

エネルギー [r]eボリューション

持続可能な世界エネルギーアウトルック



EREC

欧州再生可能エネルギー評議会

GREENPEACE

目次

発刊に寄せて	3
序	4
要約	6
第1章 温室効果と気候変動	9
第2章 核の脅威	13
第3章 エネルギー[r]eボリューション	16
第4章 エネルギー供給シナリオ	24
第5章 エネルギー[r]eボリューション・シナリオ	38
第6章 エネルギー資源と供給保障	48
第7章 エネルギー技術	68
第8章 政策提言	81
付属資料	86
日本語版に寄せて	96

エネルギー に[r]eボリューション

原題：energy [r]evolution 2007年1月発行

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）

データ分析：DRL, Institute of Technical Thermodynamics, Department of Systems Analysis and Technology Assessment, Stuttgart, Germany; Dr. Wolfram Krewitt, Sonja Simon, Stefan Kronshage Ecofis BV, (Demand Projection), P.O.Box 8408, NL-3503 RK Utrecht, Kanaalweg 16-G, NL-3526 KL Utrecht, The Netherlands; Wina Graus, Mirjam Harmelink

協力：OECD North America WorldWatch Institute: Janet Sawin, Freyr Sværriðsson; GP USA: John Coeguyt Latin America University of Sao Paulo: Ricardo J. Fujii, Prof. Dr. Stefan Krauter; GP Brazil: Marcelo Furtado OECD Europe EREC: Oliver Schäfer, Arthouros Zervos Transition Economies Vladimir Tchouprov Africa & Middle East Reference Project: "Trans-Mediterranean Interconnection for Concentrating Solar Power" 2006, Dr. Franz Trieb; GP Mediterranean: Nili Grossmann South Asia Rangan Banerjee, Bangalore, India; GP India: Srinivas Kumar East Asia Institute for Sustainable Energy Policies, Tokyo: Mika Ohbayashi; GP South East Asia: Jaspar Inventor, Tara Buakamsri China Prof. Zhang Xilian, Tsinghua University, Beijing; GP China: Ailun Yang OECD Pacific Institute for Sustainable Energy Policies Tokyo, Japan: Mika Ohbayashi; Dialog Institute, Wellington, New Zealand: Murray Ellis; GP Australia Pacific: Catherine Fitzpatrick, Mark Wakeham; GP New Zealand: Vanessa Atkinson, Philip Freeman

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 Gavin Edwards, Sven Teske, Steve Sawyer, Jan van de Putte

プロジェクト・マネージャー Sven Teske, Greenpeace International

著者：Sven Teske, Arthouros Zervos, Oliver Schäfer

編集：Crispin Aubrey

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

日本語版発行：グリーンピース・ジャパン 2008年1月

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

エネルギー[r]eボリューション（energy [r]evolution）の[r]eボリューションとは、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。

[表紙写真] ドイツ北東部ダーメ近郊にあるウィンド・パーク。一面の銀世界のなかで運転する風力発電機（デンマーク・ヴェスタス社製）。

[本頁写真] グリーンランド南西部ナルサークの入江に浮かぶ氷山。

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

「自然エネルギーを経済的に魅力あるものに成長させていくためには、すべての自然エネルギー技術をバランスよく、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」



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。

まずはグッドニュースから。エネルギーを賢く利用すれば、2050年には世界のエネルギー需要の半分を自然エネルギーでまかなえるようになる。『エネルギー[r]eポリューション——持続可能な世界エネルギーアウトLOOK』は、二酸化炭素の排出量を、経済を圧迫することなく、今後43年以内に半減できること、そして自然エネルギーの大々的な導入は、技術的に可能であることを明らかにしている。条件はそろっている。欠けているのは、政策による支援だけだ。

バッドニュースは、私たちに残された時間が、どんどん少なくなっていることだ。専門家たちは以下の点でほぼ一致している。すなわち気候変動は現実に進行していること、その原因の大半は人間活動（化石燃料の燃焼など）にあること、このまま何も対策を講じずにいれば惨禍は免れえないこと。私たちが即座に行動しなければならないことを示す、確固たる科学的証拠も示されている。こうした危機感、気候変動について各国の政策立案者に助言するため、世界の1000名以上の科学者が参加する国連・気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の見解にも反映されている。2007年に公表された第4次評価報告の内容は、これまでの報告以上に深刻なものとなった。

地球温暖化の抑止をめざし、京都議定書が締結された。同議定書は批准国のうち先進工業国に対し、2008年から12年までの第一約束期間

内に、温室効果ガスの排出量を1990年レベルより全体で5.2%削減するよう義務づけ、さらに地域・国ごとに個別目標を設定した。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、EUはエネルギー供給に占める自然エネルギーの割合を、現在の6%から2010年には12%まで引き上げることに合意している。

現在、批准各国は2013年から17年までの第二約束期間について交渉を始めようとしている。先進国は、第二約束期間の目標を1990年レベルより18%削減、その後の期間（18年から22年まで）は30%削減とすべきである。これだけの削減をもってはじめて、地球の平均気温の上昇を2℃未満に抑える見通しがつくだろう。2℃を超えると、気候変動による壊滅的な打撃は避けられなくなる。

切迫しているのは地球温暖化問題だけではない。世界のエネルギー需要は驚くべき速度で増大している。エネルギー供給を、一握りの、往々にして政治的に不安定な国々へ過度に依存していることに加え、石油・ガス価格が変動しやすいため、エネルギー安全保障は常に政治の最重要課題に押し上げられてきただけでなく、莫大な資金がその確保のために投入され続けてきた。エネルギー需給のあり方を変える必要があることについては、異論はないだろう。意見が分かれるのは、どのように変えるかである。

ドイツ初の地熱発電所。
発電所内で作業する職員。



世界エネルギーシナリオ

欧州再生可能エネルギー評議会（EREC）とグリーンピース・インターナショナルは、世界のエネルギー需給のあり方を再構築するための青写真として、この世界エネルギーシナリオを作成した。本シナリオは、世界経済の着実な成長を損なうことなく、二酸化炭素の大幅削減を短期間で達成するとともに、エネルギーの安定供給を合理的な価格で保障でき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。そこで本シナリオは、すでに実証されている自然エネルギー技術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、本シナリオには含まれていない。

グリーンピースとERECはドイツ航空宇宙センター（DLR）に、2050年までに持続可能なエネルギーがどのように発展するか、そのシミュレーションを委託した。本報告書の基底をなす自然エネルギーの潜在的可能性については、各国の自然エネルギー業界が提供しているデータに基づいている。

まず国際エネルギー機関（IEA）の『世界エネルギー展望2004年版』にある2030年までのエネルギー需給見通しを、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。次にエネルギーコンサルタント会社・エコフィス（Ecofys）が、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、エネルギー効率が多々向上するかの評価した。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、エネルギー[r]eポリューション・シナリオである。その結果、後者のケースでは、2050年には世界の最終エネルギー需要は47%減少することが示された。

自然エネルギーの潜在的可能性

自然エネルギーは夢物語ではない。その技術は成熟し、本格的な規模での展開が可能であることを、本報告書は明らかにしている。風力発電機、太陽光発電、バイオマス発電、太陽熱温水システムをはじめとする自然エネルギー技術は、近年、着実な成長を遂げ、世界のエネルギー市場の主流になろうとしている。2006年の市場規模は、世界全体で約380億米ドル。これは前年比26%の増加である。

しかし化石燃料から自然エネルギーへの移行に、あまり長い時間は費やせない。経済開発協力機構（OECD）諸国の発電所の多くはこの10年ほどで寿命を迎え、建て替えが必要となる。もし石炭火力発電所を再び建設したなら、それらは2050年まで二酸化炭素を排出し続けることになる。将来のエネルギー供給がどのようなものになるかは、これから数年のうちに電力事業者が下す決定にかかっているのだ。

