や事例を調査・分析した本書は、エネルギー技術の導入を検討する際、有用な情報を提供してくれるだろう。この分野の関係者はもとより、これらの問題に関心をもつ一般読者も、本書から得るところが大きいに違いない。

2007年1月



R・K・パチャウリ博士

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）議長

序

「自然エネルギーはすでに実証された技術であり、
導入を進めてきた国々によって十分な実績もつくりられている」



ドイツ北部ロストック港において、沖合い条件で試験運転中の独・ノルデックス社製風力発電機N90 2500。定格出力2.5メガワット。少なくとも10基の同型機が、2007年までにバルチック海の沖合20キロメートルの小島に設置される予定だ。

2007年夏、埼玉県熊谷市で観測史上最高の40.1℃を記録した。この記録もそう遠くないうちに更新されるだろう。大型台風の影響や洪水など、このところの異常気象は誰もが実感しているに違いない。これは世界的な傾向である。

地球は「奇跡の星」と呼ばれる。さまざまな偶然と二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスのおかげで、地球は生命の棲める星になった。太陽系のなかで生命の存在が確認されているのはこの惑星だけである。46億年という地球の歴史上、気温は大きな周期で幾度かの変化を経てきた。現在は暖かい時期（間氷期）にある。だが、いま危ぶまれている温暖化がこれまでの自然現象と異なるのは、100年ほどのあいだに気温が急上昇している点だ。2007年に発表された「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）の第4次評価報告書は、その原因は人間活動にあるとほぼ断定している。その主要なものはエネルギー（主に化石燃料）の大量消費である。

工業化にともない多くのエネルギーを使うようになった19世紀半ばから、大気中の温室効果ガス濃度が増え、とくに20世紀に入ってからは急激に増加している。IPCCはこのまま何も対策をとらずにいと、今世紀末までに世界の平均気温は最大6.4℃まで上昇すると予測している。

気候の激変に適応できず絶滅する生物種が増えるだろう。IPCCのモデルは、平均気温の上昇幅が2℃を超えると最大で30%の種が絶滅

し、それをさらに上回ると地球規模で重大な絶滅のリスクがもたらされると示唆している。そして熱帯性低気圧（台風やハリケーン）や集中豪雨、熱波、干ばつが頻発し、食糧や水の不足、海面上昇、感染症の増加など、危機的な状況が起こりうると警告している。

では温暖化が危険なレベルに至るのを防ぐにはどうすればよいのか。IPCCは気温の上昇を2℃未満に抑えること、そのためには世界の温室効果ガス排出の増加を2015年頃に頭打ちとし、その後減少へと向かわせる必要があると指摘する。残された時間は多くない。

日本の温暖化政策

1992年、気候変動に関する国際連合枠組み条約（気候変動枠組み条約）が採択され、それをより具体化した取り決めとして1997年に京都議定書が採択された。その後、米国の離脱や各国の利害調整に時間がかかり、議定書はようやく2005年に発効した。

こうして京都議定書の第一約束期間（2008～2012年、日本は2008年4月1日から）がスタートした。議定書は先進国に対し1990年を基準年として、この期間の削減目標を国別に課している。日本の削減義務は6%だ。しかし2007年度（速報値）は90年比で8.7%増と増加しているので、実際には約15%もの削減を達成しなければならない。

この国際公約を守るには、実効力のある「国内」対策を早急に行動に移す必要がある。ところが日本政府の気候変動政策（「美しい星——

クールアース50」)は、2050年までに世界全体で温室効果ガス排出を半減しようと提唱しているものの、その達成に不可欠な中期目標を自ら掲げようとはしない。京都議定書目標達成計画に掲げられているのは、企業の自主行動と「1人1日1キロ削減」(「国民運動」)にみられる啓発活動、そして革新的技術の開発などで、法制的な措置を欠いている。これでは大幅な削減はとて望めない。

革新的技術には、たとえば高速増殖炉や炭素回収・貯留(CCS)のように、コストとリスクが高く、しかも半世紀たっても商業規模での実用化が疑問視されるようなものがあげられている。危険な気候変動の回避は、まさに時間との戦いだ。何十年か先に大規模な利用が可能になったとしても、それでは気温上昇を2℃未満に抑える役には立たないし、ましてや第一約束期間の目標達成には間に合わない。

90年代半ばから日本の温室効果ガスの排出量が増え続けているのは、発電部門からの二酸化炭素排出の増大に起因する。その原因のひとつは、課税率が低く比較的安価な石炭の利用が急増しているためだ。また日本政府は原子力発電が伸びることを前提に削減見込み量を算出しているが、電力の需給バランスや住民の反対などから増設は難しい。さらに事故や地震、不祥事などで原発の運転停止が相次ぎ、それが火力発電への依存を高め、結果的に二酸化炭素の排出量を増やしている。そこで政府は、いまある原発の設備利用率を最大88%まで引き上げることで目標を達成しようとしているが、現実にはここ数年の平均的な設備利用率は60%から70%前後と、88%にはほど遠い。原発に頼っていたのでは、確実な削減は達成できないだろう。

求められているのは実効力のある政策

排出が着実に減っている国々もある。たとえばドイツだ。同国は2003年までに1990年比で19%の削減に成功している。いくつかの理由が考えられるが、自然エネルギーの支援策を制度化することにより、その導入を大幅に伸ばしてきたのが効果をあげている。電力供給に占める自然エネルギーの割合は1998年から2007年のあいだに6%から12%へと倍増した。当初の目標は2010年までに12%だったから、3年も早く達成したことになる。ドイツ政府はこれを2020年までに20%以上に拡大することを目指している。おそらく目標はさらに引き上げられるだろう。

いっぽう日本はというと、電気事業者に自然エネルギーの利用を義務付けた、いわゆるRPS法(Renewable Portfolio Standard、「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」)が掲げる目標は、2010年度で販売電力量の1.35%、2014年度でも同1.63%と低く、極めて低い。本来なら自然エネルギーの普及を促進するはずのRPS法が、逆にその成長を阻んでいるのだ。

1990年当時、日本とドイツの風力発電事情は大差なかった。その後、政策の後押しで市場が拡大したドイツでは、風力発電の設備容量が急増し世界のトップランナーになった。太陽光発電でも、かつてのリーダーだった日本を抜いて世界一に。2007年には、天候がよい日は自然エネルギーの発電量が原発のそれを上回るまでに成長し、安定した供給源となっている。さらに自然エネルギー産業は、ドイツの経済や雇用にも貢献している。

自然エネルギーはすでに実証された技術であり、導入を進めてきた国々によって十分な実績もつくりられている。その普及は技術ではなく、

政策の問題である。

日本のエネルギー[r]eポリューション・シナリオ

グリーンピースは環境エネルギー政策研究所(IEEP)の協力を得て、日本のエネルギー需給のあり方を再構築するため本シナリオを作成した。このシナリオは二酸化炭素の大幅な削減を短期間で達成するとともに、エネルギーを合理的な価格で安定供給できること、そしてそれが日本経済にとっても有利になることを明らかにしている。エネルギー部門の変革は急務である。そこでここでは、すで実証されている自然エネルギーや分散型の効率的なコジェネレーション技術を中心に評価した。炭素回収・貯留技術や原子力発電は含んでいない。また本報告書の基底をなす自然エネルギーの潜在的可能性は、IEEPが2008年2月に発表した「2050年自然エネルギービジョン」のデータを用いた。

本シナリオの作成にあたりドイツ航空センター(DLR)にシミュレーションを委託した。まず国際エネルギー機関(IEA)の2007年度版『世界エネルギーアウトック』にある2030年までのエネルギー需給見通しを、DLRが開発したMESAP/PlaNetモデルを用いて2050年まで延長し、これをレファレンス・シナリオ(基準シナリオ)とした。次にIEEPが自然エネルギーとエネルギー効率について、現存する最高水準の技術と将来実用化が見込まれている技術を積極的に導入した場合、それらがどれくらい進展するかを評価した。それを先のモデルを用いて2050年までシミュレーションしたのが、この代替シナリオである。その結果、2050年には日本の一次エネルギー需要は53%減少し、電力需要の60%以上が自然エネルギーでまかなわれ、二酸化炭素の排出は77%削減できることが示された。

シナリオを現実に

地球温暖化の進行をとめるには、社会の各層でさまざまな行動を起こすことが求められている。なかでもエネルギー政策の見直しは最重要課題のひとつであり、その実現には政治への働きかけが不可欠だ。それを可能にするのは世論、つまりは一人ひとりのチカラである。

星川 淳

グリーンピース・ジャパン
事務局長

飯田哲也

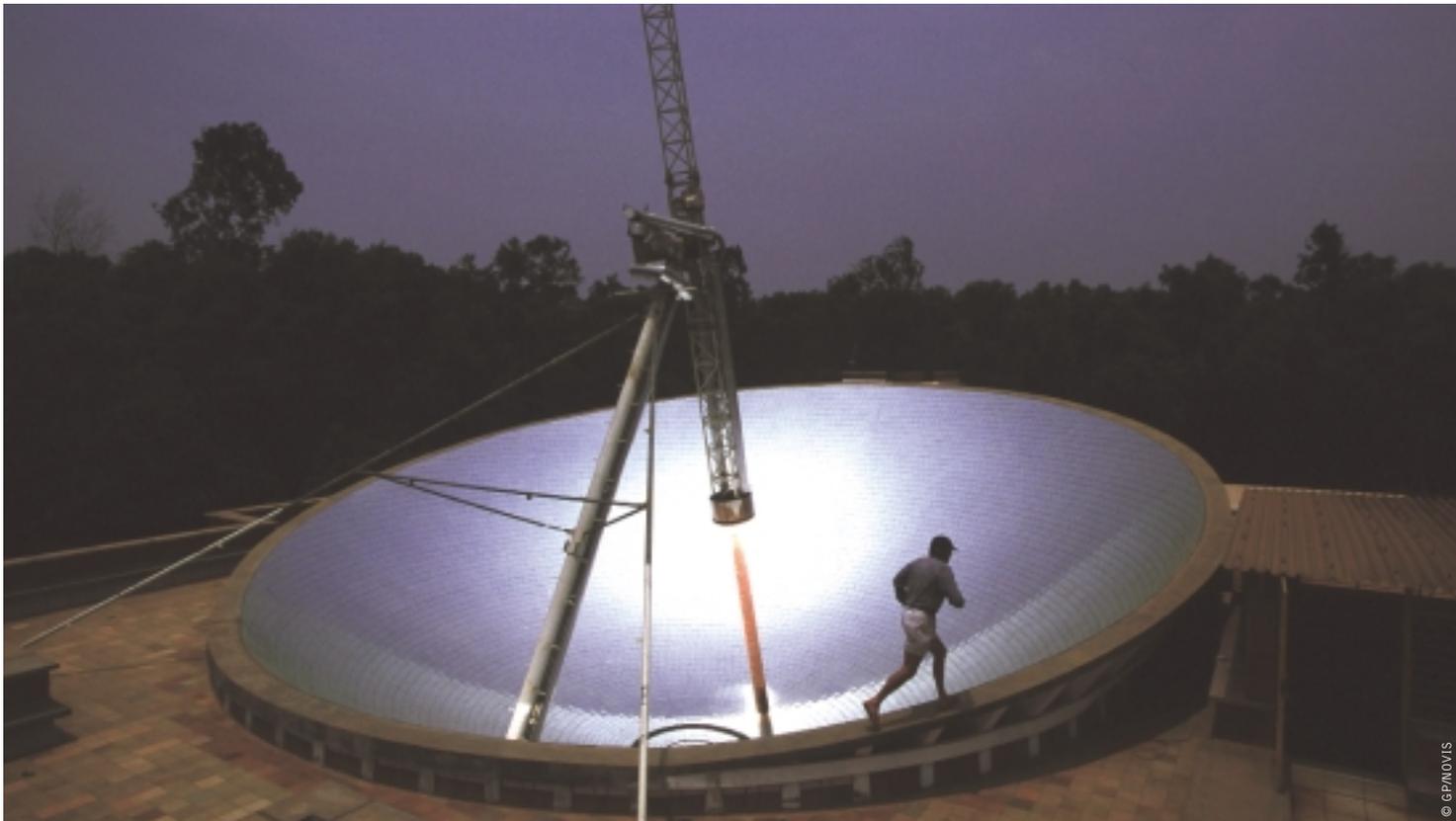
環境エネルギー政策研究所
所長

スヴェン・テスケ

グリーンピース・インター
ナショナル 気候&エネ
ルギー・ユニット

要約

「自然エネルギーは、地球のどこでも利用可能な技術であるだけでなく、
世界で現在消費されているエネルギー量のおよそ6倍を、それも永久に供給できる」



インド南部タミルナドゥ州オーロヴィルにあるソーラーキッチンに設置されている太陽熱集熱器。太陽光の熱で、一日2000人分の食事をまかなっている。オーロヴィルは世界の100あまりの国や地域から集まった人々が協働する実験型エコヴィレッジ。住民は環境再生、有機農業、代替エネルギー、村づくり、劇、音楽、芸術などの活動に従事している。

気候変動の影響と対策

大気中の温室効果ガス濃度は上昇し続けている。気候変動はすでに生態系を乱し、その影響で年間およそ15万人が死亡している。世界の平均気温が2℃上昇すると、飢餓、マラリア、洪水、水不足などのリスクがいっそう高まり、何百万もの人びとが脅威にさらされる。気温上昇の影響を許容しうる程度に抑えるためには、温室効果ガスの排出を大幅に削減しなければならない。これは環境的にも経済的にも、理にかなったことである。温室効果ガスのなかでその影響がもっとも大きいのは、化石燃料の燃焼で発生する二酸化炭素であり、その削減が重要となる。

近年の石油価格の高騰にあおられ、エネルギー安全保障は最大の政治課題となっている。高騰をもたらしている原因のひとつは、化石燃料——石油、ガス、石炭——の埋蔵量に限りが見えはじめ、生産コストが増大していることにある。「安価な石油とガス」の時代は終わろうとしている。原子力発電の燃料であるウランもまた有限の資源だ。これに対して自然エネルギーは、地球のどこでも利用可能な技術であるだけでなく、世界が現在消費しているエネルギー量のおよそ6倍を、それも永久に供給できる。

自然エネルギー源には、風力、バイオマス、太陽光、太陽熱、地熱、潮汐力、水力などがある。その技術は多種多様で、成熟度や経済性に違いがあるものの、どれもますます魅力的になっている。共通するのは温室効果ガスをほとんど、あるいはまったく排出しないこと、そしてその「燃料」が自然界のなかに無尽蔵に存在することだ。すでに市場競争力をもつものもある。化石燃料価格の上昇が続く、二酸化炭素の排出削減効果に金銭的価値が付加されるようになれば、自然エネルギーはその技術の向上とあいまって、経済的にも有利となるだろう。

自然エネルギーは、エネルギー効率化技術と組み合わせることにより、現在と同水準のエネルギーサービスを提供しながら、エネルギー消費の大幅削減も可能にする大きな潜在力がある。本報告書は、産業、家庭、ビジネスなどで利用できるエネルギー効率化技術についても言及している。原子力は発電時に二酸化炭素をほとんど排出しないが、ウラン採掘から加工、輸送を含むすべての過程で放射線被曝や汚染、核兵器拡散、処分のしようがない核廃棄物、大事故といったリスクをはらむ。そのため、本報告書では選択肢から外している。将来のエネルギー需要は、熱供給と電力供給の両面において自然エネルギー源の利用を拡大することでまかなえるだろう。

アイスランド北西部レイキャヴィーク近郊の地熱施設。地熱活動を発電や熱供給に利用している。



エネルギー[r]eポリューション

気候変動は「エネルギー革命」をいや応なしに迫っている。エネルギー[r]eポリューションの主眼は、エネルギーの生産・流通・消費のあり方を変えることにある。移行は次の5原則にのっとって進められる。

- 自然エネルギーの利用を、とくに分散型システムの拡大を通じて増大させる
- 自然の限界を尊重する
- 持続不可能で汚いエネルギーを段階的に廃止する
- 資源利用における不公平を是正する
- 経済成長と化石燃料消費を切り離す

分散型エネルギーシステムでは、電力や熱は最終消費地の近くで生産されるため、変換や送配にともなう損失が少なくすむ。現在、世界では20億人が電気にアクセスできずにいる。これらの人々に電気を提供するうえで、分散型システムはエネルギー[r]eポリューションの中核となるだろう。

日本のエネルギー[r]eポリューション・シナリオ

本報告書では、2050年にいたる2つのエネルギー・シナリオを取り上げている。レファレンス・シナリオはIEAの『世界エネルギーアウトLOOK2007年版』（『WEO2007』）の地域シナリオに、2030年以降の予測を追加したものだ。エネルギー[r]eポリューションの世界シナリオは、平均気温の上昇を2℃未満に抑えるため、2050年までに一人あたりの二酸化炭素排出量をおよそ年1トン以下に減らし、世界の総排出量を1990年比で50%削減することを目標としている。日本シナリオは、国内総排出量を2020年までに26%、2050年までに最大77%削減することをめざしている。

これらを達成するため、シナリオはエネルギー効率向上のもつ潜在的可能性を最大限に追求することに重点を置いている。また熱供給と発電の両面で、費用効率の高い自然エネルギーや、持続可能なバイオ燃料の生産についても評価している。2005年現在、日本の一次エネルギー需要に自然エネルギーが占める割合は3.2%である。バイオマスはもっぱら暖房とコジェネレーションに、地熱と水力は主に発電に使われている。日本で利用される自然エネルギー源の大半がこれらで占められている。自然エネルギーが発電に占める割合は9.6%で、また熱供給に使われる一次エネルギー需要の2.6%に寄与している。化石燃料は依然として日本の一次エネルギー供給の85.8%を占める。

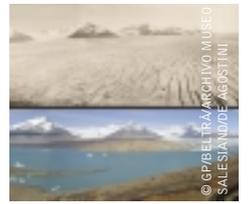
エネルギー[r]eポリューション・シナリオは、現在のエネルギー供給システムから持続可能なシステムへ移行するための道程を提示している。

- レファレンス・シナリオでは、2050年の一次エネルギー需要は年2万2235ペタジュール（2005年）から2万3940ペタジュールに増大する。これに対しエネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、エネルギー効率のもつ潜在的可能性を追求することで、需要は年1万459ペタジュールまで減る。重要なのは一次エネルギー需要の大幅な削減である。これによりエネルギー供給全体に占める自然エネルギーの割合を増やすことができ、化石燃料の消費削減も可能となる。
- 産業部門におけるコジェネレーション（熱電併給、CHP）の利用拡大は、供給システムのエネルギー転換効率を向上させる。コジェネレーションではバイオマスと地熱が安定的に使われるとともに、ガスを中心とする化石燃料の利用が増える。地域冷暖房システムへの適用には限りがあるため、他の部門においてはコジェネレーションの拡大は一定規模にとどまるだろう。
- 自然エネルギーをもっとも利用するのは発電部門となる。2050年までに電力の60%以上が自然エネルギーによってまかなわれ、設備容量は205ギガワット、総発電量は年523テラワット時となるだろう。
- 熱供給部門における自然エネルギーの割合は増え続け、2050年までに47%以上となる。とりわけ冷暖房に直接利用する在来型システムはバイオマス、太陽熱温水システム、地熱に、また伝統的なバイオマスは高効率化された最新のバイオマスに取って替わられるだろう。
- 運輸部門において、現在、大規模な利用が可能な自然エネルギー技術はバイオ燃料だけである。しかし、バイオ燃料市場は近年、急速に拡大しており、その持続可能性が疑問視されている。持続可能性は、エネルギー[r]eポリューション・シナリオ全体を展開していくうえでの支柱である。その観点からは、たとえばバイオ燃料用の作物栽培のために森林破壊が進み、その結果、食料の安全保障が脅かされたり、二酸化炭素の排出が増大したりするようなことがあってはならない。日本シナリオでは、バイオ燃料と電気自動車の利用が普及するのは、効率向上のもつ潜在的可能性が最大限に追求される2020年以降としている。
- 2050年までに、一次エネルギー需要の40%以上が自然エネルギーによってまかなわれるようになるだろう。