私たちは次の世代に、太陽光がもたらすエネルギーを賢く利用する社会を引き継がなければならない。そのためには、先進国はこれまでのエネルギー戦略を早急に見直す必要がある。一方、途上国は先進国の過ちを繰り返すことなく、持続可能なエネルギーという安定した土台のうえに、その経済を築いていくべきだ。これらの実現には、従来とは異なるインフラストラクチャーの構築が必要となるだろう。

自然エネルギーの未来は、各国政府と国際社会が、どのような政策を選択するかにより大きく左右される。エネルギー需給のすべての部門において、自然エネルギーの割合を大幅に増やすと同時に、エネルギー

の効率利用を促進する施策が講じられれば、自然エネルギーは2030年までに世界のエネルギー需要の最大35%を供給できるようになるだろう。

途上国は自然エネルギーとエネルギー効率化技術を選択することで、経済成長を損なうことなく、十分なエネルギーを享受しながら、二酸化炭素の排出量を実質的に抑えることができるだろう。

一方OECD諸国は、二酸化炭素の排出量を80%削減することが求められる。だからといって「暗闇で凍える」必要はない。たとえば厳しい省エネ基準を商品に課すことで、エネルギー効率のよい家電製品、冷暖房システム、コンピュータ、自動車などが市場を席捲するようになるだろう。消費者は温暖化防止に役立ち、エネルギー経費の削減にもつながる製品を、適正価格で購入できるようになる。

青写真を現実に

IEAのBAU（Business as Usual、対策をとらない）ケースは、とうてい次世代が受け入れられるシナリオではない。このシナリオによれば、二酸化炭素排出量は2050年にはほぼ倍増し、世界の平均気温の上昇は2℃を優に超えることになる。環境、経済、社会は破滅的な被害を免れないだろう。世界銀行の元主任エコノミストであるニコラス・スターン卿は、英国政府から委託された報告書（『スターン・レビュー』）のなかで、今日、省エネ技術と自然エネルギーへ投資する者が、明日の経済のリーダーとなる、と指摘している。行動を遅らせば長期的に支払わなければならないコストはずっと高くなるのである。

化石燃料や原子力、そしてその他の旧式の技術に依存した従来のエネルギー・パスに、私たちの未来を託している余裕はない。自然エネルギーは未来のエネルギーの主役を担えるし、担わなければならないのだ。ここ数年の政策選択こそが、長期にわたる世界の環境と経済の状況を決定する。

そこで各国の政策立案者をお願いしたい。本報告書が示す青写真を現実のものにしてほしい。

持続可能なエネルギーは、経済を成長させ、何百万もの新しい雇用を創出し、汚染のない未来をもたらしてくれる。環境保全、政治の安定、そして経済の繁栄をめざして、真に持続可能で安定供給を保障するエネルギーの未来を追求し始めるのは、いまを置いてほかに機はない。

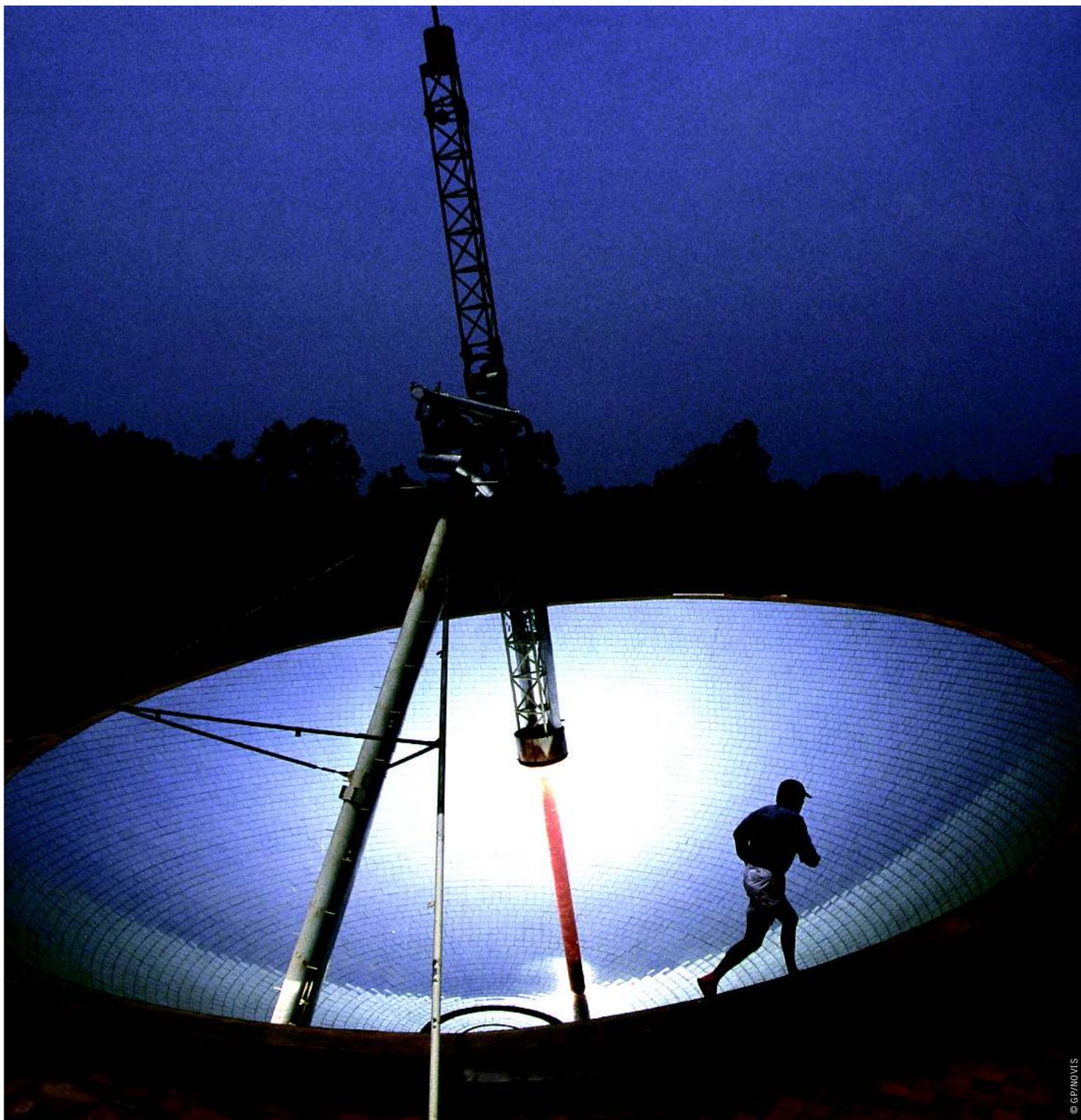
2007年1月

アルゾロス・ゼルヴォス
欧州再生可能エネルギー評議会
(EREC)

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。

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。



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。気候変動による影響は、すでに生態系を乱し、年間およそ15万人がその影響で死亡している^{a)}。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一層高まり、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^{b)}。「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^{c)}。

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き、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もあいまって、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ポテンシャルがある。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。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の利用を増大させることで、十分にまかなえるだろう。原子力発電は、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。

参照

- a) KOVATS, R.S., AND HAINES, A., "GLOBAL CLIMATE CHANGE AND HEALTH: RECENT FINDINGS AND FUTURE STEPS" CMAJ [CANADIAN MEDICAL ASSOCIATION JOURNAL] 0 FEB. 15, 2005; 172 (4).
- b) PLUGGING THE GAP, RES/GWEC 2006
- c) DR NITSCH ET AL.

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ポリューションの眼目は、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20億人が電気へアクセスできずにいる。これらの人々へ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。

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『世界エネルギー展望2004年版』（『WEO2004』）が示すBAU（対策を取らない）シナリオに、2030年以降の予測を追加したものだ。『WEO2006』は、2004年～2030年の時間枠における世界のGDPの年平均成長率を、『WEO2004』の3.2%と比べてやや高めめの3.4%と想定している。また2030年の最終エネルギー消費を、『WEO2004』の予測より4%高めと推定している。エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける感度分析は、経済成長がエネルギー需要におよぼす影響を、2003年から2050年までを通して、GDPの世界平均が0.1%伸びるごとに最終エネルギー消費量が約0.2%増加するとしている。

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、2050年までに一人あたりの二酸化炭素排出量を年1.3トン以下に減らし、世界の総排出量を1990年比で50%削減することと同時に、原子力発電の段階的廃止も目標としている。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、費用効率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。

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。

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。
- コージェネレーション(熱電併給、CHP)の利用拡大は、燃料が天然ガスであればバイオマスであれば、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なることなどから、コー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年には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している。

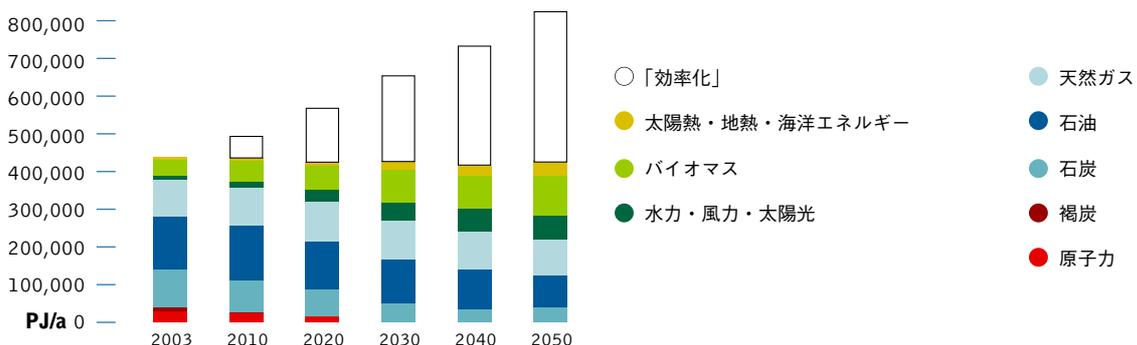
エネルギー[r]eポリューション・シナリオは、二酸化炭素の排出削減目標の達成に資するだけでなく、エネルギー・コストを安定させ、社会の経済負担も軽減する。エネルギー利用効率の向上と、自然エネルギーへの移行により、長期的な電力供給コストはレファレンス・シナリオのそれより、およそ3割低減するだろう。厳しい環境目標をクリアすることは、経済的にも有益であるのは論を待たない。

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

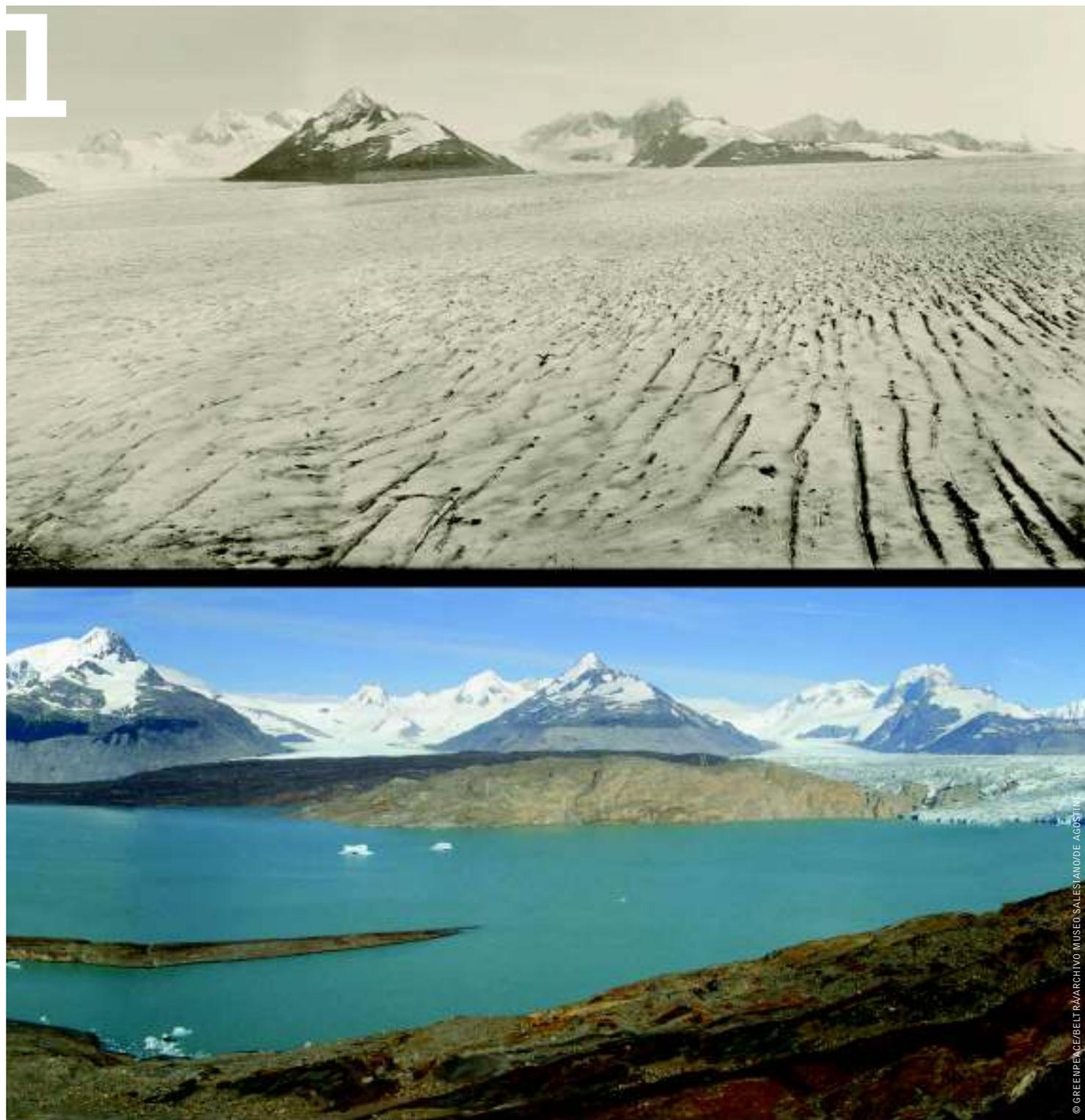
* 訳注：核燃料や化石燃料などを使って発電したときに発生する環境コストや社会コストなどをさす。これらのコストは価格に適正に反映されていない。

図1 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



温室効果と気候変動

「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、回復不能ほどの打撃が私たちに襲うだろう」



南米大陸の最先端、アルゼンチン・パタゴニアのウプサラ氷河。下は最近撮影された写真。1928年当時（上）と比べ、氷河が大きく後退している。

温室効果と気候変動

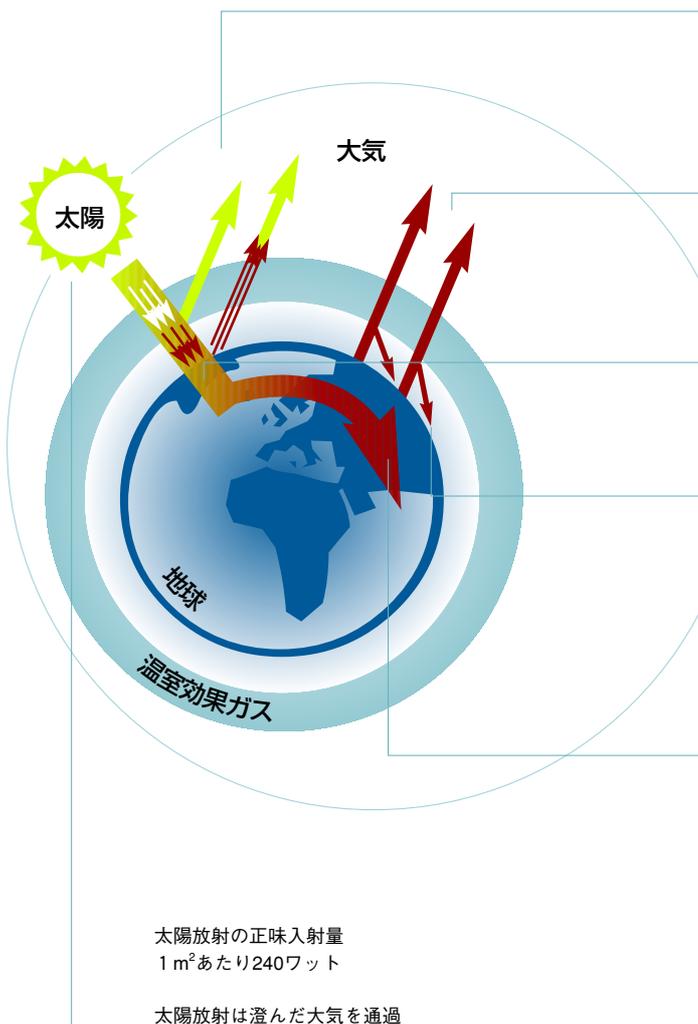
温室効果とは、大気が太陽エネルギーの一部を吸収して地球表面を暖め、気候を穏やかにする作用である。しかし人間活動が「温室効果ガス」を増加させ、この作用を人為的に加速させたために、地球の温度が上昇し、気候を変動させる原因となっている。