自然エネルギーを経済的に魅力あるものに成長させていくためには、それらをバランスよく、かつタイムリーに導入していくことがきわめて重要となる。その進展は自然エネルギー源のポテンシャル、実コストとコストダウンの可能性、そして技術の成熟度にかかっている。

エネルギー起源の二酸化炭素排出量の推移

レファレンス・シナリオでは、日本のエネルギー起源の二酸化炭素排出量は2050年までに8%減少するが、持続可能な道程とはかけ離れたものとなっている。これに対しエネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、2005年に11億3500万トンだった排出量が、2050年には2億7500万トンに減少する。一人あたりの排出量は、年8.9トンから2.7トンに減少する。今日、最大の排出源は発電部門だが、2050年には総排出量の約39%になるだろう。



コスト

電力需要が増大すれば、社会が電力供給に費やすコストも大幅に上昇せざるをえない。レファレンス・シナリオでは、日本の電力需要は増大の一途をたどり、さらに化石燃料価格と二酸化炭素の排出価格も上昇するとしている。そのため電力供給コストは現在の年920億ドルから2050年には1380億ドルと、大幅に増加すると予測している。一方、エネルギー[r]eポリューション・シナリオは、二酸化炭素の排出削減目標の達成に資するだけでなく、エネルギー・コストを安定させ、社会の経済負担も軽減する。エネルギー利用効率の向上と、自然エネルギーへの移行によって、長期的には電力供給コストも低減するだろう。厳しい環境目標をクリアすることは、経済的にも有益であるのは論を待たない。

エネルギー[r]eポリューションを実現し気候変動を回避するため、グリーンピースは日本のエネルギー供給部門に以下の施策を講じるよう求める。

- 化石燃料と原子力に対する補助金の段階的廃止と、「外部コスト」^{*}の内部化
- 自然エネルギー拡大に向けた法的拘束力のある目標設定と、それを達成するための実効力のある新制度の法制化
- 投資者への一定かつ安定した利益還元
- 自然エネルギー発電事業者による系統接続の優先化

※訳注：核燃料や化石燃料などを使って発電したときに発生する環境コストや社会コストなどをさす。これらのコストは価格に適正に反映されていない。

図1 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける日本の一次エネルギー需要の推移

（「効率化」＝レファレンス・シナリオと比べた低減分）

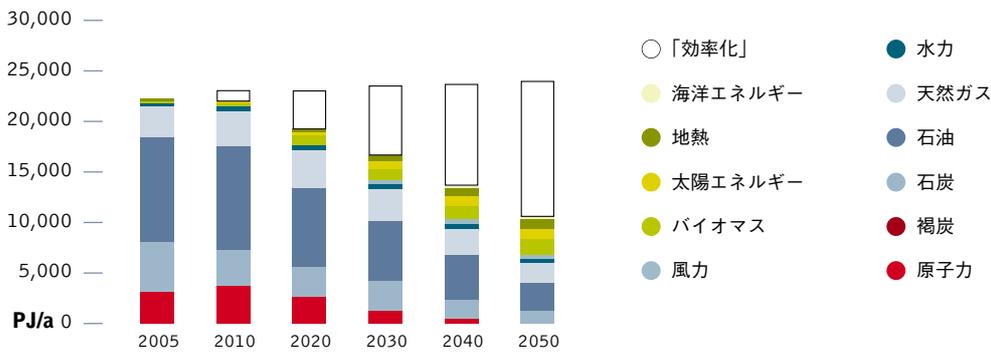
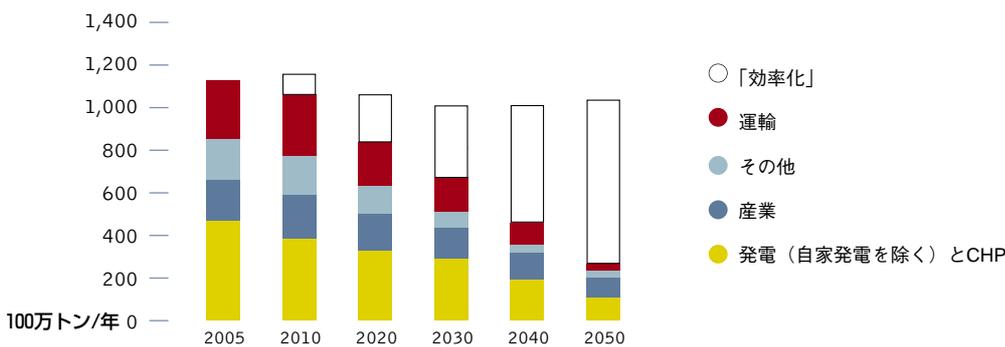


図2 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける日本の部門別二酸化炭素排出量の見通し

（「効率化」＝レファレンス・シナリオと比べた低減分）



政策提言

表1 政策決定者への提言

		単位	目標値 2020年	目標値 2030年	目標値 2050年
気候変動					
- CO ₂ 削減率（1990年比）	法的拘束力のある目標数値の設定	%	25%	40%	80%
電力供給					
- 自然エネルギー比率	法的拘束力のある目標数値の設定	%	20%	30%	65%
一次エネルギー供給					
- 自然エネルギー比率	法的拘束力のある目標数値の設定	%	10%	20%	40%

政策

「地球温暖化抑止のための具体的な対策をただちに行動に移さなければ、回復不能なほどの打撃が私たちを襲うだろう」



フィリピン・ルソン島の最北に位置するイロコス・ノルテに設置されたウィンドファーム。25メガワット。この規模のものとしては、東南アジア初。デンマークのノースウィンド社が運営している。

気候変動政策

国連は気候変動について科学的な見解を導き出すために「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)を設置した。2007年に発表されたIPCC第4次評価報告は、世界の平均気温が今世紀末までに最大6.4℃上昇すると予測している。これほど急速な気温上昇を、人類は今までかつて経験したことがない。気候政策は、世界の平均気温の上昇幅を、工業化前に比べて2℃未満に抑えることを目標とすべきだ。2℃を上回ると、気候システムの変動や生態系への打撃は劇的に増大する。これを避けるには、今後10年ほどのあいだに世界の温室効果ガスの排出が頭打ちとなるようにし、その後、減少へと転じさせなければならない。目標達成にはエネルギー・システムを変革する必要がある。私たちに残された時間は長くはないのだ。

気候変動による被害はすでに現実のものとなっている。南極や北極で崩れる氷、永久凍土の融解、サンゴ礁の白化・死滅、海面上昇、致命的な熱波……。このような変化と取り組んでいるのは科学者たちだけではない。極北のイヌイットから赤道付近の島嶼民まで、人々は気候変動がもたらす変化のなかで奮闘している。地球の平均気温が2℃上がれば、飢餓、マラリア、洪水、水不足などが急激に進行し、何千万もの人々を脅かすことになるだろう。

人類がこれほど重大な環境危機に対応を迫られたことはない。具体

的な対策をただちに行動に移さなければ、回復不能なほどの打撃が私たちを襲うだろう。地球温暖化を抑止するには、温室効果ガスの排出を速やかに削減するしかないのだ。

何も対策がとられず現在の傾向が続いた場合に予想される主な影響

温暖化の進行が緩やかなケース

- 全世界的な気温上昇による氷河の融解と海水の熱膨張による海面上昇
- 永久凍土の融解と森林破壊にともなう温室効果ガスの大量放出
- 熱波、洪水といった異常気象によるリスクが激化。すでに世界の干ばつ発生数は、過去30年のあいだに倍増している。
- 各地への打撃。ヨーロッパでは洪水の多発、土壌の流出、湿地の消失など。バングラデシュや中国南部といった途上国の低地帯では洪水の被害が深刻化するだろう。
- 氷河、サンゴ礁、マングローブ、高山生態系、寒帯林、熱帯林、平原湿地、原生草原といった自然システムが重大な脅威にさらされる。
- 生物種の絶滅と生物多様性の消失が加速化する恐れ。
- もっとも大きな影響をこうむるのは、サハラ以南のアフリカ、南アジア、東南アジア、南米アンデス地方といった貧困国や小島嶼国で

ある。これらの国々は、干ばつの多発、海面の上昇、疫病の蔓延、農作物生産力の低下などに対し、きわめて脆弱だ。

将来起こりうる壊滅的な影響

- 温室効果ガスの排出がもたらす温暖化は、グリーンランド氷床の融解を引き起こし、将来、海面を最大7メートルも上昇させる危険がある。近年、南極大陸のあちこちで氷にひび割れが生じ、氷山が次々と流れ出しているのが観測されている。これは南極にも融解の危機が迫っていることを意味する。
- 大西洋のメキシコ湾流が、その速度や方向を変えたり、循環を停止したりすれば、ヨーロッパに重大な影響がおよぶだけでなく、地球海洋循環システムを変化させる。
- 溶解した永久凍土や海洋からメタンが大量放出されると、大気中メタン濃度が増大し、温暖化を加速させる。

京都議定書

1992年に採択された「気候変動に関する国際連合枠組み条約」(UNFCCC)に署名した国々は、この条約にもとづいて1997年に京都議定書を採択した。それが発効したのは2005年のはじめである。締約国は172カ国(2007年12月3日現在。オーストラリアが同4日に批准)。締約国は年2回、気候変動に関する締約国会議(COP)に集い、条約の検討と進展について討議する。主要先進工業国のうち京都議定書を批准していないのは米国のみとなった。

京都議定書は2008年から2012年までの第一約束期間中に、温室効果ガス排出を1990年比で5.2%削減することを締約国に課した。それをもとに、地域や国ごとに個別削減目標が割り当てられた。たとえば欧州連合(EU)の目標は、域内全体で8%の削減である。これを達成するために、EUは2010年までに自然エネルギーの割合を6%から12%まで引き上げることに合意している。

現在、京都議定書締約国は第二約束期間(2013年から2017年)についての交渉を進めている。グリーンピースは先進国に対し、第二約束期間における排出量は1990年比で18%の削減、また2018年から2022年までの第三約束期間においては、30%の削減を目標とするよう求めている。このような削減によってはじめて、平均気温の上昇を2℃未満に抑える見通しがつくだろう。

京都議定書は基本的に、法的拘束力のある排出削減義務によっている。前述の目標を達成するため、炭素は取引可能な商品となった。その目的は、排出削減にとって経済効果をもっとも見込まれる措置の導入を奨励し、それによってクリーン・テクノロジーの推進に必要な民間投資を後押しし、エネルギー供給の改革を進めようというもの。

しかし2001年はじめ、米国が京都議定書から離脱したことで議定書発効が大幅に遅れてしまい、交渉の時間が足りなくなりつつある。2007年12月、各国は「バリ・マンデート」に合意した。「バリ・アクション・プラン」として知られるこのマンデートは、遅くとも2009年末までに次期約束期間についての最終合意をもって交渉を終結するよう求めている。

各国政府が合意を批准し、一層の大幅削減が見込まれる次のステップに向けた政策と必要措置を実行に移すには、そして持続可能で気候に悪影響をおよぼさない技術への投資環境を整える施策を打ち出すには、それなりの時間を要する。炭素市場の信用を維持し、低炭素技術への投資を促すには、第一次と次期約束期間の間にギャップを生じさせないようにしなければならない。

エネルギー政策

現状では、市場に新規参入する自然エネルギー発電事業者は、長年運転している原子力発電所や火力発電所と競合しなければならない。後者は電気料金や税金によって、投資元本の利子と減価償却費がすでに支払われているので、電力を限界費用で生産できる。こうした市場の歪みを是正し、公平な競争の場を創るには、政治による働きかけが不可欠だ。

世界中で電力市場の自由化が進むなか、競争力が高まっている自然エネルギーは、さらに需要が増えるはずだ。しかし政策の支援がなければ、自然エネルギーは不利な立場に追いやられたままとなる。というのも、在来型技術には何十年にもわたって多大な財政的、政策的、そして制度的な支援が向けられてきたし、エネルギー価格のなかに環境コストや社会コストが適正に反映(「内部化」)されていないために、世界の電力市場に歪みが生じているからだ。したがって自然エネルギーを発展させるには、政策面や経済面における積極的な取り組み、とりわけ法制による価格保証が、最長で20年間は必要となるだろう。

自然エネルギーは、その大きなポテンシャルが解き放たれば世界のエネルギー供給の主役になりうる。本章では、その実現を妨げている現行の政策枠組みと障壁を述べる。それらを克服していく過程は、持続可能な経済成長、質の高い雇用、技術発展、国際競争力、産業や研究におけるリーダーシップなどももたらすだろう。

自然エネルギーの導入目標

エネルギー供給保障を高めると同時に、温室効果ガス削減のための政策の一環として、自然エネルギーの導入目標を設定する国が近年、ますます増えてきた。それらは設備容量、あるいはエネルギー消費に占める比率で示される。導入目標は必ずしも法的拘束力をもつわけではないが、ヨーロッパから東アジアそして米国と、世界全体で自然エネルギーのシェアを伸ばすうえで重要な牽引役となっている。電力部門は投資期間が40年にもおよぶことから、導入のためのタイムスパンは数年程度では不十分だ。

そこで短期、中期、長期の3段階に分けて導入目標を立て、それらに法的拘束力をもたせることで実効性を担保し、そのうえで「固定価格買取制度」などのメカニズムを用いて目標達成を後押しする必要がある。自然エネルギーの割合を大きく増やすには、地域がもつ自然エネルギー(風力、太陽、バイオマス、その他)技術のポテンシャルと、既設または計画中の社会資本に照らし、それぞれに適した導入目標が設定されなければならない。

このところ風力および太陽エネルギー産業は年30~35%で成長し、自然エネルギーは高い成長率を維持できることを示してきた。グリーンピースと欧州再生可能エネルギー評議会(EREC)は、欧州太陽光発電産業協会(EPIA)¹、欧州太陽熱発電産業協会²、欧州風力エネルギー協会(EWEA)と協力し、各産業の1990年以降の発展と2020年と2040年までの成長見通しを報告書にまとめている³。



エネルギー部門への提言

自然エネルギーへの移行を促進するには、エネルギー政策を変えていく必要がある。グリーンピースと自然エネルギー産業は、政策転換に向けた課題を提起している。主なものは次のとおりである。

- 化石燃料と原子力に対する補助金の段階的廃止と、外部コストの内部化
- 自然エネルギー拡大に向けた法的拘束力のある目標設定
- 投資者への一定かつ安定した利益還元
- 自然エネルギー発電事業者による系統接続の優先化
- 電化製品、建物、自動車等に対する厳しい省エネ基準の適用

在来型エネルギー源に対する補助は、世界全体で年2500億～3000億ドルと推定され¹、それが市場をひどく歪めている。ワールドウォッチ研究所の推計によると、石炭補助金は世界全体で総計630億ドルである。とくにドイツのそれは、炭鉱夫への一人あたり8万5000ドル以上の直接援助を含め、総計210億ドルにもものぼる。補助金はエネルギー価格を人為的に抑え、競争力のない技術や燃料を下支えすることで、自然エネルギーの市場展開を圧迫している。化石燃料と原子力に対する直接的・間接的な補助金の撤廃は、エネルギー市場全体の公平な競争の場への移行を促すだろう。

自然エネルギーに対し特別な措置が必要になるのは、電力（およびエネルギー全般）の生産者が依然として汚染コストの負担を実質的に免れているために、エネルギー市場が歪められているという事実があるからだ。すでに成熟している技術、それも汚染をもたらす技術へ補助金を投入するのは、きわめて非生産的である。在来型電力技術に対する補助金の廃止は、納税者の税負担を軽減するだけでなく、自然エネルギーに対する支援策の必要性も劇的に減らしてくれるだろう。

自然エネルギー進展に向けたイニシアチブ

2005年7月にスコットランドのグレンイーグルズで開催されたG8サミットにおいて各国の首脳と政府は、気候変動への対応、クリーンエネルギーの促進、持続可能な開発の達成に向けた共通の目的を設定し、共同声明を発表した。声明は今後の行動分野を特定し、世界が参加する「気候変動、クリーンエネルギーおよび持続可能な開発に関する対話」を発足させ、その成果を日本が議長国を務める2008年洞爺湖サミットにおいて報告するとした。またUNFCCCへのコミットメントが再確認されたほか、IEAと世界銀行にはいくつかの作業が課せられた。グレンイーグルズ行動計画の第16条は、2004年のボンから始まった以下のイニシアチブに言及している⁵。

『我々は、以下により、再生可能エネルギーの開発および商業化を引き続き促進する。(a) 中国政府主催の2005年末の国際会議から開始される、ボンでの再生可能エネルギー2004会議の国際行動計画を推進するとともに、再生可能エネルギー政策ネットワーク（REN21）の目標を支持する……』

2002年にヨハネスブルグで開かれた「持続可能な開発に関する世界サミット」（WSSD）では、自然エネルギーについて明確な目標は出されなかった。そこでドイツ政府は各国政府や関係機関をボンに集め、「再生可能エネルギー2004」と題する国際会議を開催した。この会議を準備するにあたって国際運営委員会が設けられ、一連の地域会合が開催された。これが自然エネルギー支援に向けた世界的な機運を高めることになった。その勢いを保ち、さらに途上国へも拡大するため、引き続き2005年11月には北京で、2008年3月にはワシントンで国際会議が開催されている。次回は2010年、インドで開催される予定だ。

参照

- 1 SOLARGENERATION, SEPTEMBER 2007
- 2 CONCENTRATED SOLAR POWER -NOW! NOVEMBER 2008
- 3 GLOBAL WIND ENERGY OUTLOOK, OCTOBER 2008
- 4 UNDP REPORT
- 5 [HTTP://WWW.REN21.ORG/POLICYPROCESS/DEFAULT.ASP](http://www.ren21.org/policyprocess/default.asp)

エネルギー[r]eポリューション

「科学的知見によれば、最悪の事態を避けるには
今後10年のうちに抜本的な変革に着手し、それを推し進めなければならない」



集光型太陽熱発電（CSP）システム。米国カリフォルニア州ダゲットのソーラーファーム。

気候変動はエネルギー[r]eポリューションをいやおうなしに迫っている。科学的知見によれば、最悪の事態を避けるには今後10年のうちに抜本的な変革に着手し、それを推し進めなければならない。原子力は不要だ。必要なのは、エネルギーの生産、消費、流通のシステムを全面的に変えることである。エネルギーシステムの抜本的な改革なくしては、地球の気温上昇を2℃未満に抑えるのはおよそ不可能だろう。この上昇を上回ると、壊滅的な影響を避けることは難しくなる。

電力は現在のところ、主に大型発電所で化石燃料を燃やし、二酸化炭素を排出しながら発電されている。大型発電所では、投入された一次エネルギーの大半が排熱として捨てられる。電力は送配電網をめぐる、家庭用や事業者用に適した電圧に変換されると、さらにエネルギーを損失する。このシステムは性質上、阻害要因に対して脆弱だ。どこかで技術的なトラブルや、天候、妨害などによる障害が発生すると、次々と故障がつながり、広域におよぶ停電を引き起こす。この時代遅れのシステムのもとでは、どんな発電技術を用いても、多かれ少なかれこうした問題から逃れられない。したがってエネルギー[r]eポリューションを進めるうえで中枢となるのは、エネルギー生産だけでなく、エネルギー流通における変革である。

エネルギー[r]eポリューション5原則

エネルギー[r]eポリューション達成のための5原則

1 自然エネルギーと分散型エネルギーシステムの導入

エネルギーは十分にある。必要なのは、エネルギーを効果的・効率的に利用するため、現存する技術を活用することだけである。自然エネルギーとエネルギー効率化のための技術はすでに実用化されているし、市場競争力も高まる一方だ。この10年における風力や太陽光など自然エネルギーの市場成長率は、2桁台を記録している。

気候変動が現実であるように、自然エネルギーもまた夢物語ではない。持続可能な分散型エネルギーシステムは、二酸化炭素の排出が少なく、低コストで、エネルギー自給率を高める。加えて新たな雇用を生み出し、地域社会の活性化にもつながる。安全性と効率の面でも優れている。エネルギー[r]eポリューションの目標は、このようなシステムの創出である。