温室効果ガスには、化石燃料の燃焼や森林破壊からの二酸化炭素、農業や動物、廃棄物の埋め立て地などから放出されるメタン、農作物

生産や化学工業などにもなる亜酸化窒素などがある。私たちは化石燃料（石油・石炭・天然ガス）を使うことで、日々、気候にダメージを与えているのだ。

気候変動による影響はすでに表れている。このままでは近い将来、生態系が破壊されて多数の生物種が絶滅し、とりわけ発展途上国の人々に壊滅的な被害をもたらす結果となるだろう。私たち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、理にかなったことなのだ。

図2 温室効果



太陽放射の何割かは大気と地球表面によって反射される

赤外放射の何割かは大気を通過して宇宙空間へ放出される

熱は地球表面に吸収され、再び赤外放射を放出する

赤外放射の何割かは温室効果ガス分子に吸収され、再放出される。その結果、地球表面と下層大気が暖められる

地球表面に吸収された太陽エネルギーは、海や陸を暖め……

……それが熱となって、長波放射線（赤外線）を大気へと送り返す

表1 平均気温が高かった年
トップ10 (1850~2005年)

1880~2003年の平均値と比較

年	世界年平均気温	順位
1998, 2005	+0.63°C	1
2003	+0.56°C	2 (同位)
2002	+0.56°C	2 (同位)
2004	+0.54°C	4
2001	+0.51°C	5
1997	+0.47°C	6
1995	+0.40°C	7 (同位)
1990	+0.40°C	7 (同位)
1999	+0.38°C	9
2000	+0.37°C	10

出所：NATIONAL CLIMATIC DATA CENTER



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、人類はいまだ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年のあいだに世界の温室効果ガスの排出がピークとなるようにし、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。

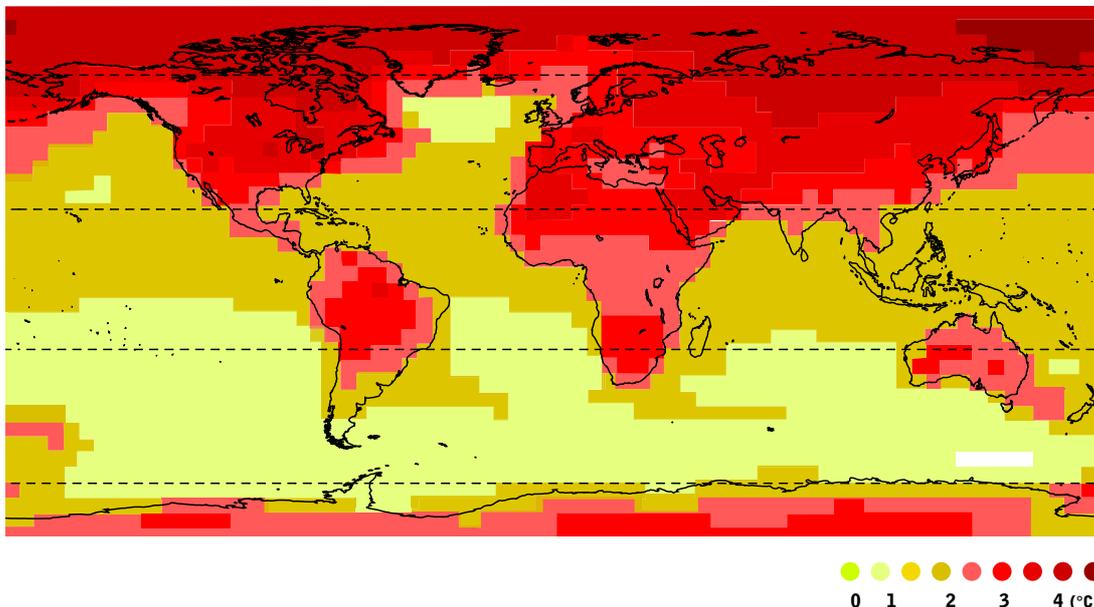
何も対策がとられず現在の傾向が続いた場合に予想される主な影響

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。

図3 世界の平均気温が2℃上昇したときの地球表面の平均温度分布

+平均2℃



注：気候予測プログラムSCENGEN (WIGLEY et al.) で用いられた「リニアパターン・スケール法」を使用。パターンは、CSM (1998)、ECHAM 3 (1995)、ECHAM 4 (1998)、GFDL (1990)、HADAM 2 (1995)、HADAM 3 (2000)の各モデルの初期設定での平均値。暫定的にIPCCの排出シナリオSRES B2をもとに、1990年レベル比で2℃上昇した場合の温度分布をパターン化。基準レベルを工業化以前とすると分布パターンは同じだが、温度は違ってくる。
(c)MALTE.MEINSHAUSEN@ENV.ETHZ.CH;
ETH ZURICH 2004

0 1 2 3 4 (°C)



写真1：ハリケーン・カトリーナ襲来から21日ぶりに自宅へと戻る漁師のミオク。彼の家を含め、村の多くの家屋が損壊し、泥と汚水に覆われた。

写真2：海辺に住む一家が「キングタイド」(満潮時に海面が異常に高くなる現象)から家財を守ろうと、土嚢を積み上げているところ。気候変動による海面上昇のために、海拔の低い島嶼に水没の危機が迫っている。

写真3：2006年10月、バンコクの近郊ノンタブリー県を襲った洪水は、同県チャオプラヤー川の中にあるクレット島を呑み込んだ。写真はボートで移動する住民たち。すでに科学者たちは、これまで以上に気候変動による異常気象の発生が多くなると警告していた。

写真5：ブラジル・アマゾナス州の州都マナウスから150キロメートルにある湖が干上がり、何千匹もの魚が死んだ。

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、冰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おかげで条約の発効が大幅に遅れ、交渉に費やされるべき時間が削られている。京都議定書の次のコミットメントは、遅くとも2009年には合意されなければならない。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からだ。

核の脅威

「核事故のリスク、核廃棄物の増大、核拡散の脅威は、
原子力からの撤退が求められる理由のほんの一部にすぎない」

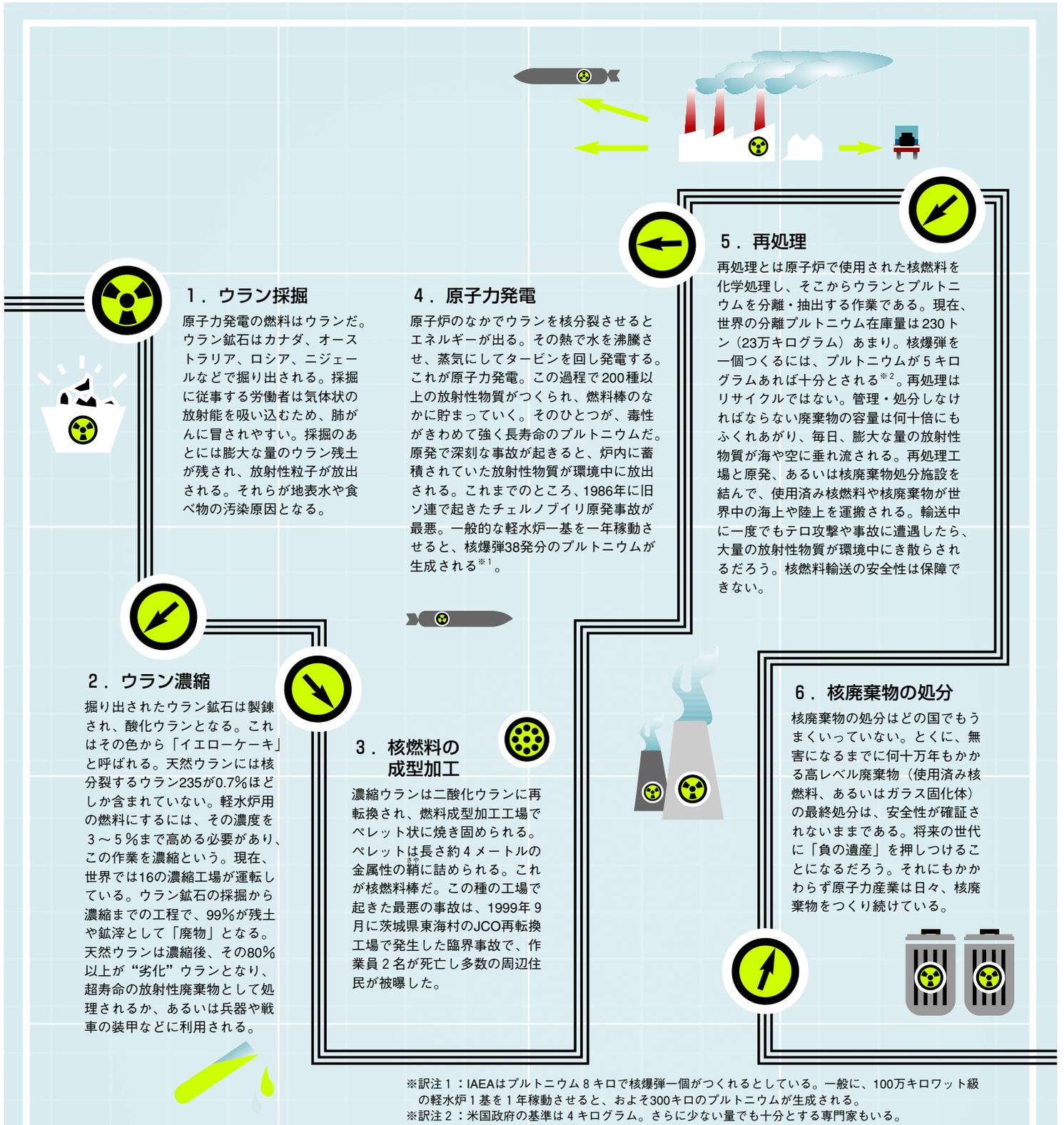


ウクライナ、チェルノブイリ原発

2003年6月17日、グリーンピースがイラクのトゥワイサ核施設近くにある女子校（生徒数約900名）周辺の放射線を測定したところ、自然界の3000倍もの高い値が検出された。一帯は立ち入り禁止に。



図4 核の脅威——ウラン採掘から核廃棄物処分まで



核の利用がもたらす脅威

原子力の利用は人間と環境に多くの脅威をおよぼす。主な危険は以下の3つ。

- 核拡散
- 核廃棄物の増大
- 事故リスク

これからも、原子力は将来を担う技術になりえないのは明らかなので、エネルギー [r]e ポリユーション・シナリオでは選択肢から除外している。

核兵器の拡散

原爆を製造するには核分裂性物質——ウラン235またはプルトニウム239——がいる。一般的な原子炉はウランを燃料に使い、その運転の過程でプルトニウムを生成する。大型再処理工場の場合、プルトニウムの軍事転用を確実に防げるような保障措置はありえない。一方、小規模のプルトニウム分離施設は、数カ月もあれば設置できる。したがって原子炉を保有する国であれば、比較的短時間のうちに核爆弾の製造が可能である。

こうして、原子力発電と核爆弾製造は「シャム双生児」のような成長を遂げてきた。イスラエル、インド、パキスタン、北朝鮮が、核拡散防止のための国際管理が施行されたあとに核兵器を獲得したことからわかるように、核の民生利用と軍事利用は切っても切れない関係にある。国際原子力機関（IAEA）と核拡散防止条約（NPT）は、核の「平和利用」を推進しながら核兵器拡散の抑止をめざすという本質的な矛盾をかかえているのだ。

イスラエル、インド、パキスタンは、IAEAによる保障措置が適用されていない民生用核施設を使って核武装能力を開発し、北朝鮮はNPT署名国であるにもかかわらず核兵器を獲得した。さらにイラン、リビア、北朝鮮によるウラン濃縮技術の入手——これらは核兵器拡散防止の難しさを表している。モハメド・エルバラダイIAEA事務局長は、「専門家の多くは、核燃料サイクルを開発できる能力をもつ国が核武装を決意したなら、その目的が何であれ核兵器の製造は時間の問題と見ている」¹と述べている。

地球温暖化対策として、プルトニウム燃料を使う高速炉の普及を進める動きがある。これについては「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）も、世界の安全保障に対する「途方もない」脅威となるだろうと警告している²。プルトニウム燃料を使うのは高速炉に限らない。一般的な原子炉も、プルトニウム・ウラン混合酸化物燃料（MOX）を装荷できる。未使用のMOX燃料からプルトニウムを抽出するのはたやすいことだ。

核分裂性物質の生産を「信頼できる」国だけに限定する案も、うまくいかないだろう。不満をもつ国々を増大させ、世界の安全保障をゆがしかねない。気候変動と核拡散という双頭の脅威に対処するには、国連に持続可能なエネルギーの普及と原子力からの撤退を任務とする機関を新設すべきである。そうした取り組みこそ、世界に恐怖ではなく平和をもたらすことができる。

核廃棄物の増大

原子力を推進する側は、核廃棄物を地底深くに埋め捨ててしまうつもりだ。これは地層処分と呼ばれる。原子力産業は原発を売り込むとき、核廃棄物の処分が難航しているのは技術の問題ではなく社会の理解が不足しているからだとし、フィンランド、スウェーデン、アメリカの処分計画を持ち出す。しかし、地層処分は放射能の環境放出を遅らせるだけで、放射性物質を生命圏から永久に隔離し続けることはできないだろう。また放射能が漏出する時間を推定しようにも、それを確実に予測しうる科学的知見は得られておらず、将来、処分場周辺の住民が受けることになる線量を「許容量以下」と断言するわけにはい

かない。

もっとも毒性が強い核廃棄物は、原子炉から取り外された核燃料だ。これは使用済み核燃料と呼ばれ、何十万年ものあいだ放射線を出し続ける。日本をはじめ一部の国は、使用済み核燃料を硝酸で溶かし、そのなかからプルトニウムを取り出すことにしている。この工程は再処理と呼ばれる。そのあとには、核分裂生成物（「死の灰」）が溶け込んだ超猛毒の放射性廃液が残される。廃液はガラス固化という技術を使って固められたあと、地層処分される予定だが、使用済み核燃料がそうであるように、その最終処分が確立している国はない。使用済み核燃料の累積量は、世界全体で約27万トン。その多くは原発敷地内に貯蔵されている。年間発生量は約1万2000トンで、再処理にまわされるのはそのおよそ4分の1である³。

現在までにつくり出されてしまった核廃棄物については、それらが発生した施設の敷地内に乾式貯蔵施設*を設置して地上で管理・貯蔵するのがもっとも害が少ない方法だろうが、それでも多大な危険をとまなう。現実的な解決策は唯一、核廃棄物をこれ以上つくり出さないことだ。