2 自然の限界を尊重

自然には限界があることを認識しなければならない。自然が吸収できる炭素の量には限りがある。ところが私たちは、毎年230億トンもの

北海の石油掘削基地（プラットフォーム）「ダンリンA」。石油が流失し海を汚染している。



二酸化炭素を排出し、大気中の二酸化炭素濃度を押し上げている。石炭の埋蔵量は数百年分の燃料に匹敵するかもしれないが、このまま燃やし続ければ必ず危険域へ突入する。私たちは石油と石炭の開発に終止符を打たなければならない。

気候の暴走を抑止するには、地下深くに埋蔵されている化石燃料——石炭、石油、天然ガス——を、なるべくそのままにしておかなければならない。私たちがめざすのは、人間がこの小さな惑星の自然な限界の範囲内で生きていくことだ。

3 持続不可能で、汚いエネルギーの段階的廃止

石炭火力発電や原子力発電は、段階的に廃止されなければならない。石炭火力からの排出物がいま現在、生態系と人間を脅かしているのに、それを新設し続けるわけにはいかないのである。また気候変動対策と称して原発を進めれば、核の脅威をさらに拡大することになる。エネルギー[r]eポリューションにおいて原発の果たす役割はない。

4 公平と公正

世界人口の3分の1は電気を利用できない一方で、少数の先進国は、世界人口に占める割合がごくわずかなのに、それに見合わない量の電気を浪費している。自然には限界があるのだから、便益とコストは現世代と将来世代とで、あるいは国家間や社会のなかで、公正に分かち合うべきだ。

気候変動の影響をもっとも強いられるのは、エネルギーをあまり消費しない最貧困層である。気候変動に取り組むとき、その原則のひとつは公平・公正だ。つまり照明、熱供給、電力、運輸といったエネルギー・サービスを、北も南も、富者も貧者も、分け隔てなく享受できるようにすること。この原則なくして、エネルギーの安全保障はもとより、人間の真の安全は保障できないだろう。

5 経済成長と化石燃料消費を切り離す

経済成長は化石燃料の燃焼量から推測されるとするのは誤りだ。まず先進国が、経済成長と化石燃料消費は無関係であることを、以下を通して示さなければならない。

- 生産するエネルギーを、さらに効率よく利用する。
- クリーンで持続可能な成長を実現するために、化石燃料から自然エネルギーへと速やかに移行する。

原則から実践へ

現在、自然エネルギーは世界の一次エネルギー供給の13%を占めている。そのうち最大のものはバイオマスで、主に熱供給に利用されている。発電の18%と熱供給の26%は自然エネルギーでまかなわれている。化石燃料は依然として一次エネルギー供給の80%を占め、原子力は7%である⁶。

米国、日本、欧州連合（EU）といった先進工業国では、その発電プラントの半数以上が運転年数20年を経過し、閉鎖間近となっている。一方、中国、インド、ブラジルなどの途上国は、経済成長によるエネルギー需要の増大に対応策を見出そうとしている。この新たな需要に化石燃料と核燃料で対応するのか、それとも自然エネルギーとその効率的な利用で対応するのか、発電部門は今後10年ほどのうちに決定を下すことになる。つまりエネルギー・発電部門の構造改革を大々的に進めるうえで、これからの10年は絶好のチャンスなのだ。

エネルギー[r]eポリューション・シナリオは、自然エネルギーやコージェネレーション（熱電併給）と、エネルギーの効率利用を組み合わせ、新しいエネルギー政策を基本としている。このシナリオを実現するには、小規模分散型の自然エネルギーとコージェネレーションが飛躍的に、それも世界の総エネルギー需要の増大を凌ぐ勢いで伸びていく必要がある。そして、これらの新しいエネルギーシステムが旧世代のシステムに取って代わり、途上国の新たなエネルギー需要を満たさなければならない。

化石燃料と核燃料をベースとする現行の大規模集中型エネルギーシステムから、自然エネルギーによる全面供給へと一挙に切り替えるのは不可能だ。その導入に欠かせないインフラを整備するには、移行段階が必要である。グリーンピースはあくまで自然エネルギーの促進を主としているが、移行期の燃料として天然ガスを適正規模のコージェネレーションで利用するのは、分散型エネルギーのインフラを構築するうえで費用対効果が高いと考えられる。また吸収式冷凍機を用いることで、温熱や電力に加え冷熱も提供できる。夏が年々暑くなるなか、これらの技術は温室効果ガスの排出削減対策としてきわめて有効となるだろう。

開発の道程

現在のエネルギー供給システムから持続可能なシステムへの移行は、次のようなステップをたどるだろう。

ステップ1： エネルギー効率の向上

エネルギー効率の向上は潜在的可能性が高い。エネルギー[r]eポリューションは、その潜在力を積極的に追求する。ここでは現時点での最高水準技術と技術革新が今後も続く想定し、将来利用が可能になると見込まれる技術に焦点を当てている。省エネ技術は産業部門、運輸部門、家庭・サービス部門で、ほぼ等しく導入されるものとする。これからの省エネの理念は「節約」ではなく、エネルギーの「賢い」利用である。

なかでも建物の省エネ設計と断熱強化、超高効率の電化製品や駆動装置、旧式の電気暖房・給湯システムから自然エネルギー（たとえば太陽熱温水システムなど）を使ったシステムへの転換、物流・旅客用車輛の燃費向上などが重要だ。現在、先進国は非常に無駄の多いエネルギーの使い方をしている。それを改善するだけで、快適な住まいでパソコンやテレビを楽しみながら、なおかつエネルギー消費を劇的に減らすことができる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、OECD（経済開発協力機構）諸国によるエネルギー節約分で、途上国のエネルギー需要増大分をカバーしている。シナリオが最終的にめざしているのは、今後20年のうちに世界のエネルギー消費を横ばいにすること、そして「エネルギーの公正」——先進国による一方的なエネルギー無駄使いから、効率利用にもとづくエネルギーの公平な供給と分配への移行——を実現することである。

国際エネルギー機関（IEA）の「レファレンス・シナリオ」（第4章参照）と同じ条件（GDPと人口の伸び）のもとで、エネルギー供給全体における自然エネルギーの大幅なシェア拡大と、原子力発電の段階的廃止、そして化石燃料消費の削減を達成する必須条件は、一次エネルギー需要を格段に減らすことである。

参照
6 IEA; WORLD ENERGY OUTLOOK 2004

ステップ2： 構造改革

分散型エネルギーの導入と自然エネルギーの大規模利用

エネルギー[r]eポリューション・シナリオは、分散型エネルギーの利用を拡大することで、エネルギー効率の向上とエネルギー流通での損失低減をめざす。分散型エネルギーを一言で表せば、エネルギーの地産地消である。生産されたエネルギーは高圧送電システムではなく、地域の送配電網に連系され、域内の家庭やオフィスに送られる。発電する場所と消費する場所が接近しているため、燃料燃焼にともなう排熱を配管網で近隣の建物へ送って利用することができる。このシステムは、コジェネレーションまたは熱電併給と呼ばれる。従来の集中型システムでは、火力発電所に投入されたエネルギーはその一部しか使われていないが、分散型ではそのほとんどを有効利用できる。系統電力網から完全に分離した独立型エネルギーシステムもある。

分散型エネルギーには、地中熱や大気中の熱を利用したヒートポンプシステム、太陽熱やバイオマスによる熱供給システムなど、それぞれの場所で利用できるものもある。こうした持続可能で温室効果ガスなどの排出が少ない暖房・給湯システムが、家庭用にも普及するだろう。分散型エネルギーは既存の電力市場や電力システムに適合しにくいいため、安定供給にとって「障害」とみなされがちだが、適切な技術が導入できれば急速に成長し、従来のエネルギーシステムの「創造的破壊」が進むに違いない。

エネルギー[r]eポリューション・シナリオは、2050年には世界のエネルギーの大部分を分散型エネルギーが供給すると見込んでいる。こうした自然エネルギーを主体とするシステムへの移行を早期に達成するには、自然エネルギーの大規模利用がどうしても必要だ。それには大規模な洋上ウィンドファームや、高日照地帯であれば集光型太陽熱発電（CSP）といった技術が、大きな役割を果たすだろう。

コジェネレーション

コジェネレーション（熱電併給、CHP）の利用拡大は、燃料が天然ガスであれバイオマスであれ、供給システムにおけるエネルギー利用効率を向上させる。ただし長期的には、熱需要の低下が見込まれること、自然エネルギー源からの熱を直接利用できるようになることなどから、コジェネレーションの拡大は一定規模にとどまるだろう。

自然エネルギーによる発電

発電部門は自然エネルギー利用のバイオニアになるだろう。自然エネルギーの発電技術は、いずれも過去20年～30年間で年率35%に達する着実な成長を遂げてきた。その技術基盤は、2030年から50年までの間にさらに強化されると見込まれる。これにより、2050年までに電力の大半が自然エネルギーによってまかなわれるだろう。

自然エネルギーによる熱供給

熱供給部門における自然エネルギーの割合は大幅に増大するだろう。その成長率は発電部門におけるそれと同程度と見込まれる。化石燃料は、主に高効率化された最新のバイオマス、太陽熱温水システム、地中熱利用などに取って代わられるだろう。2050年までに自然エネルギーが冷暖房需要の大半を担うだろう。

運輸

運輸部門においてバイオ燃料利用を拡大する前に、まず自動車のエネルギー効率向上が追求されなければならない。本シナリオではバイオマスは定置利用を第一とし、輸送用燃料としての利用は持続可能な方法で栽培・生産されたバイオマスに限定する。

自然エネルギーを経済的に魅力あるものに成長させるためには、それらをバランスよく、かつタイムリーに導入していくことがきわめて重要となる。その促進は、どんな自然エネルギーがどれだけ利用できるか、コストダウンの可能性、技術の成熟度にかかっている。

シナリオの柱

- エネルギーの消費・生産・流通の効率化
- エネルギーの地産地消
- 環境負荷の低い地産エネルギーの最大活用

太陽光を水平と仰角に追尾する装置1500基を備えたソロンAG太陽光発電施設。ドイツ・アルンシュタイン。



図3 分散型エネルギーの未来図

ネットワーク化された未来の都市は、電力や熱の消費地であるだけでなく生産拠点にもなる。太陽エネルギーを集めるのに、屋上や壁面はうってつけだ。建築基準のひとつに省エネが導入される。建物の改築・改修にあたっては、省エネ設計の導入が義務化されるとともに、その奨励策が設けられる。これにより雇用の創出も促される。

都市



1. 太陽光発電装置は、オフィスビルや集合住宅の外装の一部となる。同システムは手ごろな価格になり、デザインも改善されて建築家が多用。
2. 旧式の建物を改修し、断熱強化、断熱窓、最新型換気システムなどを取り入れることで、エネルギー消費を最大80%削減。
3. 太陽熱温水システムが、設置場所だけでなくその周辺にも給湯。
4. さまざまな規模のコジェネレーション（CHP）設備が利用可能となり、一戸建ての住宅やビル、集合住宅のブロック全体に、電気と熱を送電ロスなしに供給。
5. 離れた場所に設置された洋上ウィンドパークや、砂漠地帯につくられた太陽光発電所からクリーンな電気が都市へ供給される。こうした技術のポテンシャルは大きい。

村落、島



1. バイオマス・プラント
2. バイオマス
3. 太陽光発電
4. 風力
5. 水力

エネルギー資源と供給保障

「世界のエネルギー需要の約80%は現在、化石燃料でまかなわれている。
化石燃料資源は有限であり、増大する一方のエネルギー需要に応じ続けることはできない」



地熱活動

埋蔵量をめぐる混沌

石油や天然ガスの埋蔵量に関する公的なデータは、法制上の、商業上の、歴史上の、またときには政治上の理由から食い違いが激しく、信頼性に欠ける。もっとも広く利用され引用されている数字は、業界誌『オイル・アンド・ガスジャーナル』や『ワールド・オイル』のものだが、それらは企業と政府が発表した埋蔵量を分析や検証なしに伝えているだけで、データとしての価値は限られている。さらに埋蔵量の定義やデータをまとめる際の基準が一定ではないため、数字がばらばらだけでなく、異なる概念が反映されたものとなっている。資源量をあらわすまぎらわしい用語（「確認」、「推定」、「予想」、「可採」、「合理的確実さ」）も問題を混乱させる一因だ。

民間の石油企業は株価対策と商業上の理由から、自社油田の埋蔵量をつねに控えめに見積もってきた。新しい油田が発見されると、地質学者が見積もった可採資源量の一部だけが公表される。その後、何度かにわたって修正がなされ、当該油田の埋蔵量が増えていくのだ。国営石油会社のほとんどはOPEC（石油輸出国機構）に加盟している。

OPECはいかなる説明責任も負っていないため、情報の信憑性はさらに劣る。

1980年代、OPECは埋蔵量に応じて国別生産枠を割り当てることにした。そのため加盟各国は自国の埋蔵量を過大に報告した。国営化前に石油メジャーが出していた数字は修正が必要だったとはいえ、OPEC加盟国の石油埋蔵量の合計は、1985年から90年のあいだに82%も増大した。重大な発見もなく、生産ペースも変わらなかったとしても、不可解な数字はその後も訂正されなかったどころか、加盟国の多くは何年ものあいだ未開発の資源まで埋蔵量として報告していたのである。さらに旧ソ連の石油と天然ガス埋蔵量は、誤って評価されたために、30%も過大に見積もられていた。

民間企業は自社の資源量について、最近はかなり現実的な数字を出すようになったが、OPEC諸国は旧態依然としており、情報は相変わらず不透明である。要するに、これらのデータは鵜呑みにしてはならないのだ。世界の石油資源量を正しく見積もるには、地域ごとに年平均発見量（あるいは技術的に回収可能な量）を検証する必要があるだろう。



天然ガス

天然ガスは電源ミックスに占める割合が急増し、この20年間でもっとも成長著しい化石燃料源となっている。天然ガス資源についての専門的な研究は少なく、一般におおむね豊富とみなされていることから、枯渇に対する危惧はもっぱら石油に向けられている。天然ガス貯留層は石油よりも集中しているため、発見が早い。世界の埋蔵量の大半は少数の巨大ガス田で占められ、そのうち最大のもは「究極可採資源量」(URR)の15%にもものぼる。ちなみに最大油田のそれは6%である。しかし残念ながら、天然ガス資源の情報も石油同様、曖昧模糊としている。天然ガスはたいてい石油と同じ地質構造のところに存在するため、利害関係者も同じだからだ。

大半の天然ガス田で、埋蔵量は当初、控えめに報告されていたが、次第に上方修正されてきていることから、楽観視できるような印象を受ける。一方、ロシアの埋蔵量は最大だが、約30%も過大評価されていたと推定されている。地質上の類似性から、天然ガスは石油と同じような「発見—生産」のサイクル、すなわち減耗の歴史をたどってきた。天然ガスについて現存するデータは石油のそれより質が劣る。たとえば過去の既生産量のデータは、燃えたり放散したりした分を考慮しているとは限らず、不明瞭な点が多い。公表埋蔵量に対し技術的な生産量の推移は、1980年以降、発見量と生産量がおおむね同じであることから、ほぼ横ばいである。

石炭

石炭は1960年代に石油に追い抜かれるまで、最大の一次エネルギー源だった。現在も世界のエネルギーのほぼ4分の1を供給している。化石燃料のなかでもっとも豊富だが、近年は環境への配慮もあり、今後の開発はエネルギー安全保障と地球温暖化の両面を念頭においたものとなるだろう。

石炭は石油や天然ガスと比べ、世界全体に広く存在する。その可採埋蔵量は化石燃料のなかで最大であり、ほとんどの国々に多かれ少なかれ存在する。ことに米国、中国、インドといった現在および将来のエネルギー消費大国は、見通せる範囲の将来にわたって自給可能な埋蔵量をもつ。石炭は過去2世紀にわたり大規模な開発が進められてきたので、その生産量と可採可能な資源量は把握されており、今後、有望な鉱脈の発見は期待できない。過去の需要からすると、2030年までに現在の埋蔵量の2割を消費し、50年までに4割を消費すると予測される⁷。したがって現在の傾向が続けば、石炭はあと200年以上ものあいだ供給可能だろう。

参照

7 “PLUGGING THE GAP - A SURVEY OF WORLD FUEL RESOURCES AND THEIR IMPACT ON THE DEVELOPMENT OF WIND ENERGY”; GWEC, RES SEPTEMBER 2006

表2 化石燃料の埋蔵量とその評価者

異なる評価者による化石エネルギー媒体の埋蔵量、資源量および埋蔵量成長の一覧。

C=CONVENTIONAL 在来型 (一定以上の密度の石油、遊離天然ガス、石油ガス)

NC=NON-CONVENTIONAL 非在来型 (重質油、特重質油、タールサンドとオイルシェール、石炭層ガス、帯水層の水溶性ガス、堅い地層中のガス、ガスハイドレート)

埋蔵量成長は地質条件から推定されたもので、現在のところ、経済的に回収できる量はきわめて不確かである。

なお1998年における世界の一次エネルギー需要は402エクサジュール (国連開発計画他、2000年)。

エネルギーキャリア	BROWN, 2002年 EJ	IEA, 2002年 ^c EJ	IPCC, 2001年 ^a EJ	NAKICENOVIC ET AL., 2000年 EJ	UNDP ET AL., 2000年 EJ	BGR, 1998年 EJ
天然ガス	埋蔵量	6,600	6,200	5,400 ^c	5,900 ^c	5,300 ^c
	資源量	9,400	11,100	8,000 ^{nc}	8,000 ^{nc}	100 ^{nc}
	追加埋蔵量			10,800 ^{nc}	10,800 ^{nc}	7,800 ^c
石油	埋蔵量	5,800	5,700	5,900 ^c	6,300 ^c	6,700 ^c
	資源量	10,200	13,400	6,600 ^{nc}	8,100 ^{nc}	5,900 ^{nc}
	追加埋蔵量			7,500 ^c	6,100 ^c	3,300 ^c
石炭	埋蔵量	23,600	22,500	42,000	25,400	16,300
	資源量	26,000	165,000	100,000	117,000	179,000
	追加埋蔵量			121,000	125,600	
合計	資源量 (埋蔵量+資源量)	180,600	223,900	212,200	213,200	281,900
合計	追加埋蔵量			1,204,200	1,218,000	1,256,000

出所: 表^{a)} 参照。ガスハイドレートを含む。

原子力

原子力発電の燃料であるウランも有限であり、低コストで採掘できる資源量は限られている。ウラン鉱床は石油と同じように偏在し、分布と消費地とが一致しない。カナダ、オーストラリア、カザフスタン、ロシア、ニジェールの5カ国で世界の供給量の4分の3を占めている。このうちロシアは世界有数のウラン利用国でもあり、国内埋蔵量はあと10年分ほどしかない。

近年、世界のウラン供給の半分近くは余剰在庫などの二次供給源となっているが、その量はもうすぐ底をつくだろう。現在の必要量をまかなうには、この何年かのうちに生産量をほぼ倍増しなければならないほどだ。