※訳注：使用済み核燃料を水プールではなく、キャスクと呼ばれる放射能（線）を閉じ込める金属容器に封入し、窒素などの乾燥状態で長期保管するための施設。

事故リスク

世界の原発や核施設では大小数え切れないほどの事故が起きてきた。英国・ウィンズケール原子炉（1957年）、米国・スリーマイル島原発（79年）、旧ソ連・チェルノブイリ原発（86年）、日本の東海村JCO施設（99年）などでの事故は、そのほんの数例にしかすぎない。

2006年7月、スウェーデンのフォルスマルク原発で発生した電源喪失事故は、原発の安全装置がいかにもろいかを露呈した。この事故の発端は、外部電源の切断という単純なものだった。ところが非常用ディーゼル発電機が作動せず、原子炉への電源供給がおよそ20分のあいだ停止して、あわや大惨事につながるところだった。同原発の前所長は「炉心溶融にいたらなかったのは運がよかったとしか言いようがない」と述べている。当局は安全確認のため、同国の原発10基のうち4基を停止し点検した。これは同国の電力供給の約20%に相当する。

原子炉を運転するには、核の連鎖反応を制御し、有害な放射能をなるべく炉内に封じ込めて、放射性物質を人間の活動範囲から隔離しようえ、厳重に管理し続けなければならない。核反応により高熱が生じるため、冷却も必要となる。たいてい冷却材は加圧される。強い放射線に加え、こうした高温・高圧状態が原子炉の運転を厄介で複雑さわまりないものになっている。

世界で稼働中の原発の大半は、運転開始からすでに20年以上経過し、老朽化が進んでいる。事故の発生確率は高まる一方だ。原子炉の寿命は設計上は40年前後だが、電力事業者はこれを60年くらいまで引き伸ばそうとしている。事故リスクはさらに高くなるだろう。

電力市場の自由化が進むにつれ、原子力施設での人員削減、定期点検をはじめとする安全性にかかわる投資低減、原子炉を出来るだけ高温・高圧に維持する、濃縮度が高めの核燃料をなるべく長く使う（高燃焼度化）、といった傾向が強まっている。そのため炉の負担が増大し、安全余裕がさらに狭められている。こうした状況に対して、規制当局の対応は万全とは言い切れない。

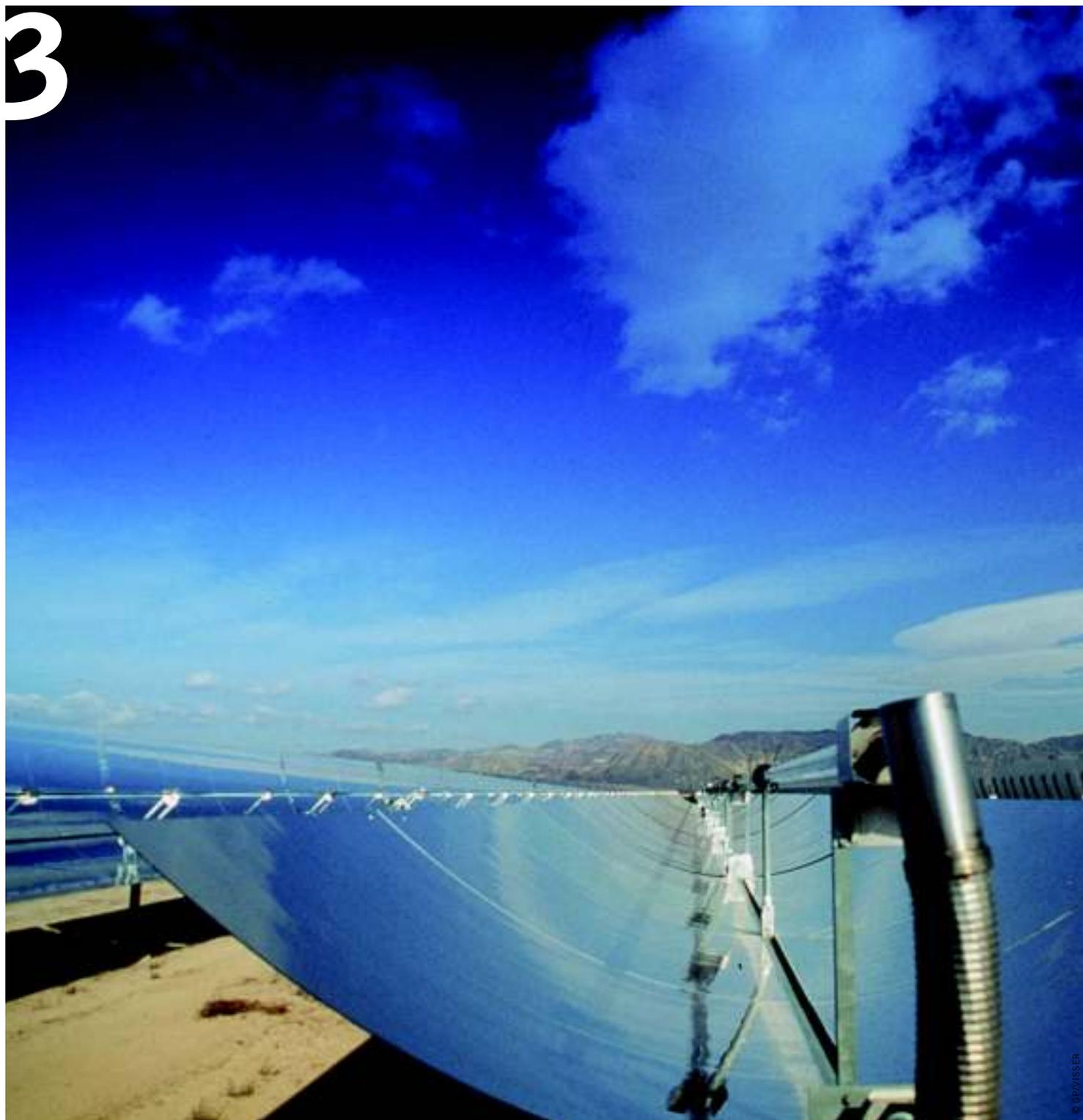
新しい形式の原子炉、いわゆる受動的安全炉は、重力落下式の緊急冷却水や自然通風による冷却といった自然の物理原理を利用する。これによってテロ攻撃に対する防護が弱まりかねない。

参照

- 1) MOHAMED ELBARADEI, "TOWARDS A SAFER WORLD," ECONOMIST, OCTOBER 18, 2003
- 2) IPCC WORKING GROUP II (1995) IMPACTS, ADAPTIONS AND MITIGATION OF CLIMATE CHANGE: SCIENTIFIC-TECHNICAL ANALYSES. CLIMATE CHANGE 1995 IPCC WORKING GROUP II.
- 3) WASTE MANAGEMENT IN THE NUCLEAR FUEL CYCLE, WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, INFORMATION AND ISSUE BRIEF, FEBRUARY 2006. WWW.WORLD-NUCLEAR.ORG/INF0/INF04.HTML

エネルギー [r]eボリューション

「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。米国カルフォルニア州ダゲットのソーラーファーム。

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。



気候変動はエネルギー [r]eポリューションをいや応なしに迫っている。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核となるのは、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。

「石器時代が終焉したのは、石がなくなったからではない。石油時代はその枯渇を待たずして、終わりを告げるだろう」

シェイク・ザキ・ヤマニ元サウジアラビア石油大臣

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力を浪費している。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⁴。

参照

4) IEA; WORLD ENERGY OUTLOOK 2004

今が好機

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年を超過し、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ボリューション・シナリオは、自然エネルギーやコジェネレーション（熱電併給）と、エネルギーの効率利用を組み合わせた、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。

社会基盤の改革

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ボリューションは、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ボリューション・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這いにすること、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。



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ばバイオマスであれば、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パ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。