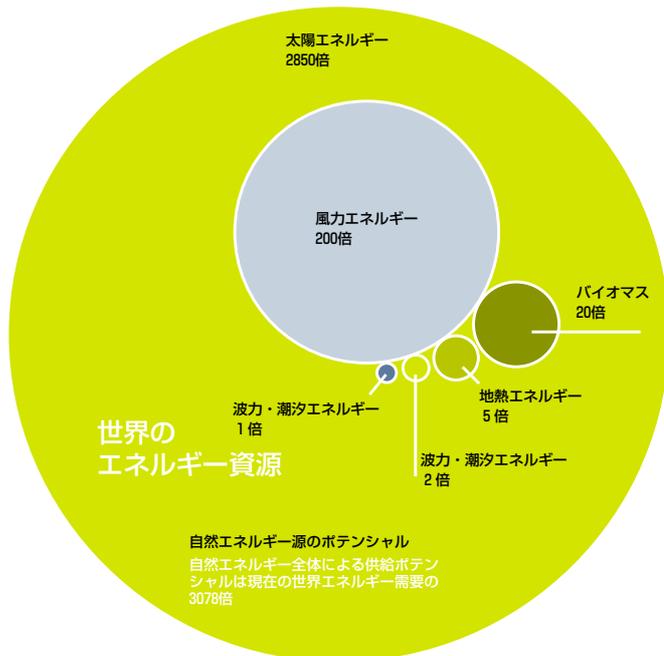
経済協力開発機構／原子力機関（OECD／NEA）と国際原子力機関（IAEA）が発表した共同報告（Uranium 2003: Resources, Production and Demand）によると、現在の最新技術を導入したとしても、ウラン燃料は既設の原発だけで70年もたないうちに使い切られるとされる。世界の原子力開発に関するさまざまなシナリオによれば、2026年から70年までのいずれかの時点で、ウラン供給は途絶えるの見込まれる。2050年までの現実的な見積もりでは、十分な供給が可能なのは、原子力利用が下降傾向をたどるとして、少数の国々のみである。この予測はウラン資源量だけでなく、混合酸化物（MOX）燃料の利用も加味している。

自然エネルギー

自然は太陽光、風力、バイオマス、水力など、エネルギー生産にふんだんに利用できる多様な選択肢を提供してくれる。ここでの主要な課題は、これらを電力、熱、あるいは動力へ変換するとき、その効率と持続可能性、費用対効果をいかにして最大化できるかである。

地球にとどく太陽光のエネルギーは、平均で1平方メートルあたり約1キロワットだ。ソーラーパワーリサーチアソシエーションによると、自然エネルギーには世界が現在必要としているエネルギー量の3078倍を供給する潜在能力がある。地球にとどく太陽光が一日で生産できるエネルギーは、現在の世界需要の8年分にあたる。自然エネルギーの潜在量のうち、技術的に利用可能なのは1%だけと仮定しても、今日の世界におけるエネルギー総需要の6倍弱を供給できる。

図4 世界のエネルギー資源



出所：WBGU（Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
ドイツ連邦政府地球気候変動諮問委員会）

表3 現存技術での利用可能量

現存技術で利用可能な自然エネルギーは世界の総需要量の5.9倍を供給しうる

太陽	3.8倍
地熱	1倍
風力	0.5倍
バイオマス	0.4倍
水力	0.15倍
海洋エネルギー	0.05倍

出所：DR. JOACHIM NITSCH



エネルギー資源の潜在量の定義⁸

理論的潜在量

理論的ポテンシャルとは、ある資源から取得可能なエネルギー量の物理的上限をさす。たとえば太陽エネルギーの場合、地球表面の単位面積に降り注ぐ総入射量がこれにあたる。

変換可能な潜在量

エネルギー変換効率から算出される潜在量。技術の向上にともない変換効率もそれぞれ変わってくるため、幅がある。

技術的な潜在量

地域における追加的制約を考慮に入れた、実際にエネルギー生産に利用できる潜在量。技術、制度、環境保全全面での制約に加え、法制上の要件が加味される。

経済的な潜在量

技術的な潜在量のうち、経済的に利用可能な部分をさす。たとえばバイオマスの場合、競合する他の生産物や土地利用との兼ね合いにおいて、経済的に開発可能な量。

持続可能な潜在量

あるエネルギー源を、自然生態系および社会経済的条件にもとづいて評価したときの限界潜在量。

自然エネルギーの地域別・技術別潜在量

自然エネルギー政策にかかわる国際的なネットワーク「21世紀のための再生可能エネルギー政策ネットワーク」(REN21)事務局は、2008年、自然エネルギーの潜在量に関する報告書を発表した。同報告書をもとに地域別・技術別の潜在量を表4に示す。ここでは世界の一次エネルギーの8割を消費し、二酸化炭素排出においても同程度を占める主要国を取り上げた。これらの国々のほとんどがグレンイーグルズ対話にも参加している。

太陽電池(PV)技術は、ほとんどの地域で利用可能である。その潜在量は年1500エクサジュール以上と見込まれ、集光型太陽熱発電(CSP)がそれに続く。ただし両者が設置できる場所は重なるため、これらを単純に合計することはできない。

陸上風力発電の潜在量はおよそ年400エクサジュールと膨大で、将来の電力消費量をはるかに上回る。ここでは洋上風力発電の設置場所として、大陸棚で風況がよく、なおかつ魚場や保護区ではない海域だけを対象としたため、潜在量(年22エクサジュール)は慎重な見積もりとなっている。

海洋エネルギーにはさまざまなものがあり、それらの潜在量の合計は大きい。その大半を占めるのは波力である。ただし、より慎重な見積もりでは年50エクサジュール程度となる。水力並びに地熱発電の資源量はかなり明確になっており、技術的潜在量は、それぞれおよそ年50エクサジュールと見込まれる。

熱供給と冷暖房(バイオマスを除く)に地熱を直接利用することも可能である。その供給能力は現在の世界の熱需要の20倍と、きわめて大きな潜在量をもつ。太陽エネルギーによる暖房と熱供給は、パッシブソーラー(機械力に頼らず設計によって自然エネルギーを利用する)建築を含め、潜在量はほぼ無限である。しかし熱の運搬はコストが高くつくので、地熱による暖房・熱供給と太陽熱の温水利用は、その消費地に近接した場所となるだろう(表4が示すように需要と供給を整合させるのは容易ではない)。パッシブソーラー技術が提供する熱は大きいですが、本書の分析では(自然エネルギー)供給源としてではなく、効率化の要素として計算している。

参照
8 WBGU

表4 自然エネルギーの地域別・技術別潜在量

(バイオマス・エネルギーを除く)

地域

	太陽 CSP	太陽 PV	水力 発電	風力 陸上	風力 洋上	海洋 発電	地熱 発電	地熱 地域熱供給	太陽 温水利用	合計
北米	21	72	4	156	2	68	5	626	23	976
南米	59	131	13	40	5	32	11	836	12	1,139
OECD欧州	1	13	2	16	5	20	2	203	23	284
非OECD欧州+市場経済移行国	58	120	5	67	4	27	6	667	6	926
アフリカ、中東	679	863	9	33	1	19	5	1,217	12	2,838
東アジア、南アジア	22	254	14	10	3	103	12	1,080	45	1,543
オセアニア	187	239	1	57	3	51	4	328	2	872
世界全体	992	1,693	47	379	22	321	45	4,955	123	8,578

source REN21

コスト見通し

「電力供給コストを左右するのは、主に燃料価格、新型発電技術への投資コスト、そして将来の二酸化炭素排出に課されうるコストである」



送電線

コスト見通し

将来のエネルギー・シナリオを決定する変数は電力供給コストである。それを左右するのは、主に燃料価格、新型発電技術への投資コスト、そして将来の二酸化炭素排出に課されうるコストだ。エネルギーの将来価格は、IEA、米国エネルギー省、欧州委員会による予測にもとづいている。発電投資の将来コストは、学習曲線を用いて予測された。技術ごとの固有の学習率（進歩指数）は文献調査から得た。各技術の累積設備容量の見通しは、エネルギー[r]eポリューション・シナリオの予測結果を用いた。価格は2000年時点での米ドル換算で表している。

化石燃料価格の見通し

近年の世界石油価格の急騰によって、石油の先行き価格は大幅に上昇することが予測される。たとえば欧州委員会による2004年の「石油・ガス高価格」シナリオは、2030年の石油価格を1バレルあたりわずか34ドルと想定していた。一方、同委員会による現行モデル（CASCADE-MINTS 2006）は、2050年における石油価格を1バレルあたり94ドル、ガス価格を1ギガジュールあたり15ドル、石炭の国際価格を1トンあたり95ドルと予想している。2030年における石油価格の予測は、現在、IEAによる1バレルあたり52ドル（2005年の予測は55ドル）から、高くは100ドルと開きがある。

天然ガス供給はパイプラインの有無に制約されるので、天然ガス市場には国際価格がない。世界のほとんどの地域で、ガス価格は石油価格に連動している。現在、2030年におけるガス価格予測は、ギガジュールあたり4.5ドル（米国エネルギー省）から、最高6.9ドルまで幅がある。

最近のエネルギー価格の動向を考えると、これらの予測は控えめすぎるかもしれない。ここでは世界の石油・ガス需要の増大を考慮し、化石燃料の価格動向を予想した。石油価格は2030年までに1バレルあたり85ドル、2050年には100ドルに達し、ガス価格は2050年までにギガジュールあたり9～10ドルに上昇すると想定している。



バイオマス価格の見通し

化石燃料価格に比べ、バイオマスは価格幅が広い。アフリカやアジアにおける残渣などの伝統的バイオマスは無料あるいは低価格だが、エネルギー作物からつくられるバイオ燃料はかなり高額になる。このような幅はあるものの、EU地域⁹⁾における2030年までの予測を集計し、価格を想定した。それ以降2050年までは私たちの予測で補った。価格上昇はバイオ燃料と化石燃料の価格が連動し続け、さらにエネルギー作物の割合が拡大するとの予想を反映している。ヨーロッパ以外の地域で価格が低めに想定されているのは、開発途上国では伝統的バイオマスが大量に利用されること、そして北米や市場経済移行国でいまのところ未利用となっている残渣のポテンシャルを考慮したことによる。

二酸化炭素の排出コスト

長期的には世界の全地域で二酸化炭素の排出権取引が制度化されると想定されることから、排出割り当てを発電コスト計算に含める必要がある。しかし排出コストの予測は、エネルギー価格のそれよりさらに不確かである。

表5 化石燃料、バイオマスと二酸化炭素排出コストの想定

	2003	2010	2020	2030	2040	2050
化石燃料						
原油 (2000ドル/bbl)	28.0	62.0	75.0	85.0	93.0	100.0
天然ガス(2000ドル/GJ)						
- アメリカ	3.1	4.4	5.6	6.7	8.0	9.2
- ヨーロッパ	3.5	4.9	6.2	7.5	8.8	10.1
- アジア	5.3	7.4	7.8	8.0	9.2	10.5
石炭* (2000ドル/t)	42.3	59.4	66.2	72.9	79.7	86.4
バイオマス(2000ドル/GJ)						
- ヨーロッパ	4.8	5.8	6.4	7.0	7.3	7.6
- ヨーロッパ以外	1.4	1.8	2.3	2.7	3.0	3.2
国 (ドル/TCO₂)						
京都議定書・附属書B国		10	20	30	40	50
非附属書B国			20	30	40	50

※原文は「Hard Coal」(無煙炭、瀝青炭、一部の亜瀝青炭)。

まとめ：在来型エネルギーコストの見直し

化石燃料技術の効率向上と、それにとまなう投資コストの見直しを表6にまとめて示す。

表6 発電技術（抜粋）の効率向上と投資コストの見直し

		2010	2030	2050年
石炭火力発電	効率 (%)	41	45	48
	投資コスト (ドル/KW)	980	930	880
	ECO ₂ 排出コストを含む発電コスト (セント/KWh)	6.0	7.5	8.7
	CO ₂ 排出量 (グラム/KWh) ※	837	728	697
石油火力発電	効率 (%)	39	41	41
	投資コスト (ドル/KW)	670	620	570
	CO ₂ 排出コストを含む発電コスト (セント/KWh)	22.5	31.0	46.1
	CO ₂ 排出量 (グラム/KWh) ※	1,024	929	888
天然ガス複合サイクル発電	効率 (%)	55	60	62
	投資コスト (ドル/KW)	530	490	440
	CO ₂ 排出コストを含む発電コスト (セント/KWh)	6.7	8.6	10.6
	CO ₂ 排出量 (グラム/KWh) ※	348	336	325

出所：ドイツ航空宇宙センター (DLR)、2006

※直接排出量のみ、ライフサイクルの総排出量は考慮されていない。

自然エネルギーコストの見直し

現在、利用可能な自然エネルギー技術は、その成熟度、コスト、潜在的発展性において一様ではない。水力は何十年も前から広く利用されてきたが、その他の技術、たとえばバイオマスガス化は、今後の市場の成熟を待たなければならない。風力や太陽エネルギーといった自然エネルギー源のいくつかは、その特性から供給に変動があるため、系統送電ネットワークとの調整が求められる。これらは多くの場合、地域で生産され地域で消費される「分散型」の技術だが、将来は洋上ウィンドパークや集光型太陽熱発電 (CSP) 施設のような大規模システムも実用化されるだろう。

それぞれの自然エネルギーの利点をいかし、それらの技術を組み合わせることで、利用可能な選択肢の幅に広がりができる。それが市場の成熟を促し、現行の供給システムとの統合も着実に進むだろう。最終的には環境に優しい技術の相互補完的な組み合わせ (ポートフォリオ) によって、熱、電力、燃料が供給されるようになるだろう。

今日、導入されている自然エネルギー技術の大半は、市場形成の初期段階にあるため、その競合相手である在来型エネルギーシステムより一般的に割高だ。またコストは、風況や安価なバイオマスの供給可能性、水力発電プラントの新設にあたって求められる自然保全対策など、地域条件によっても違ってくる。しかし技術・製造面での進展や生産規模の拡大により、とりわけ本報告書が対象としている長期の時間枠において、コスト低下の可能性は大きい。

コストの長期的な推移は、累積設備容量とコストの相関関係を表す学習曲線を用いた。学習率 (または進歩指数) は多くの技術において、0.75 (未成熟なシステム) から0.95強 (確立した技術) である。学習率0.9とは、ある技術の累積発電量が2倍になるたびに、10%のコスト低下が見込まれることを意味する。技術ごとの固有の進歩指数は文献調査から得た¹⁰。たとえば太陽光発電モジュールの学習率はかなり一定していて、30年間にわたり0.8である。風力発電のそれは、先進的な市場をもつドイツでは0.94だが、イギリスは0.75と幅がある。

参照

10 DLR 2006, DR. WOLFRAM KREWITT ET. AL.



まとめ：自然エネルギーコストの見通し

自然エネルギー技術の投資コストの低減は、表7にあるように熱生産と電力生産のコスト低下に直結する。太陽光発電を除き、現在、主要技術の発電コストはキロワット時あたり8～20セント前後である。

長期的にはキロワット時あたり4～10セントほどに落ち着くと見込まれる。各技術のコスト見通しは、地域の風況、日射量、相応価格でのバイオマス入手の可能性、コジェネレーションからの熱利用に補助金を与えるといった、各地域固有の条件によって変わってくる。

表7 自然エネルギー発電技術の投資コスト見通し

		2010	2010	2010
太陽電池	設備容量	GW	22.9	511
	累積設備容量	GW	25.4	604
	成長率		0.8	0.85
	投資コスト	€/kWp	2,853	1,126
	発電コスト（最小・最大）	ct/kWh	0.21-0.45	0.07-0.14
CSP	設備容量	GW	4.6	273
	累積設備容量	GW	4.7	311
	成長率		0.88	0.93
	投資コスト	€/kWp	1,426	738
	発電コスト（最小・最大）	ct/kWh	0.08-0.12	0.06-0.09
風力	設備容量	GW	256	1,509
	累積設備容量	GW	270	2,163
	成長率		0.94	0.94
	投資コスト	€/kWp	1,141	948
	発電コスト（最小・最大）	ct/kWh	0.07-0.08	0.05-0.06
バイオマス（コジェネなし）	設備容量	GW	85	261
	累積設備容量	GW	95	402
	成長率		0.85	0.87
	投資コスト	€/kWp	2,893	2,132
	発電コスト（最小・最大）	ct/kWh	0.06-0.11	0.06-0.12
地熱	設備容量	GW	17	39
	累積設備容量	GW	21	64
	成長率		0.8	0.85
	投資コスト	€/kWp	6,349	4,606
	発電コスト（最小・最大）	ct/kWh	0.11-0.19	0.08-0.12
水力	設備容量	GW	938	1,193
	累積設備容量	GW	1,218	2,487
	成長率		1.1	1.1
	投資コスト	€/kWp	2,331	2,571
	発電コスト（最小・最大）	ct/kWh	0.04-0.09	0.05-0.10
海洋エネルギー	設備容量	GW	3.4	36
	累積設備容量	GW	3.5	44
	成長率		0.85	0.87
	投資コスト	€/kWp	3,204	1,830
	発電コスト（最小・最大）	ct/kWh	0.11-0.36	0.06-0.17

コスト想定参照文献

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: "ENERGY TECHNOLOGY PERSPECTIVES - SCENARIOS AND STRATEGIES TO 2050" (IEA 2006); "WORLD ENERGY OUTLOOK 2005" (IEA 2005); "WORLD ENERGY OUTLOOK 2004" (IEA 2004). ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, US DEPARTMENT OF ENERGY: "ANNUAL ENERGY OUTLOOK 2006 WITH PROJECTIONS TO 2030" (EIA 2006). EUROPEAN COMMISSION: "EUROPEAN ENERGY AND TRANSPORT - SCENARIOS ON KEY DRIVERS" (EUROPEAN COMMISSION, 2004). CASCADE (2006): [HTTP://WWW.E3MLAB.NTUA.GR/CASCADE.HTML](http://www.e3mlab.ntua.gr/cascade.html). NITSCH, J.; KREWITT, W.; NAST, M.; VIEBAHN, P.; GARTNER, S.; PEHNT, M.; REINHARDT, G.; SCHMIDT, R.; UIHLEIN, A.; BARTHEL, C.; FISCHEDICK, M.; MERTEN, F.; SCHEURLIN, K. (2004): ÖKOLOGISCH OPTIMIERTER AUSBAU DER NUTZUNG ERNEUERBARER ENERGIEN IN DEUTSCHLAND. IN: BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT [ED.]: UMWELTPOLITIK, KOLLEN DRUCK. ÖKO-INSTITUT (2005): GLOBAL EMISSION MODEL FOR INTEGRATED SYSTEMS (GEMIS), VERSION 4.3; INSTITUTE FOR APPLIED ECOLOGY E.V.; [HTTP://WWW.GEMIS.DE](http://www.gemis.de). WBGU (2003): ÜBER KIOTO HINAUS DENKEN - KLIMASCHUTZSTRATEGIEN FÜR DAS 21. JAHRHUNDERT. SONDERGUTACHTEN DES WISSENSCHAFTLICHEN BEIRATS DER BUNDESREGIERUNG FÜR GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNG, BERLIN, 2003. [HTTP://WWW.WBGU.DE/WBGU_SN2003.HTML](http://www.wbgu.de/wbgu_sn2003.html)

世界のエネルギー供給シナリオ

「エネルギーや環境問題を分析するには、少なくとも半世紀先まで視野に入れる必要がある」



ドイツ・ロストック近郊の太陽光および風力の設備

エネルギー[r]eポリューション・シナリオ

エネルギー供給や気候変動を緩和するための原則を行動に移すには、長期的な見通しが求められる。新しいエネルギー基盤の構築やエネルギー技術の開発には時間がかかるし、政策転換の効果が表れるまでには、往々にして何年も要するからだ。そのためエネルギーと環境問題を分析するには、少なくとも半世紀先まで視野に入れる必要がある。エネルギー・シナリオの意義は、いくつかの想定されうる道筋と将来像を描くことで、政策決定者たちに、将来のエネルギーシステムのうち現代はどこまで構築可能かを提示することにある。ここでは想定されうるエネルギー供給システムの道筋のうち、2つの特徴的なシナリオを用いる。ひとつはレファレンス・シナリオで、現状の趨勢と政策が継続すると想定し、もうひとつのエネルギー[r]eポリューション・シナリオは、一連の環境政策目標の達成を意図したものである。

レファレンス・シナリオは、国際エネルギー機関（IEA）の『世界エネルギーアウトLOOK2004年版』（『WEO2004』）におけるレファレンス・シナリオにもとづいている。同シナリオは現存する政策のみを検討している。想定には、たとえば電力・ガス市場改革の進展、エネルギー取引の国境を越えた自由化、環境汚染に関する近年の政策は含んでいるが、温室効果ガス排出削減のための政策は考慮に入れていな

い。IEA のシナリオが対象としている期間は2030年までなので、これに主要なマクロ経済指標を外挿することで延長し、エネルギー[r]eポリューション・シナリオと比較するにあたってのめやすとしている。

エネルギー[r]eポリューション・シナリオは、世界の平均気温の上昇を2℃未満に抑えるため、世界全体の二酸化炭素の排出量を2050年までに年110億トン程度にまで削減すること、同時に原子力発電を段階的に廃止することも目標としている。これらを達成するため、本シナリオではエネルギー効率向上のもつ潜在的可能性を最大限に追求することに重点を置いている。また、熱供給と発電の両面で費用対効果の高い自然エネルギーや、バイオ燃料の生産についても評価している。人口増加率や国民総生産（GDP）成長率といった基本的な社会変数は、レファレンス・シナリオと同じものを採用している。

これらのシナリオは、けっして未来を予言するものではなく、想定されるさまざまな道筋のうち、2つの将来像を描いているにすぎない。エネルギー[r]eポリューション・シナリオの目的は、それが掲げる意欲的な目標を達成するのに必要な努力と行動を提示しつつ、持続可能なエネルギー供給システムへの転換に向け、現存する選択肢を明らかにすることだ。



シナリオの背景

本報告書のシナリオを作成するにあたり、グリーンピースと欧州自然エネルギー評議会 (EREC) は、ドイツ航空宇宙センター (DLR) にシミュレーションを委託した。エネルギー供給シナリオは、2007年度版エネルギー [r]eポリューション・シナリオで用いたMESAP/PlaNetモデルを使って計算した。エネルギー需要予測は、エネルギー効率向上の潜在的可能性についての評価をもとに、エコフィス社が作成した。本報告書もレファレンス・シナリオと同様、IEAのデータを用いてモデルを補正している。ベースラインはMESAP/PlaNetにおける地域モデルの補正に用いられたIEAの2005年度統計 (IEA2007 a;b) である。レファレンス・シナリオは現行のIEA『世界エネルギーアウトック』 (IEA2007c) にもとづいているが、2007年度版エネルギー [r]eポリューション・シナリオと同じく、その時間枠を2050年まで延長している。

エネルギー効率向上についての評価

エコフィス社は、IEAがWEOシリーズで定義している地域分類を用い、各地域の各部門について、2003年から2050年におけるエネルギー需要の低位シナリオを作成した。2010年以降の予測は10年ごととした。需要は電力と燃料に2分し、産業、運輸、その他 (家庭・サービスほか) の3部門について計算した。これによって2つの低位シナリオ、すなわちレファレンス・バージョンと、エネルギー効率技術を意欲的に導入したバージョンが得られた。後者は、エネルギー効率分野において技術革新が不断になされるとし、現存する最高水準の技術と、将来実用化が見込まれる技術が導入されると想定している。その結果、2050年の世界の最終エネルギー需要は350エクサジュールとなり、レファレンス・シナリオの47%まで削減される。省エネルギーは、産業、運輸、その他の3部門にほぼ等しく普及するものと想定している。なかでも重要なのは、旅客・貨物輸送の効率化、および建物の省エネ設計と断熱性能の向上である。これらの合計は世界で見込まれる省エネの46%を占める。

人口増加

エネルギー・シナリオを作成するにあたって重要となる要素のひとつは、今後の人口の伸びである。人口の増加は経済成長や開発だけでなく、エネルギー需要とその構成にも直接的・間接的な影響をおよぼす。『WEO2007』の人口見通しは、国連の最新の世界人口予測 (国連開発計画2007) に依拠している。2008年度版エネルギー [r]eポリューション・シナリオも、同様の人口見通しを用いている。WEOの予測対象期間は2030年までなので、時間枠を2050年まで延長している。

世界人口は2005年から2050年にかけて年平均0.77%で増え、2005年の65億人から2050年には91億人を上回ると予想される。予測期間中の人口増加率は、2005年から10年にかけては年平均1.2%、2040年から50年にかけては0.41%に減速するだろう。人口は先の報告書での見通しより、さらに3億人増えると予測される。もっとも急速な伸びを示すのは今後も発展途上地域である。市場経済移行国の人口は減少傾向が続く、少し遅れてOECD太平洋地域も減少するだろう。OECD欧州および北米地域では現状のままで、2020年から30年あたりにピークを迎えた後、やや減少すると予測される。非OECD地域が世界人口全体に占める割合は今日の82%から2050年には86%となるだろう。中国が占める割合は今日の20%から2005年には15%に減るだろう。アフリカは依然として高い伸び率を示し、2050年には21%を占めるだろう。

発展途上地域では、人口増加にともないエネルギー需要が増大する。環境に負荷をかけずに、こうした需要増に対応できるようにすることが、持続可能なエネルギー供給を実現するうえでの鍵となる。

経済成長

エネルギー需要を駆りたてる主因は経済成長だ。1971年以降、世界のGDPが1%成長するのにともない、一次エネルギー消費は0.6%増大している。したがって将来のエネルギー需要を削減するには、エネルギー需要の伸び率とGDP成長率の分離、いわゆる「デカップリング」 (decoupling) *が不可欠である。

※訳注：デカップリング (decoupling) とは「分離」を意味し、環境エネルギー分野では、経済成長とエネルギー (CO₂) 成長の比例関係が「分離」され、エネルギー消費やCO₂を横ばい、さらには削減に転じながら経済成長している状況をさす。

過去に作成されたエネルギー・経済・環境についてのモデルは、各国の見通しと補正を行うにあたり、市場為替レートを用いて共通通貨に換算していた。このアプローチについては近年かなり議論があることから、その代替として購買力平価 (PPP) 換算が提案されている。購買力平価とは、一定の貿易あるいは非貿易財とサービスで構成されるバスケットのコストをさまざまな通貨で比較するもので、幅広い基盤における生活水準の尺度を生成する。これはエネルギー需要を決定する主要因の分析や、各国のエネルギー集約性を比較するうえで有用である。

PPP評価という概念はまだ仮説であり、国民所得や国民生産による評価や物価指数の構築に比べると正確さで劣るが、世界シナリオを策定するにあたっては、よりよいベースを提供すると考えられている (ノードハウス、2005)。『WEO2007』も経済発展に関するデータはすべて、購買力平価換算のGDPにもとづいている。本書もそれにならい、すべてのGDPデータは市場為替レートではなく、購買力平価を用いて2006年時点での米ドル換算で表す。『WEO2007』のレファレンス・シナリオの予測対象期間は2030年までなので、2030~2050年の経済成長については本書の推定による。

GDPの見通しは先の報告書より大幅な伸びを示し、成長傾向にある。しかし成長率はどの地域でも、しだいに鈍化していくと見込まれる。世界のGDPの年平均成長率は、1971年から2002年にかけては3.3%だったが、2005年から2030年は3.6%、さらに本シナリオが対象とする2050年までの期間全体でも平均3.6%と予想される。もっとも成長が速いのは中国とインドで、その他のアジア・アフリカの途上国と市場経済移行国が続くと見込まれる。中国経済は成熟するにつれて減速するものの、PPP換算において2020年代はじめには世界最大となっているだろう。OECD欧州とOECD太平洋地域のGDP成長率は、予測期間全体で年平均2%をやや下回ると予想される。一方、OECD北米地域は2%をわずかに上回ると見込まれる。購買力平価を考慮した世界のGDPに対するOECD加盟国のシェアは、2005年の55%から、2050年には29%へと低下するだろう。

エネルギー[r]eポリューション

エネルギー[r]eポリューション・シナリオは、現在のエネルギー供給システムから持続可能なシステムへ移行するための道程を提示している。

- レファレンス・シナリオでは、2050年の一次エネルギー需要は、現在の年43万5000ペタジュールから81万ペタジュールに増大する。これに対しエネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、エネルギー効率のもつ潜在的可能性を追求することで、需要は2050年までに年42万2000ペタジュールまで減る。重要なのは一次エネルギー需要の大幅な削減である。これによりエネルギー供給全体に占める自然エネルギー源の割合を増やすことができ、原子力発電の段階的廃止および化石燃料の消費削減も可能となる。
- コジェネレーション（熱電併給：CHP）の利用拡大は、燃料が天然ガスであれバイオマスであれ、供給システムにおけるエネルギー利用効率を向上させる。ただし長期的には、熱需要の低下が見込まれること、自然エネルギー源からの熱を直接利用できるようになることなどから、コジェネレーションの拡大は一定規模にとどまるだろう。
- 発電部門は自然エネルギー利用のパイオニアになるだろう。2050年までに電力の約70%が、大規模水力を含む自然エネルギーでまかなわれるようになるだろう。自然エネルギーの設備容量は、2050年までに7100ギガワットとなり、総発電量は年2万1400テラワット時となるだろう。
- 熱供給部門における自然エネルギーの割合は、2050年までに65%に増大するだろう。化石燃料は、主に高効率化された最新のバイオマス、太陽熱温水システム、地中熱利用などに取って代わられるだろう。
- 運輸部門においてバイオ燃料利用を拡大する前に、まず自動車のエネルギー効率向上が追求されなければならない。本シナリオではバイオマスは定置利用を第一とし、輸送用燃料としての利用は持続可能な方法で栽培・生産されたバイオマスに限定する。
- 2050年までに、一次エネルギー需要の50%が自然エネルギーによってまかなわれるようになるだろう。

自然エネルギーを経済的に魅力あるものに成長させていくためには、それらをバランスよく、かつタイムリーに導入していくことがきわめて重要となる。その進展は、自然エネルギー源のポテンシャル、コストダウンの可能性、技術の成熟度にかかっている。

二酸化炭素排出量の推移

レファレンス・シナリオでは、2050年までに世界の二酸化炭素排出量はほぼ倍増し、持続可能な道程とはかけ離れた結果となっている。これに対し、エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、2003年に230億トンだった排出量が、2050年には115億トンに減少する。一人あたりの排出量は、年4.0トンから1.3トンに減少する。二酸化炭素の総排出量に占める発電部門の割合は2050年には36%に減り、運輸部門が最大の排出源となるだろう。長期的には、運輸部門でも効率向上とバイオ燃料利用の拡大により排出量が低減するだろう。

コスト

電力需要が増大すれば、社会が電力供給に費やすコストも大幅に上昇せざるをえない。レファレンス・シナリオでは、電力需要は増大の一途をたどり、さらに化石燃料価格と二酸化炭素の排出価格も上昇するとしている。そのため電力供給コストは、現在の年1兆1300億ドルから、2050年には4兆3000億ドルにまで跳ね上がると予測される。

エネルギー[r]eポリューション・シナリオは、世界の二酸化炭素の排出削減目標の達成に資するだけでなく、エネルギーコストを安定させ、社会の経済負担も軽減する。エネルギー利用効率の向上と、自然エネルギーへの移行により、長期的な電力供給コストはレファレンス・シナリオのそれより、およそ3割低減するだろう。厳しい環境目標をクリアすることは、経済的にも有益であるのは論を待たない。

気候変動抑止とエネルギー[r]eポリューションを実現するための施策

- 化石燃料と原子力に対する補助金の段階的廃止と、「外部コスト」※の内部化
- 自然エネルギー拡大に向けた法的拘束力のある目標設定
- 投資者への一定かつ安定した利益還元
- 自然エネルギー発電事業者による系統接続の優先化
- 電化製品、建物、自動車等に対する厳しい省エネ基準の適用

※訳注：核燃料や化石燃料などを使って発電したときに発生する環境コストや社会コストなどをさす。これらのコストは価格に適正に反映されていない。

ソーラー・パネルが設置されている冷蔵工場（魚の鮮度保持用）。
マーシャル諸島リキエップ環礁。



図5 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける一次エネルギー消費の見通し

（「効率化」＝レファレンス・シナリオと比べた低減分）

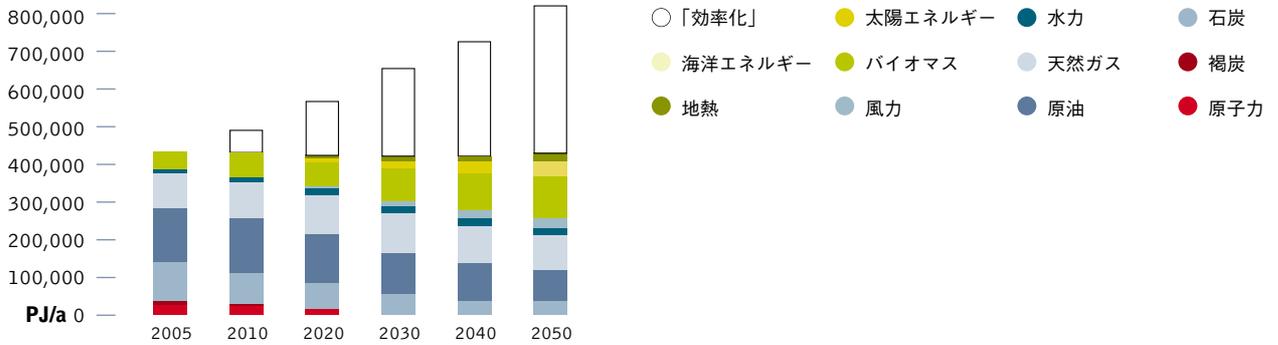
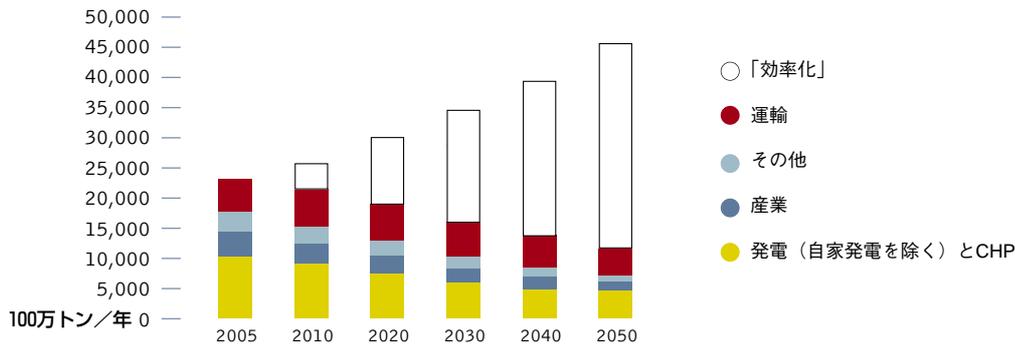


図6 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける二酸化炭素排出量の見通し

（「効率化」＝レファレンス・シナリオと比べた低減分）



日本のエネルギー[r]eポリューション・シナリオ

「今こそ真のエネルギー安全保障と持続可能なエネルギーの未来、すなわちクリーンな技術のうえに築かれた経済と何百万もの雇用をもたらす未来に向けてコミットするときだ」



北国の遅い春。風車の横で田植えに励む農婦たち。

将来のエネルギー需要を左右する主因は、以下の3点である。

- 人口増加：エネルギーを消費、あるいはエネルギー・サービスを利用する人の数
- 経済成長：もっともよく用いられる指標は国内総生産（GDP）。一般にGDPの上昇はエネルギー需要の増大をもたらす。
- エネルギー原単位：一単位のGDPを生産するのに要するエネルギー消費量

エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける人口と経済の見通しは、レファレンス・シナリオのそれにもとづいている。エネルギー原単位については、両者の見通しに違いがあるが、これは本シナリオがエネルギー効率化措置を考慮しているためである。

人口の見通し

日本政府の見通しによると、日本の人口は現在の1億2800万人から2050年には1億300万人に減るだろう。この減少傾向により、エネルギー資源と環境への負荷はやや軽減されるだろう。

エネルギー原単位の見通し

エネルギー需要は、必ずしも経済活動の発展と人口増加に比例して上昇するとは限らない。エネルギー効率の向上には、まだまだ大きなポテンシャルがある。レファレンス・シナリオにおいてさえも、エネルギー原単位はおよそ年率1.0%で減少すると予想される。それにより単位GDPあたりの最終エネルギー需要は、2003年から2050年にかけて40%低減するだろう。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、エネルギー効率を高める積極的な政策と技術が導入されると想定している。それにより、エネルギー原単位はほぼ75%減少するだろう。



図7 日本の人口の見通し

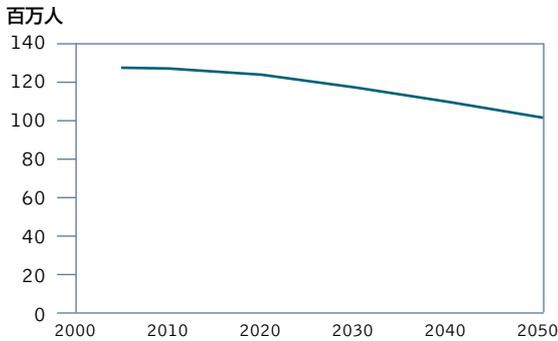


図8 レファレンス・シナリオとエネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける日本のエネルギー原単位の見通し

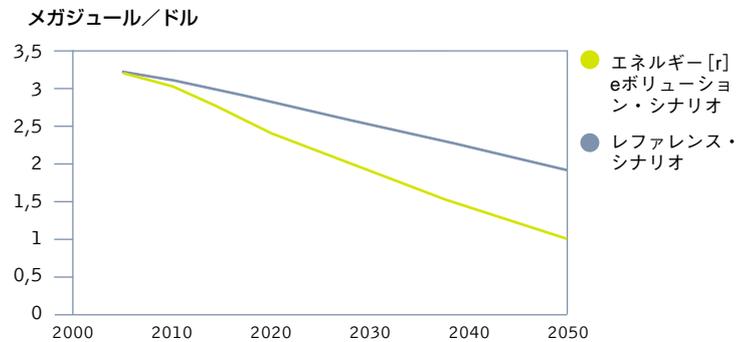
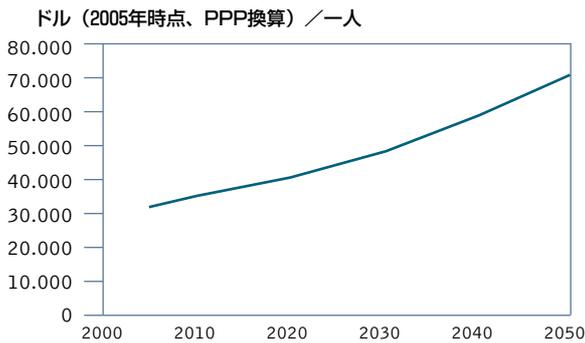


図9 日本の一人あたりGDPの見通し



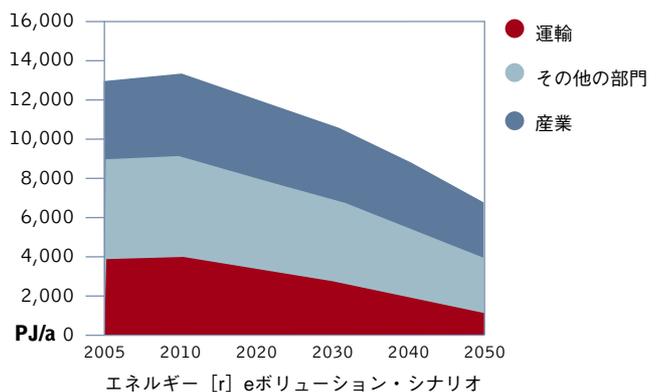
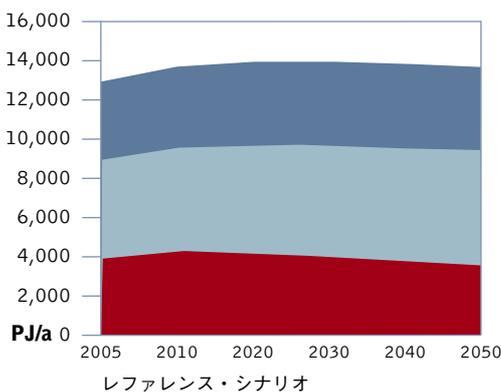
部門別エネルギー需要の見通し

人口増加、GDP成長、エネルギー原単位の見通しを総合することで、今後のエネルギー需要動向が得られる。図10にレファレンス・シナリオとエネルギー[r]eポリューション・シナリオを示す。レファレンス・シナリオでは、総エネルギー需要量は現在の年2万2235ペタジュールから2050年には年2万3918ペタジュールに増える。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、2050年に見込まれるエネルギー消費量の増加は現在比の53%と大幅に減少し、総需要量は年1万459ペタジュールとなる。