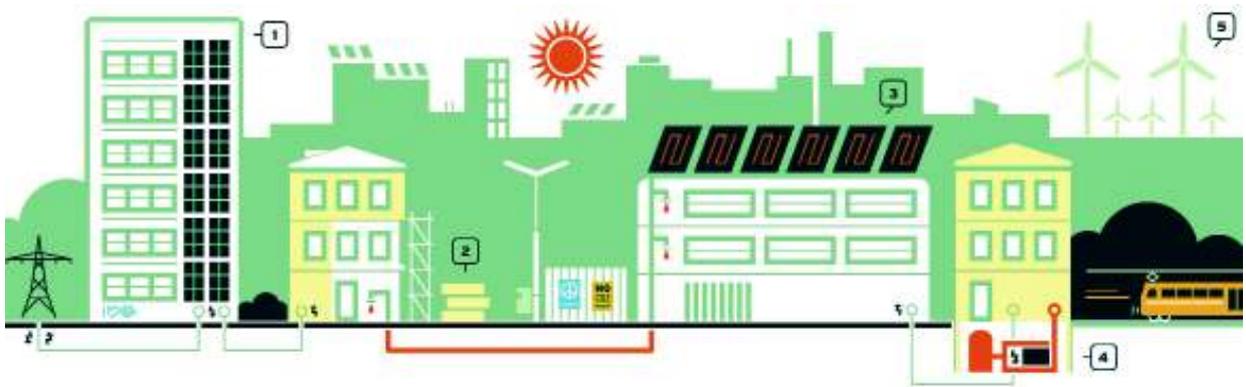
シナリオの柱

- 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

図5 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wind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。

郊外



1. 太陽光発電
2. 小型コジェネレーションプラント=熱電併給 (CHP)
3. 太陽熱温水システム (熱供給)
4. 省エネ型建物
5. 地熱コジェネレーションプラント (CHP)

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。



自然エネルギーの最適な統合

エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギーの大幅なシェア拡大を見込んでいる。これを達成するにはエネルギーシステムを変える必要がある。現在、OECD諸国で運転中の大規模集中型プラントは、そのほとんどが1970年代から80年代にかけて導入された。その当時構築されたシステムは、高圧電力網を拡張し、原発や石炭火力発電所が深夜につくる電力を売るため、夜間蓄熱器や大型の夜間電気温水器の設置を進める、というものである。今後導入されるシステムは、これと同じであってはならない。

OECD諸国のなかには、風力のように出力変動がある分散型エネルギーを、系統電力と支障なく統合させることが可能であることを実証している国もある。その好例がデンマークだ。同国のコージェネレーションと風力発電の導入率はヨーロッパ最高で、強力な支援政策のもと、現在、電力供給の50%、地域熱供給の80%がコージェネレーションによってまかなわれている。風力の貢献はデンマークの電力需要の18%以上にのぼる。状況によっては、コージェネレーションや風力発電による発電量は需要を上回ることもある。電力の安定供給に影響する変動負荷は、いくつかの大型発電所で出力を調整するか、隣国との電力輸出入などで対処されている。また電力料金を3段階に設定することで、分散型発電による発電量と消費量の日を通じたバランスをとっている。

重要なことは、需要側と供給側の両サイドにおける管理システムのインテリジェンス化、電源のベストミックス、蓄電システムの導入などにより、エネルギーシステム全体を最適化することである。

電源のベストミックス

OECD諸国の電力供給は、そのほとんどが石炭火力（国によっては一部原子力）発電によるもので、出力調整が難しい。一方、最新式のガス火力発電は高効率であるだけでなく、出力調整が容易で起動も早いため、変動負荷への対応にも優れている。石炭火力発電所や原子力発電所は燃料・運転コストは安いですが、投資コストが比較的高い。そこで投資回収のため、「ベースロード」電源として常時運転することになる。ガス火力発電所は投資コストが低く、低出力で運転しても採算が合うので、自然エネルギーによる供給変動と、電力需要とのバランスを保つのに適している。

負荷管理

電力需要の量と時間は、ピーク時に電力消費を抑えたり電源を切り替えるような経済的インセンティブを消費者に提供することで管理できる。調整にはデマンド制御技術が導入できる。すでにこのシステムは産業用など大口顧客に利用されている。ノルウェーの電力会社は、一般家庭に向けて電源切断のメッセージとともに電源自動切断の信号を送信する。このプログラムに参加するかどうかは各家庭が事前を選択する。ドイツでは時間帯別料金制度が試みられている。これにより洗濯機を夜間に使用したり、電力高需要時に冷蔵庫の電源を一時的に切ったりするよう促される。

図6 投入エネルギーの3分の2以上が無駄となる大規模集中型エネルギーシステム



こうした方式の負荷管理は、ITの進展にともなって簡単になってきている（たとえば、イタリアでは3000万台の新型電力量計が設置され、遠隔検針や消費者と利用情報の制御が可能になった）。また、冷蔵庫、食器洗浄機、洗濯機、蓄熱暖房機、給水ポンプ、空調など多くの電化製品や設備は、電源を一時的に切ったり、作動時間帯を調整したりできるようになり、これによって負荷電力を他の用途に融通することが可能になっている。

発電管理

自然エネルギーによる発電システムも負荷最適化に役立つ。たとえば系統電力へ流入する電力が過剰であるとき、ウィンドファームの操業を一時的に停止することもできる*。

※訳注：「解列」と呼ばれ、日本でもすでに取り入れられている。

蓄電技術

電力需給のバランスを保つ技術としては、他に蓄電がある。これは集中型、あるいはバッテリーのような分散型のどちらも可能だ。これまでは揚水式水力発電が主要な大量蓄電の技術として利用されてきた。このシステムは、余った電力を使って水を汲み上げて貯水池に蓄え、それを必要時に再び落下させタービンをまわして発電する。こうした施設は世界に280カ所ほどあり、電力供給の安定化に寄与しているが、しかし将来は自然エネルギーシステムの必要性に応じた運転へと調整されるだろう。

将来に向けて、他の蓄電技術も開発されている。水素以外では圧縮空気の利用がある。これは電力で空気を70バールまでの高圧に圧縮し、岩盤内に設けられた空洞などに貯蔵する。そして電力需要のピーク時に取り出して、ガスタービンをまわす。圧縮空気エネルギー貯蔵（CAES）と呼ばれるこのシステムは、いまのところ化石燃料を補助的に利用するが、それを必要としない、いわゆる「断熱式」プラントも開発中である。これは圧縮空気の熱を大型の蓄熱施設に中間貯蔵して発電に使う方式。その貯蔵効率は70%にも達しうる。

自然エネルギーによる発電量予測も向上し続けている。電力供給量の調整、とくに短時間のうちに調整するにはコストがかかるが、近年、風力による発電量の事前予測技術は飛躍的に進歩し、さらに改良が重ねられていることから、調整コストは低下していくだろう。

「バーチャル発電所」

ITの急速な発展により、コジェネレーションプラント、自然エネルギーシステム、従来型発電所の組み合わせをベースとする分散型エネルギーシステムの前途が開けてきた。小型コジェネレーションプラントのメーカーは、システムを遠隔操作できるインターネット・インターフェイスをすでに提供している。これにより各家庭は、自宅で使用する電力と熱を管理できるようになり、系統電力から割高の電力を購入するのを減らせるし、電力需要の平準化にも役立つ。将来は、小型コジェネレーション設備を中心に据えた「スマート住宅」が主流となるだろう。

こうした技術をさらに進化させたのが「バーチャル発電所」だ。「バーチャル」といっても、電力を発電しないわけではない。タービンや発電機などを収容する大きな建屋がないだけである。バーチャル発電所の中核は、分散している発電施設をネットワーク化し、それらからのデータを処理する制御センターだ。集められた電力需要、発電量、天候などの予測データは、一般電力市場の電力価格などと比較検討され、それらをもとにすべての発電所の運転が最適化される。すでに一部の電力会社は、コジェネレーション、ウィンドファーム、太陽光発電システム、およびその他の発電施設を組み合わせたものを、このシステムで運用している。バーチャル発電所は需要側から管理プロセスにリンクすることも可能だ。