エネルギー供給において自然エネルギー源が十分なシェアを占めるようになるには、エネルギー効率の加速度的な向上が不可欠である。これはまた、環境だけでなく経済にとっても有益だろう。ライフサイクル全体で考えると、多くの場合、エネルギー供給を増大させるより効率向上策を導入したほうが投入コストを小さくできるし、それによって自然エネルギー源の市場導入段階で必要となる追加コストの一部を補うことができる。

図10 レファレンス・シナリオとエネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける日本の部門別最終エネルギー需要の見通し

(非エネルギー利用、自家発電、エネルギー損失を除く)

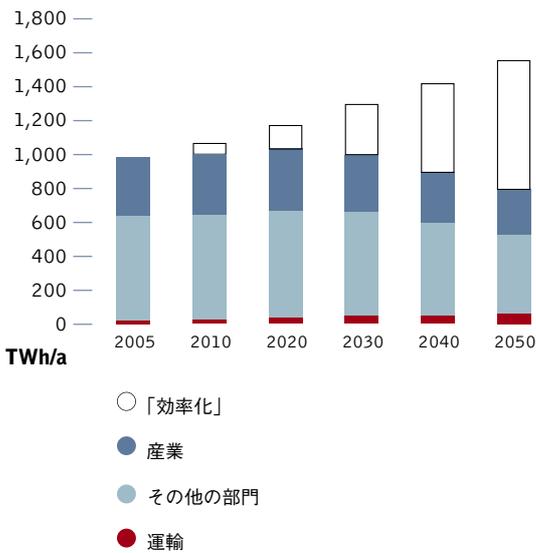


部門別電力需要

エネルギー[r]eポリューション・シナリオは、家庭・サービス部門における電力需要の伸び率が他の部門に比べて大きくなると予想している（図11参照）。しかし効率向上策を進めることで消費量の激増は抑えられ、2050年の電力需要は年782テラワット時あたりになるだろう。レファレンス・シナリオと比べ、およそ年779テラワット時の発電が不要となる。こうした削減は、とりわけ最高水準の技術を用いた高効率電気機器の使用により、すべての需要部門で達成できるだろう。住居用ならびに事業用建物へのパッシブ・ソーラー設計の導入は、増大傾向にあるアクティブな（動力や機械を使う）空調需要を下方へと向かわせるだろう。

図11 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける日本の部門別電力需要の見通し

（「効率化」＝レファレンス・シナリオと比べた低減分、その他の部門＝サービス、家庭）



発電

電力供給部門の見通しは、自然エネルギー市場のダイナミックな成長と、電力供給における自然エネルギー源のシェアの伸びに特徴づけられる。これによって原子力発電所と火力発電所の大幅な削減が可能となるだろう。2050年までに日本で生産される電力の60%は自然エネルギー由来となるだろう。風力、バイオマス、地熱、太陽エネルギーといった「新しい」自然エネルギーが、発電量の65%をまかなうだろう。将来の自然エネルギー供給への道を開くのは、以下のような施策である。

- 電力需要の伸長は、火力と原子力発電所が減少しても、最新式の高効率なガス複合サイクルプラントが運転に入るのに加え、地熱発電プラント、バイオマス発電プラント、風力発電機の設備容量が増大するので、それらによってまかなわれるだろう。長期的には地熱、太陽電池、バイオマス、風力がもっとも重要な発電源となるだろう。
- 太陽電池、バイオマス、水力は、発電に大きく寄与するだろう。とりわけ出力変動が少ない地熱とバイオマスは、電源ミックスの重要な構成要素となるだろう。
- 自然保護の観点から、水力発電は現在の3万メガワットから4万4000メガワットへ微増するにとどまるだろう。増加分の一部は既設発電所のパワーアップや最新化による。
- 自然エネルギー技術の設備容量は、現在の36ギガワットから2050年には205ギガワットに増えるだろう。今後40年ほどのあいだに5.7倍も伸びるには、それを可能にする制度の構築と政策支援が必要である。電力需要は比較的ゆっくりと低下するので、今後20年にわたり大きな新規設備投資需要が見込まれる。電力部門の投資サイクルは長期におよぶ。日本のエネルギー供給システムを再構築するには、いまその決断がなされなければならない。

自然エネルギー技術を経済的に魅力あるものに成長させていくためには、それらをバランスよく、かつタイムリーに取り入れていくことがきわめて重要となる。その進展は、自然エネルギー源のポテンシャル、コスト低減の可能性、技術の成熟度にかかっている。図14に自然エネルギー技術の相対的伸びを時間軸にそって示す。2010年までは水力とバイオマスによる寄与が大きい。2020年以降、地熱、太陽電池、風力による発電が伸び続け、残りの部分は海洋エネルギーを利用した発電で補われるだろう。



図12 レファレンス・シナリオにおける日本の発電の見通し

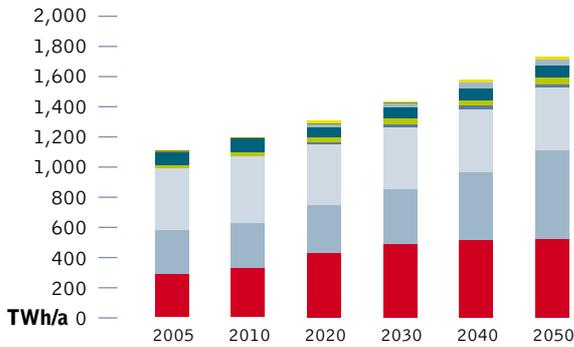


図13 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける日本の発電の見通し

(「効率化」=レファレンス・シナリオと比べた低減分)

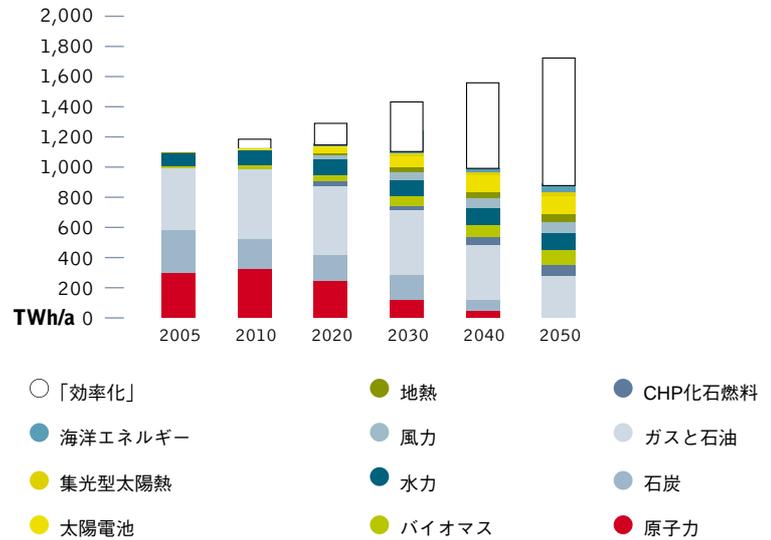


図14 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける日本の自然エネルギー源別電力供給の伸び

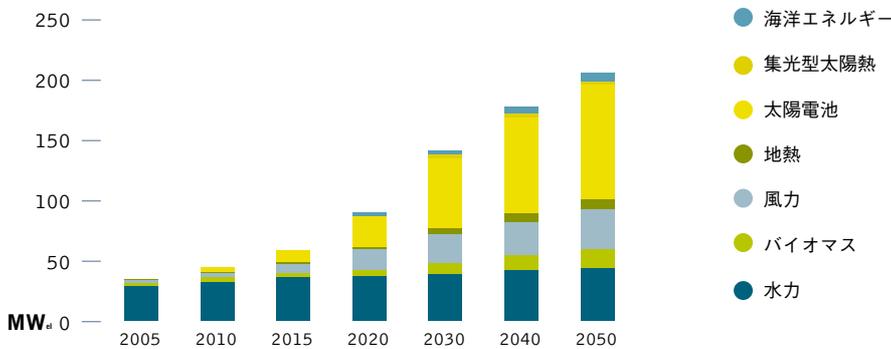


表8 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける日本の自然エネルギー発電容量の見通し

単位：メガワット

	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
水力	25,000	-	-	-	-	-	-
風力	1,000	2,500	7,900	17,000	24,500	27,700	31,500
太陽電池	1,350	2,850	9,300	26,400	59,285	81,400	95,000
バイオマス	2,600	3,500	4,000	5,900	9,200	12,800	17,450
地熱	560	1,000	1,200	1,970	3,850	5,500	7,500
集光型太陽熱	-	-	-	-	500	1,500	2,000
海洋エネルギー	-	-	600	1,500	3,800	6,200	7,500
合計	30,510	9,850	23,000	52,770	101,135	135,100	160,950

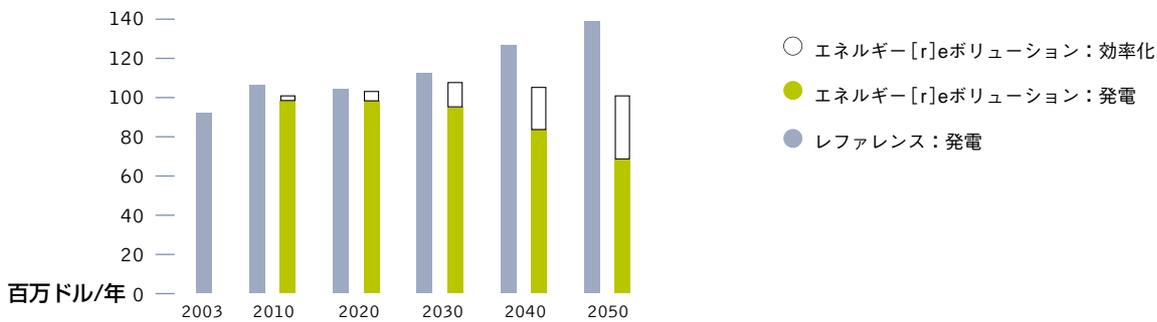
注：2010年以降は水力発電分を除いて計算している。

発電コストの見通し

日本は電力需要の増大により、電力供給に費やす社会的コストの大幅な上昇に直面する。レファレンス・シナリオでは電力需要は増大の一途をたどり、さらに化石燃料価格と二酸化炭素の排出価格も高くなるため、供給コストは2050年には約1380億ドルにのぼる。図15はエネルギー[r]eポリューション・シナリオが、世界の二酸化炭素排出削減

目標を達成するのに資するだけでなく、エネルギー・コストを安定させ、社会の経済負担の軽減にも役立つことを示している。エネルギー効率の向上と自然エネルギーへの移行により、長期的な電力コストはレファレンス・シナリオのそれより38%近く低減するだろう。厳しい環境目標をクリアすることは、経済的にも有益であることは論を待たない。

図15 日本の電力供給コストの見通し



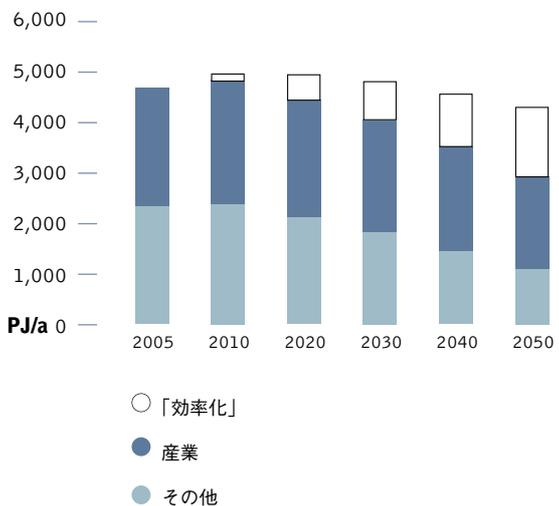
熱需要

効率向上の効果は、熱供給においていっそう顕著となる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、熱の最終需要の低減は電力のそれよりさらに大きくなるだろう（図16参照）。レフェレンス・シナリ

オに比べると、2050年までに年1381ペタジュール相当の熱を生産せすにすむ。既築の住宅・建物は省エネタイプに改修し、新築には省エネ基準や「パッシブ・ハウス」設計を導入することで、熱需要を大幅に減らしながら、快適さと利便性を引き続き享受できるだろう。

図16 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける日本の熱供給の見通し

(「効率化」=レファレンス・シナリオと比べた低減分)





冷暖房および熱供給

冷暖房および熱供給供給部門において自然エネルギーを進展させるには、次のような課題がある。今日、自然エネルギーは日本の熱供給における一次エネルギー需要の2.6%を担っており、その中心はバイオマス利用だ。冷暖房および熱供給における地熱と太陽熱エネルギーの大規模な利用は、住宅部門だけでなく産業部門においても増えている。これまでの実績が示すように、電力部門は送配電系統があり、それに連系する電源も多様なことから、実効力のある普及策を実施しやすい。

熱市場のダイナミックな発展を確実にするには、その後押しに特化した支援策が必要である。

- エネルギー効率向上策により生活水準を向上させながら、現在の熱需要をおよそ38%低減できる。
- 住宅部門では太陽熱温水システム、バイオマス／バイオガス、地熱エネルギーが、化石燃料を燃焼する熱供給システムに取って代わっていく。
- その他の従来型の適用においては、石炭・石油から天然ガスへの移行が進み、二酸化炭素排出をさらに低減させるだろう。

図17 レファレンス・シナリオにおける日本の熱供給の見通し

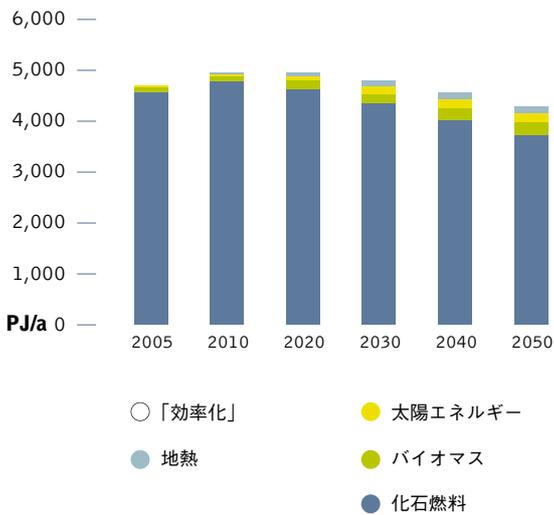
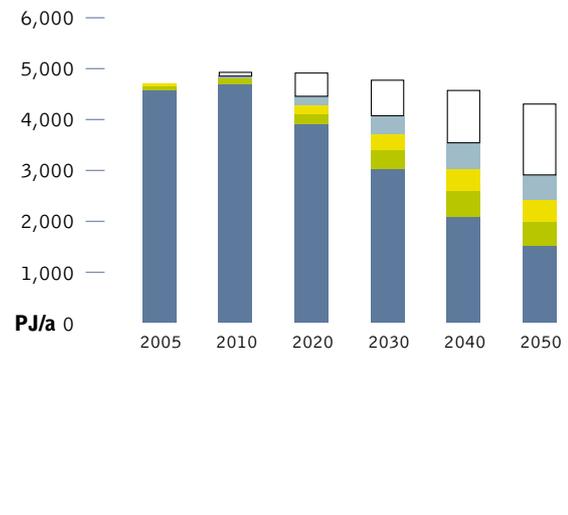


図18 エネルギー[r]eボリューション・シナリオにおける日本の熱供給の見通し

(「効率化」=レファレンス・シナリオと比べた低減分)



一次エネルギー消費

これらの想定にもとづいて推計した一次エネルギー消費の見通しを図20に示す。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、2050年の一時エネルギー需要は、レファレンス・シナリオに比べてほぼ51%低減するだろう。自然エネルギーによって残りの30%以上がまかなわ

れるだろう。本書では、2050年における水力・風力・太陽エネルギー・地熱による発電量は一次エネルギー消費量と同量になると想定し、それを「効率化」として一次エネルギー消費の推計に含めているため、エネルギー供給に占める自然エネルギー源のシェアが小さいように見えるが、実際には重要なエネルギー・キャリア（エネルギー利用媒体）となっている点に留意されたい。

図19 レファレンス・シナリオにおける日本の一次エネルギー消費の見通し

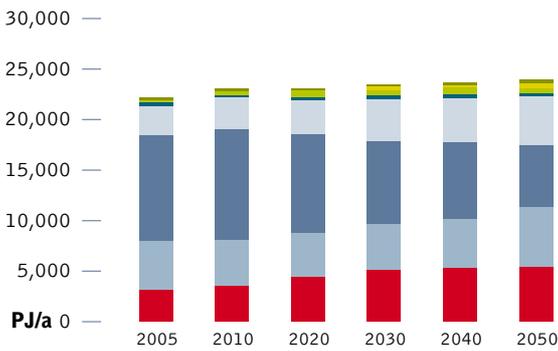
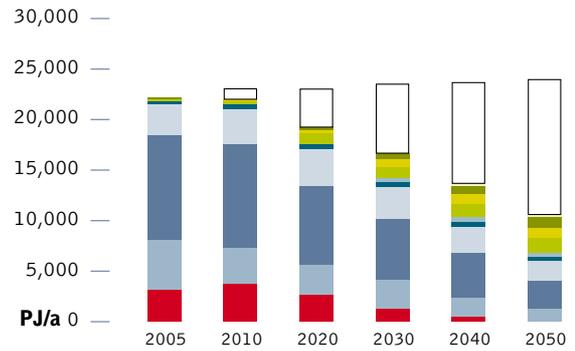


図20 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける日本の一次エネルギー消費の見通し

(「効率化」=レファレンス・シナリオと比べた低減分)



- 石炭
- 太陽エネルギー
- 水力
- 石炭
- 海洋エネルギー
- バイオマス
- 天然ガス
- 褐炭
- 地熱
- 風力
- 原油
- 原子力

ドイツ・ベルリン近郊にある「アドラー
スホーフ科学技術パーク」の太陽光発電
設備。追尾装置のあいだをぬって羊が草
を食み、草の丈を短く保っている。



燃料コスト

二酸化炭素排出量の見通し

日本の過去の二酸化炭素排出量（温室効果ガスインベントリオフィスのデータ）を表9に示す。2005年度のエネルギー起源の二酸化炭素排出量は、1990年度比の113%である。

レファレンス・シナリオでは、日本の二酸化炭素排出量は2050年ま

でに8%減少するものの、持続可能な道程からはほど遠い。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは排出量が大幅に低減し、2005年の年11億3500万トン億トンから2050年には年2億7500万トンになるだろう。一人あたりの排出量は年8.9トンから年2.7トンに低下するだろう。今日、エネルギー起源の二酸化炭素排出源のうち最大のシェアを占めているのは発電部門である。2050年には全体のおよそ39%になるだろう。

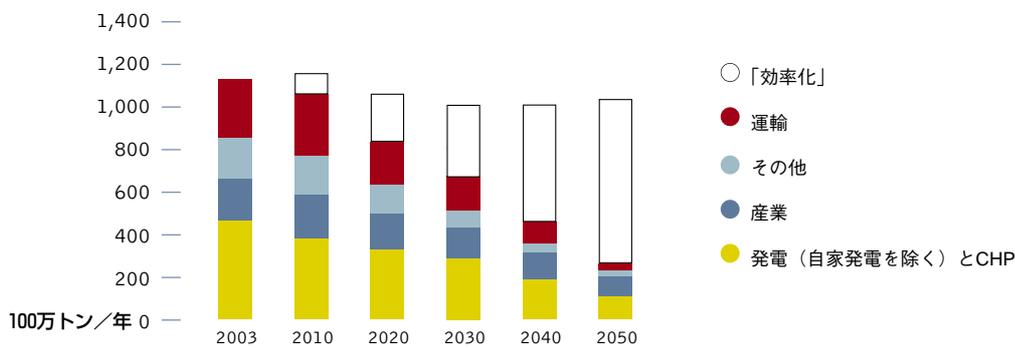
表9 日本の二酸化炭素排出量（温室効果ガスインベントリオフィスのデータ）

単位：百万トン

部門	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
発電	318	320	327	309	350	338	338	334	324	341	348	340	371	385	382	397
産業	390	386	377	375	383	387	396	397	373	379	389	378	385	390	390	381
運輸	211	222	227	232	244	251	257	259	258	260	259	262	257	254	254	250
業務	84	81	82	87	85	93	91	89	94	101	101	108	112	109	109	107
家庭	57	57	61	65	62	66	66	65	65	67	69	66	68	64	64	68
小計	1,059	1,067	1,074	1,068	1,123	1,135	1,147	1,143	1,113	1,148	1,167	1,153	1,193	1,198	1,199	1,203
1990年比	100.0%	100.7%	101.4%	100.8%	106.0%	107.2%	108.3%	100.8%	105.1%	108.4%	110.2%	108.9%	112.6%	113.1%	113.2%	113.6%

図21 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける日本の二酸化炭素排出量の見通し

（「効率化」=レファレンス・シナリオと比べた低減分）



シナリオの想定

日本のエネルギー[r]eポリューション・シナリオは、環境エネルギー政策研究所（ISEP）による自然エネルギー・ポテンシャルの長期的展望をベースとしている¹¹。ISEPが同研究に用いた想定は以下のとおり。

エネルギー需要

- 各部門の需要は、国立環境研究所（NIES）の『2050年低炭素社会シナリオ』をベースとしている¹²。家庭部門とサービス部門のエネルギー・バランスは微修正した。本シナリオの想定では、家庭・サービス部門において暖房、給湯、調理へのヒートポンプ（HP）利用が進み、NIESシナリオに比べ効率がさらに向上する。また家庭部門における断熱強化により熱需要が低下する。これらの分野を除き、エネルギー効率の想定はNIESのそれと同じである。

エネルギー供給——発電

- 自然エネルギーによるエネルギー供給は、ISEPによる自然エネルギー・ポテンシャルについての研究と、自然エネルギー関係の団体が提示した導入可能性にもとづいている。これらの団体とは、日本風力発電協会、太陽光発電協会、日本地熱学界、日本地熱開発企業協議会である。
- 国産バイオマスは発電と熱供給において利用されると想定した。輸送燃料については、持続可能な基準を満たした輸入バイオマスと想定した。バイオマス賦存量および発熱量係数は、NEDO「バイオマス賦存量・利用可能量推計GIS データベース」の数字を参照した。
- “発電”とは電力会社からの電力供給をさし、“分散型電源”とは産業やその他の民間発電所からの電力供給をさす。

エネルギー供給——熱供給

- “熱供給”とは、産業、業務、家庭部門で消費される化石燃料と自然エネルギーから生産された熱をさす。
- “燃料供給”とは、輸送（旅客・運送）部門で消費される化石燃料と自然エネルギーをさす。
- 化石燃料発電とバイオマス発電の一次エネルギー換算値は、投入された燃料のエネルギー量とする。その他は発電効率40%として修正した。
- 石油とコークスの生産におけるエネルギー消費は、一次エネルギーとみなした。
- 2050年における発電効率の想定は以下のとおり：電力会社（発電の項参照）の場合、石炭48%、LNG55%、石油／バイオマス40%。
- NIESのシナリオBと比べ、エネルギー効率が大幅に向上する。これはサービス部門と家庭部門で熱水供給と調理にヒートポンプ利用が増えること、加えて住宅の断熱が大幅に向上することによる。この二つの分野を除き、エネルギー効率についての想定はNIESシナリオのそれと同じである。
- 2020年の予測は、2000年と2050年の期間を線形補完で計算している。
- 地熱については、業務部門における温泉熱の熱電変換発電への利用が含まれる。
- 分散型太陽光発電の設備容量は、NIESのシナリオBより1.5倍大きくなると見込まれる。

参照

11 YEAR 2050 RENEWABLE ENERGY VISION IN JAPAN”, INSTITUTE FOR SUSTAINABLE ENERGY POLICIES, FEB. 2008, [HTTP://WWW.ISEP.OR.JP/EVENT/080221SYMPO2050.HTML](http://www.isep.or.jp/event/080221sympo2050.html)

12 “JAPAN SCENARIOS TOWARDS LOW-CARBON SOCIETY(LCS) – FEASIBILITY STUDY FOR 70% CO2 EMISSION REDUCTION BY 2050 BELOW 1990 LEVEL”, IES, KYOTO UNIV., RITSUMEIKAN UNIV. AND MIZUHO INFORMATION AND RESEARCH INSTITUTE, FEB. 2007. [HTTP://2050.NIES.GO.JP/INDEX.HTML](http://2050.NIES.GO.JP/INDEX.HTML)

政策提言

「……持続可能な経済成長、質の高い雇用、技術発展、国際競争力、産業や研究におけるリーダーシップなどももたらすだろう」



自然エネルギー全般における政策

1. 長期的な高い数値目標と、それに対する政治的コミットメント

- 最終エネルギー消費（電力、熱供給、運輸部門）に占める自然エネルギーの導入目標（2020年までに12%、2050年までに40%）を設ける。
- 電力分野は数値目標をとまなう政策措置がもたらす効果が大きいことから、数値目標はとくに重要である。
- こうした目標へのコミットメントは、本来、国に求めるものだが、国が消極的な姿勢に留まる日本では、地方自治体が率先して目標値の策定にあたることを求められる。

2. 化石燃料等への補助金の段階的廃止と外部コストの内部化

- 自然エネルギーを普及させるため税制を改革し、その費用分担の枠組みと公平な費用負担を、国民的な合意にもとづいて定める。
- 具体的には環境税（炭素税）の適用や、費用負担をエネルギー料金へ組み入れることで、外部費用を内部化する。

3. 「エネルギー市場」における規制や慣習による障害の低減

- 分散型の自然エネルギーを導入するにあたり障害となる既存の規制や制度——自然公園法・農地法・建築基準法・廃掃法など——との不整合を柔軟に見直す。
- 自然エネルギー源と競合する可能性のある、水利権、地熱（温泉熱）利用、漁業権など、既存の権利関係を整理・統合し、透明で公正な手続きをつくる。

4. 透明で安定した市場の創造

自然エネルギー事業の経済面でのリスクを長期間にわたって低減するため、以下の施策を実施する。

- 自然エネルギー事業に対する、長期的で安定した経済支援策を設ける。
- 二酸化炭素市場を創設し、二酸化炭素排出削減価値の証書化と整合させる
- 投資家の観点から長期的で安定した自然エネルギー市場を創る。
- 需要家が発電源を直接選択できるエネルギー市場を創る。
- 官公庁が率先して導入することにより、自然エネルギーの初期需要を創出する。
- 地域開発や建築物・住宅の新改築にあたっては、自然エネルギー利用を義務化する。

- 自然エネルギー事業のリスクを官民で共有するため、開発段階におけるリスクをカバーする基金を設ける。

5. 地域へ自然エネルギーの恩恵をもたらす市民・住民参加の仕組み

- 自然エネルギー事業の開発プロセスに地域住民が早期から参加できるよう、透明な土地利用計画や環境アセスメント制度をつくる。
- 地域社会が自然エネルギー事業の恩恵を享受できるように、地域住民が一定割合を所有するような地域ファイナンスの仕組みをつくる。
- 自然エネルギーの普及に向け、地方自治体や事業者、市民などが参加する地域に根ざしたエネルギー事務所のようなパートナーシップを形成する。

6. すでに実施されている政策の継続と強化

- 国による研究・開発支援
- ベスト・プラクティスの表彰制度
- 自然エネルギーと環境に関する教育・啓発・広報活動の実施と拡充

自然エネルギーの電力分野における施策

送電系統への接続ルールの見直しは、自然エネルギー普及の鍵を握る。そこで以下の政策を提言する。

1. 原則：自然エネルギー発電事業者による系統接続の優先化

- 現状では自然エネルギー発電事業者による送電系統の利用は、電力会社の裁量でその可否が判断される。原則として、あらゆる自然エネルギー事業が優先して送電系統を利用できるようにする。

2. 費用：自然エネルギー発電による電力供給コストと系統費用（系統強化費用）の社会負担

- 接続にともない系統の強化が必要とされる場合、その費用は系統利用者全体で負うものとする（接続ポイントまでは自然エネルギー事業者の負担）。

3. 費用：自然エネルギー事業によるインバランス（アンシラリー）費用の社会負担

- 出力変動型の自然エネルギーによりインバランス（アンシラリー）費用が生じる場合、その費用は系統利用者全体で負うものとする。

4. 技術：会社間連系線の活用と必要に応じた系統強化策の実施

- 電力会社間を連系する「会社間連系線」を最大限活用し、自然エネルギー事業によって生じうる出力変動を系統全体でカバーする柔軟な運用をするものとする。

5. 技術：需要側負担も含む系統全体の調整能力の増大

- 需要側の負荷変動に対しても技術的・市場的な措置で調整する仕組みを導入することで、系統全体の調整能力を増大させる。

太陽光発電分野における施策

1. 新築時における太陽光発電の導入義務化

- 建物の新設・改築にあたっては、太陽光発電を含む自然エネルギーを一定割合導入することを義務づける。

小水力発電分野における施策

1. 新エネルギー法とRPS法における「新エネルギー」の定義を見直す

- 現状では新エネルギー法とRPS法において利用が限定されている小水力の定義を、国際ダム委員会の基準と整合させる。
- 2. 水路の新設・改修時に余剰落差を発電に利用することを原則義務化する。

バイオマス発電分野における施策

1. 林業経営を健全化したうえで、林業政策と環境・エネルギー政策を統合する

2. 効率的なバイオマスサプライチェーンを構築する

- 森林・農業から廃棄物に至るバイオマスサプライチェーン全体にわたり、エネルギーを効率よく利用できる仕組みを整える。

3. 廃掃法を改正し、バイオマス系廃棄物の柔軟な利用を可能にする

- 廃棄物バイオマスの定義や運用を実態に即して見直し、その効率的・効果的な活用を促す。

地熱発電分野における施策

1. 地熱エネルギーに関する基本法の制定

- 「地熱エネルギー法」を制定し、温泉などの開発にあたっては地熱エネルギーの利用を原則義務化する。

2. 地熱の事業化を支援するため、国内制度を見直す

- RPS法の対象となる「新エネルギー」の範囲を見直す（現状では地熱はバイナリー利用に限定されている）
- 地熱開発についての調査に、地熱発電事業の可能性も含める。
- 還元熱水を二次利用（保温や暖房への直接利用）する。

自然エネルギーの熱分野における政策

1. 自然エネルギー優先の温熱政策を確立する

2. 住宅および建築物に対する省エネ政策と温熱政策を統合する

- 建築物の新改築にあたっては、省エネの推進と合わせて、太陽熱などの自然エネルギー熱を一定程度利用する。
- 建築物の新改築にあたっては、バイオマスや太陽熱などを含む自然エネルギー熱の導入を検討し、導入することを義務づける。

3. グリーン熱証書等を確立することで、二酸化炭素排出削減価値のインセンティブを促す

自然エネルギーの燃料分野における政策

- 1. 国際的な「持続可能なバイオ燃料基準」をつくり、合意を達成させる

【付属資料】

レファレンス・シナリオ

表10 発電

テラワット時/年	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
発電プラント	1,093	1,182	1,182	1,277	1,415	1,543	1,691
石炭	267	288	319	312	349	435	579
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	271	305	308	312	360	393	407
石油	141	137	110	95	59	33	9
ディーゼル	5	3	2	1	0	0	0
原子力	305	335	376	425	493	515	520
バイオマス	20	25	27	31	35	39	41
水力	78	78	79	79	81	83	86
風力	1.8	4	9	13	26	28	30
太陽光	1.9	3	3	5	8	12	14
地熱	3	3	4	4	4	5	5
太陽熱	0	0	0	0	0	0	0
海洋エネルギー	0	0	0	0	0	0	0
コジェネレーション (熱電併給)	0	3	6	11	15	19	23
石炭	0	0	0	0	0	0	0
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	0	0	6	11	15	18	22
石油	0	0	0	0	0	0	0
バイオマス	0	0	0	0	0	1	1
地熱	0	0	0	0	0	0	0
コジェネレーション 熱電併給事業者	0						
自家発電	0	3	6	11	15	19	23
総発電量	1,093	1,185	1,242	1,288	1,430	1,562	1,714
化石燃料	684	736	745	731	782	879	1,017
石炭	267	288	319	312	349	435	579
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	271	308	314	323	375	411	429
石油	141	137	110	95	59	33	9
ディーゼル	5	3	2	1	0	0	0
原子力	305	335	376	425	493	515	520
自然エネルギー (RES)	105	113	121	132	155	167	177
水力	78	78	79	79	81	83	86
風力	1.8	4.0	9.0	13	26	28	30
太陽光	1.9	2.5	3.2	5.0	8.0	12.0	14.0
バイオマス	19.5	25.0	27.1	31	35	40	42
地熱	3.2	3.4	3.6	4	4	5	5
太陽熱	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0
海洋エネルギー	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0
輸入	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
輸入RES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
輸出	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
送電ロス	50.4	53.0	53.3	54.0	59.0	64.0	71.0
自家発電自家消費電力量	57.5	63.0	64.0	66.0	71.0	79.0	87.0
最終エネルギー消費量 (電力)	985	1,069	1,125	1,168	1,300	1,419	1,556
出力変動型RES (太陽光、風力、海洋)	4	7	12	18	34	40	44
出力変動型RESのシェア	0.3%	0.5%	1.0%	1.4%	2.4%	2.6%	2.6%
RESのシェア	9.6%	9.6%	9.8%	10.2%	10.8%	10.7%	10.3%

表11 発電設備容量

ギガワット	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
発電プラント	391	363	332	313	309	319	330
石炭	44	48	53	53	58	73	97
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	72	80	79	78	88	94	96
石油	78	76	63	56	45	28	8
ディーゼル	120	77	47	25	0	0	0
原子力	40	44	49	56	65	68	68
バイオマス	2.6	3.3	3.6	4.1	4.7	5.2	5.5
水力	30	30	30	30	31	32	33
風力	1.0	2.0	4.2	5.7	10.6	10.6	11.4
太陽光	1.4	1.8	2.3	3.6	5.7	8.6	10.0
地熱	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9
太陽熱	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
海洋エネルギー	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
コジェネレーション (熱電併給)	0	1	1	2	3	4	5
石炭	0	0	0	0	0	0	0
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	0	1	1	2	3	4	5
石油	0	0	0	0	0	0	0
バイオマス	0	0	0	0	0	0	0
地熱	0	0	0	0	0	0	0
コジェネレーション 熱電併給事業者	0	0	0	0	0	0	0
自家発電	0	1	1	2	3	4	5
総発電容量	391	363	333	315	313	323	334
化石燃料	315	281	243	215	195	198	205
石炭	44	48	53	53	58	73	97
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	72	80	80	80	91	98	100
石油	78	76	63	56	45	28	8
ディーゼル	120	77	47	25	0	0	0
原子力	40	44	49	56	65	68	68
自然エネルギー (RES)	36	38	41	44	53	57	61
水力	30	30	30	30	31	32	33
風力	1.0	2.0	4	6	11	11	11
太陽光	1.4	1.8	2	4	6	9	10
バイオマス	2.6	3.3	3.6	4.2	4.8	5.4	5.7
地熱	1	1	1	1	1	1	1
太陽熱	0	0	0	0	0	0	0
海洋エネルギー	0	0	0	0	0	0	0
出力変動型RES (太陽光、風力、海洋)	2.3	3.8	6.5	9.2	16.3	19.2	21.4
出力変動型RESのシェア	0.6%	1.1%	2.0%	2.9%	5.2%	5.9%	6.4%
RESのシェア	9.1%	10.4%	12.3%	14.1%	16.9%	17.7%	18.3%

表12 一次エネルギー需要

ペタジュール/年	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
合計	22,235	23,091	23,401	23,157	23,470	23,717	23,918
化石燃料	18,196	18,669	18,354	17,428	16,781	16,621	16,636
石炭	4,701	4,654	4,644	4,254	4,238	4,760	5,678
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	3,030	3,346	3,444	3,513	4,074	4,413	4,504
原油	10,466	10,669	10,266	9,662	8,469	7,447	6,454
原子力	3,325	3,655	4,103	4,637	5,379	5,619	5,674
自然エネルギー	714	766	945	1,091	1,310	1,477	1,608
水力	282	282	283	284	292	299	310
風力	6	14	32	47	94	101	108
太陽光・熱	31	49	83	130	196	247	284
バイオマス	270	355	475	528	588	667	723
地熱	125	67	73	102	141	164	183
海洋エネルギー	0	0	0	0	0	0	0
RESのシェア	3.2%	3.3%	4.0%	4.7%	5.6%	6.2%	6.7%

レファレンス・シナリオ

表13 熱供給

ベタジュール/年	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
地域熱供給プラント	26	27	28	28	27	25	24
化石燃料	19	20	21	20	19	18	17
バイオマス	7	7	8	8	7	7	6
太陽熱集熱器	0	0	0	0	0	0	0
地熱	0	0	0	0	0	0	0
コジェネレーションによる熱供給	0	21	37	59	64	68	71
化石燃料	0	21	36	58	63	65	67
バイオマス	0	0	0	1	1	2	4
地熱	0	0	0	0	0	0	0
直接利用¹⁾	4,680	4,891	4,984	4,874	4,709	4,472	4,202
化石燃料	4,563	4,732	4,766	4,570	4,294	3,977	3,631
バイオマス	84	96	116	132	153	179	210
太陽熱温水システム	24	40	71	112	167	204	234
地熱	9	25	30	59	95	113	127
総熱供給量¹⁾	4,710	4,944	5,053	4,964	4,803	4,569	4,300
化石燃料	4,582	4,773	4,823	4,649	4,376	4,061	3,716
バイオマス	91	103	124	141	161	188	220
太陽熱温水システム	24	40	71	112	167	204	234
地熱	9	25	30	59	95	113	127
電力	4	4	4	4	4	4	4
RESのシェア (RES電力を含む)	2.6%	3.4%	4.5%	6.3%	8.8%	11.0%	13.5%

1) 電力からの熱（直接利用またはヒート・ポンプ利用のいずれも）が含まれていない。それらは、モデルの中では「電化製品」の中でカバーされている

表14 二酸化炭素排出量

100万トン/年	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
火力発電所	467	468	451	410	414	463	542
石炭	262.9	264.6	273.0	248.8	259.6	313.3	404.2
褐炭	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
天然ガス	121.4	124.8	115.2	106.6	121.0	131.0	132.3
石油	79.6	77.2	62.0	53.5	33.3	18.6	5.1
ディーゼル	2.7	1.8	1.1	0.6	0.0	0.0	0.0
コジェネレーション (熱電併給)	0	3	4	7	8	8	9
石炭	0	0	0	0	0	0	0
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	0	3	4	7	8	8	9
石油	0	0	0	0	0	0	0
電力・蒸気生産による 排出量	467	471	456	417	421	471	550
石炭	263	265	273	249	260	313	404
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	121	127	120	114	129	139	141
石油、ディーゼル	82	79	63	54	33	19	5
部門別排出量	1,135	1,164	1,142	1,070	1,020	1,019	1,044
2000年レベル比	100%	103%	101%	94%	90%	90%	92%
産業	201	206	201	188	172	154	138
家庭・サービス	191	197	198	188	168	151	133
運輸	276	292	291	283	265	249	230
電力・蒸気生産	467	468	451	410	414	463	542
地域熱供給	1	1	1	1	1	1	1
人口(100万人)	127.9	127.8	126.6	124.5	118.3	110.7	102.5
一人あたり排出量(トン/人)	8.9	9.1	9.0	8.6	8.6	9.2	10.2

数字はモデル計算による。モデル計算では、2003年度のCO₂排出量は同年の日本政府発表より2.7%（31.17mt/年）低い。それにあわせて本表の数字を補正し、削減見通しを求めた。

表15 最終エネルギー需要

ベタジュール/年	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
総計(非エネルギー利用を含む)	14,751	15,564	15,919	15,831	15,826	15,739	15,600
総計(エネルギー利用)	13,023	13,826	14,172	14,075	14,051	13,944	13,786
運輸	3,894	4,167	4,242	4,160	3,970	3,776	3,552
石油生産物	3,826	4,048	4,039	3,927	3,665	3,420	3,115
天然ガス	0	18	37	55	85	112	115
バイオ燃料	0	17	69	73	82	101	11
電力	69	80	88	94	121	121	187
RES電力	6.6	7.7	8.6	9.7	13.1	13.0	19.4
水素	0	4	8	11	17	22	23
RESのシェア	0.2%	0.6%	1.9%	2.0%	2.4%	3.1%	3.1%
産業	4,056	4,277	4,341	4,291	4,358	4,344	4,322
電力	1,253	1,358	1,423	1,473	1,634	1,784	1,938
RES電力	120	130	139	151	177	191	200
地域熱供給	0	21	37	59	64	68	71
RES地域熱供給	0	0	0	1	1	2	4
石炭	536	576	486	360	223	168	118
石油生産物	1,381	1,418	1,366	1,240	1,077	865	689
ガス	682	773	878	974	1,124	1,179	1,190
太陽エネルギー	0	2	12	24	47	66	83
バイオマス、廃棄物	105	115	124	133	143	159	171
地熱	0	12	15	29	47	55	62
RESのシェア	5.6%	6.1%	6.7%	7.9%	9.5%	10.9%	12.0%
その他	5,073	5,382	5,589	5,623	5,722	5,824	5,913
電力	2,226	2,403	2,527	2,621	2,901	3,171	3,447
RES電力	213	230	247	269	314	340	356
地域熱供給	26	27	28	28	27	25	24
RES地域熱供給	7	7	8	8	7	7	6
石炭	27	20	9	6	11	11	1
石油生産物	1,820	1,837	1,776	1,605	1,246	970	707
ガス	940	1,038	1,152	1,214	1,326	1,398	1,443
太陽エネルギー	24	37	59	88	120	137	151
バイオマス、廃棄物	2	6	22	31	44	55	76
地熱	9	12	15	30	48	57	65
RESのシェア	5.0%	5.4%	6.3%	7.6%	9.3%	10.2%	11.1%
RES総計	487	577	720	847	1,043	1,186	1,285
RESのシェア	3.3%	3.7%	4.5%	5.4%	6.6%	7.5%	8.2%
非エネルギー利用	1,782	1,738	1,747	1,756	1,775	1,794	1,814
石油	1,697	1,706	1,715	1,725	1,743	1,762	1,781
ガス	15	15	15	15	15	15	16
石炭	16	16	17	17	17	17	17



代替シナリオ

表16 発電

テラワット時/年

	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
発電プラント	1,093	1,109	1,129	1,1107	1,024	871	717
石炭	267	187	186	167	151	79	7
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	271	317	345	376	371	321	263
石油	141	137	110	95	59	33	9
ディーゼル	5	2	1	0	0	0	0
原子力	305	335	325	245	121	45	0
バイオマス	20	25	27	31	33	32	30
水力	78	89	95	99	104	111	115
風力	1.8	5	17	39	60	73	83
太陽光	1.9	4	13	37	83	114	133
地熱	3	6	7	11	20	23	27
太陽熱	0	0	0	1	4	11	15
海洋エネルギー	0	1	3	7	18	29	35
熱電併給 (コジェネレーション)	0	6	14	31	68	107	148
石炭	0	0	0	0	0	0	0
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	0	4	11	22	42	55	63
石油	0	0	1	1	1	0	0
バイオマス	0	1	2	8	24	44	71
地熱	0	0	0	0	2	7	14
コジェネレーション 熱電併給事業者	0	2	5	11	23	44	75
自家発電	0	4	9	20	45	63	73
総発電量	1,093	1,114	1,143	1,138	1,092	978	865
化石燃料	684	648	653	660	624	488	342
石炭	267	187	186	167	151	79	7
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	271	321	356	398	413	376	326
石油	141	137	111	96	60	33	9
ディーゼル	5	2	1	0	0	0	0
原子力	305	335	325	245	121	45	0
自然エネルギー (RES)	105	131	164	233	347	445	523
水力	78	89	95	99	104	111	115
風力	1.8	5	17	39	60	73	83
太陽光	1.9	4	13	37	83	114	133
バイオマス	19.5	26	29	39	57	76	101
地熱	3.2	6	7	11	22	30	41
太陽熱	0.0	0	0	1	4	11	15
海洋エネルギー	0.0	1	3	7	18	29	35
輸入	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
輸入RES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
輸出	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
送電ロス	50.4	53.0	53.0	51.0	49.0	44.0	39.0
自家発電自家消費電力量	57.5	60.0	60.0	59.0	56.0	50.0	44.0
最終エネルギー消費量 (電力)	985	1,001	1,030	1,028	987	884	782
出力変動型RES (太陽光、風力、海洋)	4	10	33	83	161	216	251
出力変動型RESのシェア	0.3%	0.9%	2.9%	7.3%	14.7%	22.1%	29.0%
RESのシェア	9.6%	11.8%	14.4%	20.5%	31.8%	45.5%	60.5%
節約されたエネルギー (レファレンス・シナリオ比)	0	70	100	149	338	584	850

表17 発電設備容量

ギガワット

	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
発電プラント	391	331	297	298	311	291	260
石炭	44	31	31	27	23	13	1
褐炭	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
天然ガス	72	82.7	88.1	94.0	90.9	77.0	61.9
石油	78	76.1	62.9	55.9	45.4	27.5	8.2
ディーゼル	120	52.5	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0
原子力	40	44.1	42.8	32.2	15.9	5.9	0.0
バイオマス	2.6	3.3	3.6	4.1	4.4	4.3	4.0
水力	30	34	37	38	40	43	44
風力	1.0	2.5	8.0	17.0	24.5	27.8	31.6
太陽光	1.4	2.9	9.3	26.4	59.3	81.4	95.0
地熱	0.6	1.0	1.2	1.9	3.5	4.0	4.7
太陽熱	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	1.5	2.1
海洋エネルギー	0.0	0.3	0.6	1.5	3.8	6.2	7.4
熱電併給 (コジェネレーション)	0	1	4	8	17	27	38
石炭	0	0	0	0	0	0	0
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	0	1	3	6	12	17	22
石油	0	0	0	0	0	0	0
バイオマス	0	0	0	2	5	9	13
地熱	0	0	0	0	0	1	3
コジェネレーション 熱電併給事業者	0	1	2	4	8	14	24
自家発電	0	1	2	4	10	13	14
総発電容量	391	332	300	307	329	318	298
化石燃料	315	244	198	183	171	134	93
石炭	44	31	31	27	23	13	1
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	72	84	91	100	103	94	84
石油	78	76	63	56	46	28	8
ディーゼル	120	53	13	0	0	0	0
原子力	40	44	43	32	16	6	0
自然エネルギー (RES)	36	45	60	91	141	178	205
水力	30	34	37	38	40	43	44
風力	1.0	3	8	17	24	28	32
太陽光	1.4	3	9	26	59	81	95
バイオマス	2.6	3.6	4.1	6	9	13	17
地熱	1	1	1	2	4	5	8
太陽熱	0	0	0	0	1	2	2
海洋エネルギー	0	0	1	1	4	6	7
出力変動型RES (太陽光、風力、海洋)	2.3	5.7	17.9	44.9	87.6	115.4	134.0
出力変動型RESのシェア	0.6%	1.7%	6.0%	14.6%	26.7%	36.3%	44.9%
RESのシェア	9.1%	13.4%	19.9%	29.7%	43.0%	55.9%	68.8%

表18 一次エネルギー需要

ペタジュール/年

	2003	2010	2015	2020	2030	2040	2050
総計	22,235	21,985	21,194	19,229	16,590	13,499	10,486
化石燃料	18,196	17,477	16,390	14,448	12,152	9,023	6,043
石炭	4,701	3,663	3,390	2,965	2,630	1,963	1,335
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	3,030	3,495	3,632	3,658	3,448	2,775	2,055
原油	10,466	10,319	9,368	7,826	6,074	4,285	2,653
原子力	3,325	3,655	3,546	2,673	1,320	491	0
自然エネルギー資源	714	853	1,258	2,107	3,118	3,985	4,443
水力	282	320	342	356	374	400	414
風力	6	18	61	140	216	263	299
太陽光・熱	31	39	111	306	677	903	947
バイオマス	270	376	606	1,001	1,289	1,551	1,656
地熱	125	95	128	278	497	764	1,001
海洋エネルギー	0	4	11	25	65	104	126
RESのシェア	3.2%	3.9%	5.9%	11.0%	18.8%	29.5%	42.4%
節約されたエネルギー (レファレンス・シナリオ比)	0	1,106	2,207	3,928	6,881	10,217	13,431

代替シナリオ

表19 熱供給

ベタジュール/年	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
地域熱供給施設	26	91	136	206	314	319	172
化石燃料	19	65	93	129	127	55	0
バイオマス	7	24	39	66	138	163	93
太陽熱温水システム	0	1	3	10	47	99	77
地熱	0	0	1	1	2	2	2
コジェネレーションによる熱供給	0	26	66	128	252	382	520
化石燃料	0	22	56	97	165	189	200
バイオマス	0	4	9	28	71	127	194
地熱	0	0	1	3	17	67	127
直接利用 ¹⁾	4,680	4,735	4,524	4,122	3,495	2,804	2,224
化石燃料	4,563	4,602	4,308	3,671	2,705	1,825	1,277
バイオマス	84	88	103	117	176	227	210
太陽熱温水システム	24	24	61	161	316	354	337
地熱	9	21	53	174	298	397	399
総熱供給量 ¹⁾	4,706	4,852	4,726	4,456	4,062	3,505	2,916
化石燃料	4,582	4,689	4,457	3,897	2,997	2,069	1,477
バイオマス	91	116	151	211	385	517	497
太陽熱温水システム	24	25	63	171	363	453	414
地熱	9	22	54	178	316	466	528
燃料電池(水素)	0	0	0	0	0	0	0
RESのシェア (RES電力を含む)	2.6%	3.4%	5.7%	12.6%	26.2%	41.0%	49.4%
節約されたエネルギー (レファレンス・シナリオ比)		92	327	508	742	1,064	1,384

1) 電力からの熱(直接利用またはヒート・ポンプ利用のいずれも)が含まれていない。それらは、モデルの中では「電化製品」の中でカバーされている

表20 二酸化炭素排出量

100万トン/年	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
火力発電所	467	380	351	315	271	182	95
石炭	262.9	172.0	159.2	133.1	112.7	56.6	4.7
褐炭	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
天然ガス	121.4	129.8	129.0	128.5	124.7	107.0	85.5
石油	79.6	77.2	62.0	53.5	33.3	18.6	5.1
ディーゼル	2.7	1.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
コジェネレーション (熱電供給)	0	3	7	13	22	25	25
石炭	0	0	0	0	0	0	0
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	0	3	7	13	21	25	25
石油	0	0	0	0	0	0	0
電力・蒸気生産による 排出量	467	383	358	328	292	207	121
石炭	263	172	159	133	113	57	5
褐炭	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	121	133	136	141	146	132	111
石油、ディーゼル	82	79	63	54	34	19	5
部門別排出量	1,135	1,061	982	839	681	463	262
2000年レベル比	100%	93%	86%	74%	60%	41%	23%
産業	201	204	194	173	151	121	95
家庭・サービス	191	187	170	138	85	45	24
運輸	276	285	260	202	160	102	36
電力・蒸気生産	467	381	353	319	277	192	108
地域熱供給	1	4	5	8	7	3	0
人口(100万人)	127.9	128	127	124	118	111	103
一人あたり排出量(トン/人)	8.9	8.3	7.8	6.7	5.8	4.2	2.6
節約されたエネルギー (レファレンス・シナリオ比)	0.0	103.6	160.6	230.4	339.3	556.6	781.3

数字はモデル計算による。モデル計算では、2003年度のCO₂排出量は同年の日本政府発表より2.7%(31.17mt/年)低い。それにあわせて本表の数字を補正し、削減見通しを求めた。

表21 最終エネルギー需要

ベタジュール/年	2005	2010	2015	2020	2030	2040	2050
総計(非エネルギー利用を含む)	14,751	15,048	14,699	13,679	12,330	10,398	8,287
総計(エネルギー利用)	13,023	13,365	13,061	12,084	10,818	8,966	6,929
運輸	3,894	4,061	3,867	3,320	2,843	2,086	1,161
石油生産物	3,826	3,944	3,612	2,862	2,310	1,512	505
天然ガス	0	18	34	43	61	62	44
バイオ燃料	0	17	126	304	318	355	407
電力	69	83	94	111	154	158	205
RES電力	6.6	10	14	23	49	72	124
水素	0	0	0	0	0	0	0
RESのシェア	0.2%	0.7%	3.8%	10.2%	13.6%	21.6%	35.1%
産業	4,056	4,167	4,164	3,974	3,738	3,341	2,922
電力	1,253	1,270	1,317	1,289	1,214	1,081	945
RES電力	120	150	189	264	386	492	572
地域熱供給	0	24	54	107	210	251	271
RES地域熱供給	0	5	8	27	81	139	180
石炭	536	597	471	321	208	143	75
石油生産物	1,381	1,385	1,312	1,162	957	680	537
ガス	682	771	861	884	865	809	691
太陽エネルギー	0	12	27	57	106	123	133
バイオマス、廃棄物	105	102	112	122	129	159	156
地熱	0	6	11	31	50	95	115
RESのシェア	5.6%	6.6%	8.3%	12.6%	20.1%	30.1%	39.5%
その他	5,073	5,137	5,031	4,790	4,237	3,539	2,846
電力	2,226	2,251	2,296	2,303	2,187	1,943	1,664
RES電力	213	265	330	472	696	884	1,007
地域熱供給	26	93	149	227	356	450	421
RES地域熱供給	7	25	45	81	193	318	313
石炭	27	3	0	0	0	0	0
石油生産物	1,820	1,700	1,519	1,164	674	350	187
ガス	940	1,055	988	861	565	275	120
太陽エネルギー	24	12	34	104	210	231	205
バイオマス、廃棄物	2	9	17	23	85	114	92
地熱	9	13	29	108	159	176	158
RESのシェア	5.0%	6.3%	9.0%	16.4%	31.7%	48.7%	62.3%
RES総計	488	628	947	1,627	2,483	3,180	3,336
RESのシェア	3.3%	4.2%	6.4%	11.9%	20.1%	30.6%	40.2%
非エネルギー利用	1,782	1,683	1,638	1,595	1,512	1,433	1,358
石油	1,697	1,652	1,608	1,565	1,482	1,404	1,330
ガス	15	15	14	14	14	14	13
石炭	16	16	16	16	15	15	15



あとがき

グリーンピースは、2007年1月の『エネルギー[r]eボリューション』世界シナリオの発表に続き、国・地域別シナリオの作成に取り組んできた。日本シナリオはその一環である。このシナリオが描く日本の未来を一言で表すなら、「低エネルギー社会」——つまり、必要なエネルギーを必要なだけ生産し、無駄なく利用する社会だ。そのステップは、「大量のロスを見込んで、大量にエネルギーを生産し、大量に使い、大量の廃棄物を生みだし、大量に捨てる」、これまでのエネルギー需給のあり方を見直すことから始まる。本シナリオは2050年までに日本の二酸化炭素排出量を80%以上削減すること目標とし、その達成は技術的に可能であることを示している。

しかし現実には、日本の二酸化炭素排出量は増える一方だ。この事実は「セクター別アプローチ」や「自主行動」、「革新的技術」といった日本政府の気候変動政策とエネルギー政策が、排出削減の役に立たないことを裏づけている。排出量のデータが公表されるたびに、政府は「増大の要因は原子力発電所の利用率の低下」と述べ、「原発が長期停止しなかったなら、これだけ削減できたはず」と仮定の数字を掲げる。そんな数字合わせをしている場合ではない。危険な気候変動を本気で回避するつもりなら、効果をもたらさない政策を改めることが先決である。

今このときにも温暖化は進行し、さまざまな異変を世界各地でひきおこしている。今年5月に発表された国立環境研究所などによる研究は、日本の平均気温が1℃から2℃ほど上昇すると、熱ストレスによる死者や伝染病、洪水、高潮、大型台風などの増加

をはじめ、厳しい影響が現れるだろうと警告している。現実逃避の弁明をくりかえしているうちに、事態はとりかえしのつかない域へと突入してしまうかもしれない。そうなってからでは、もう遅いのだ。最後に、インド洋のモルディブ共和国政府がグリーンピースに託したメッセージ（抜粋）を紹介する。私たちに求められているのは、一刻も早い行動だ。

各国が討議を重ねているさなかにも、インド洋の低海拔小島嶼国に暮らす私たちは、気候変動による現実の脅威に直面しています。事態は切迫しており、一刻の猶予も許しません。海面上昇が何を意味するのか、私たちは目の当たりにしています。メディアが「極端な異常気象が発生」と報じるとき、それは私たちにとって多くの場合、実際に起きている悲劇——生命と生活の喪失——であり、「ニュース」ではないのです。

削減目標というとき、それは私たちにとって単なる数字の問題ではなく、文字どおり死活問題です。国連は、2009年にコペンハーゲンで開催される気候変動枠組条約締約国会議において、この惑星を救う行動計画に合意することをめざしています。危険な気候変動から地球を守るのは急務であり、ぐずぐずしている余裕は残されていません。

2008年12月

グリーンピース・ジャパン気候変動／エネルギー問題担当
鈴木真奈美



エネルギー にEビーエしホe[r]

GREENPEACE

グリーンピースは、「緑」豊かで、「平和」な地球をめざして活動する国際環境保護団体です。現在、ヨーロッパ、アメリカ、アジア、太平洋など、世界41カ国に支部を持ち、本部をオランダのアムステルダムに置く非営利組織です。グリーンピース・ジャパンは1989年に設立されました。気候変動・エネルギー問題、海洋生態系保護などのグリーンピースの活動は、市民の立場に立ち、その独立を維持するため、政府や企業から資金援助を一切受けていません。世界290万人、日本では6000人の個人の方からの財政的支援のみですべての活動を行っています。

グリーンピースは、1971年にカナダのジャーナリスト、若者たちがアメリカの核実験をとめるためアラスカ沖の核実験現場に船で向かったことがきっかけで発足しました。地球規模の環境破壊の現場を目撃し、平和的な行動でそれをとめるという姿勢はグリーンピースのモットーであり、船はグリーンピースの活動の重要な一部を占めています。

エネルギー[r]eボリューション 日本エネルギーシナリオ

日本語版制作・発行：2008年12月（要約版2008年6月）

特定非営利活動法人 グリーンピース・ジャパン

〒160-0023 東京都新宿区西新宿 8-13-11 N・Fビル2F
TEL：03-5338-9800 FAX：03-5338-9817
<http://www.greenpeace.or.jp>

協力：

特定非営利活動法人 環境エネルギー政策研究所 (ISEP)
〒164-0001 東京都中野区中野 4-7-3 TEL：03-5318-3331
FAX：03-3319-0330 <http://www.isep.or.jp>



EREC

欧州再生可能エネルギー評議会

(European Renewable Energy Council: EREC)

ERECは、ヨーロッパの自然エネルギー産業（バイオマス、地熱、太陽光、小型水力、太陽熱、風力）と研究機関、関連事業者が参加する団体。EREC参加事業者の年間売上高は合計200億ユーロにのぼり、30万の雇用を創出してきた。

AEBIOM (European Biomass Association)
EGEC (European Geothermal Energy Council)
EPIA (European Photovoltaic Industry Association)
ESHA (European Small Hydropower Association)
ESTIF (European Solar Thermal Industry Federation)
EUBIA (European Biomass Industry Association)
EWEA (European Wind Energy Association)
EUREC Agency (European Association of Renewable Energy Research Centers)

EREC european renewable energy council
Renewable Energy House, 63-65 rue d'Arlon,
B-1040 Brussels, Belgium
t +32 2 546 1933 f+32 2 546 1934
erec@erec.org
www.erec.org