未来の送電ネットワーク

自然エネルギーを中心とする分散型システムを構築するには、送電ネットワークも変わらなければならない。今日の送電ネットワークは、いくつかの集中型発電所から需要家に向け、一方的に送電するよう設計されている。未来のシステムは臨機応変となるだろう。大型発電所は高圧送電ネットワークに電力を供給し、太陽光発電、コジェネレーション、風力発電といった小規模分散型システムは低・中圧送電ネットワークに供給する。洋上ウィンドファームのように遠隔地に設置された自然エネルギー施設からの送電用に、新たな高圧送電線を敷く必要があるが、その数は限定的だろう。送電線は、地域によっては他国との電力取引にも利用される。エネルギー[r]eボリューション・シナリオでは、自然エネルギーが電力総需要に占める割合は2020年までに約30%、50年までに約40%に達すると見込んでいる。

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。



村落の電化

貧困を減らし、保健衛生や識字率を向上させ、不公平を是正するうえで、エネルギーは中心的な役割を果たす。世界人口の4分の1以上が、近代的なエネルギー・サービスとは無縁の暮らしを送っている。アフリカのサハラ以南地域では、人口の80%が電力を利用できない。煮炊きにも、暖を取るにも、ほぼすべて伝統的なバイオマス——新、炭、糞——の燃焼に頼っている。

貧困層は所得の3分の1をエネルギーに費やしている。その大半は煮炊きで消える。調理のための燃料を集めて加工するのは、もっぱら女たちだ。インドでは、毎日2時間から7時間もが燃料集めに費やされることもある。これは子育てや、学習や、収入を増やすために使えないはずの時間だ。世界保健機関（WHO）の推定によると、途上国では毎年250万人もの女と子供が、屋内で燃やしたバイオマスのガスを吸い込み、早すぎる死に追いやられているという。

国連のミレニアム開発目標は、世界の貧困を2015年までに半減させるとしている。しかしエネルギーの確保なくしては、生産・所得・教育のレベルを引き上げ、雇用を生み出し、生存ぎりぎりの窮状を緩和するのは難しい。食料の生産・収穫・加工・流通を高めるためのエネルギーがなければ、飢餓は減らない。健康状態を改善し、死亡率を低減させるには、診療所や病院を増やし、ワクチン接種を普及させる必要があるが、そのためには必要なものを冷蔵する機器とそれを動かすエネルギーがいる。世界の小児死亡の主要原因である急性呼吸器疾患は、屋内での煮炊きから発生する煙への対策を取らない限り、事態は改善できないだろう。照明がなければ子供たちは夜間に勉強できない。エネルギーがなければ、きれいな水を汲み上げたり、水を浄化したりすることもできないのである。

国連の持続可能な開発委員会は、「国際社会が合意した、2015年までに一日1米ドル以下の収入で生活する人口を半減させる目標を達成するには、手ごろな価格のエネルギー・サービスを利用できるようにすることが不可欠だ」と述べている。

持続可能でクリーンな自然エネルギーの役割

気候変動の抑止に向け、二酸化炭素の大幅な排出削減——OECD諸国の場合、2050年までに80%——を達成するには、自然エネルギーの大規模な導入が必要となる。先進国はその導入目標をさらに拡大し、火力発電や原子力発電を代替するだけでなく、自然エネルギー技術を地球規模で普及させるような経済を創出しなければならない。また途上国における非効率な伝統的バイオマス利用は、太陽熱温水器、ソーラー調理器、バイオエネルギーの近代的な利用*といった、最新の自然エネルギー技術に取って代わられるものと見込まれる。

※訳注：クリーンで効率的なエネルギー利用方式

シナリオの柱

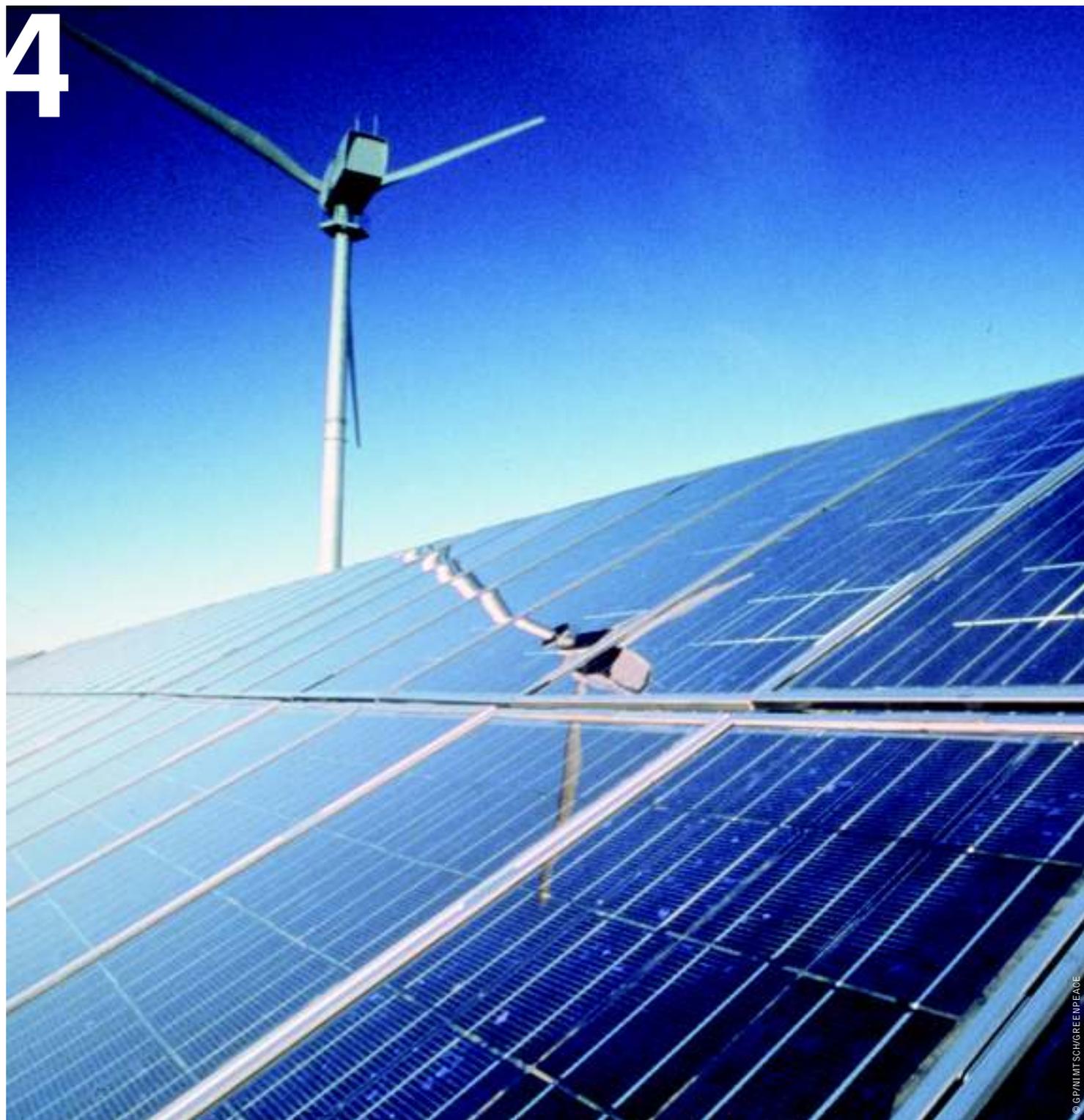
- エネルギーの消費・生産・流通の効率化
- エネルギーの地産地消
- 環境負荷の低い地産エネルギーの最大活用

参照

5) SUSTAINABLE ENERGY FOR POVERTY REDUCTION: AN ACTION PLAN, IT-POWER, GREENPEACE INTERNATIONAL SEPTEMBER 2002

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世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『世界エネルギー展望2004年版』（『WEO2004』）⁶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、DLRが欧州連合（EU）25カ国を対象とする同様の評価⁷で用いたMESAP/PlaNetモデルを使って計算された。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。

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・サービス他）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図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。

シナリオの主要な想定

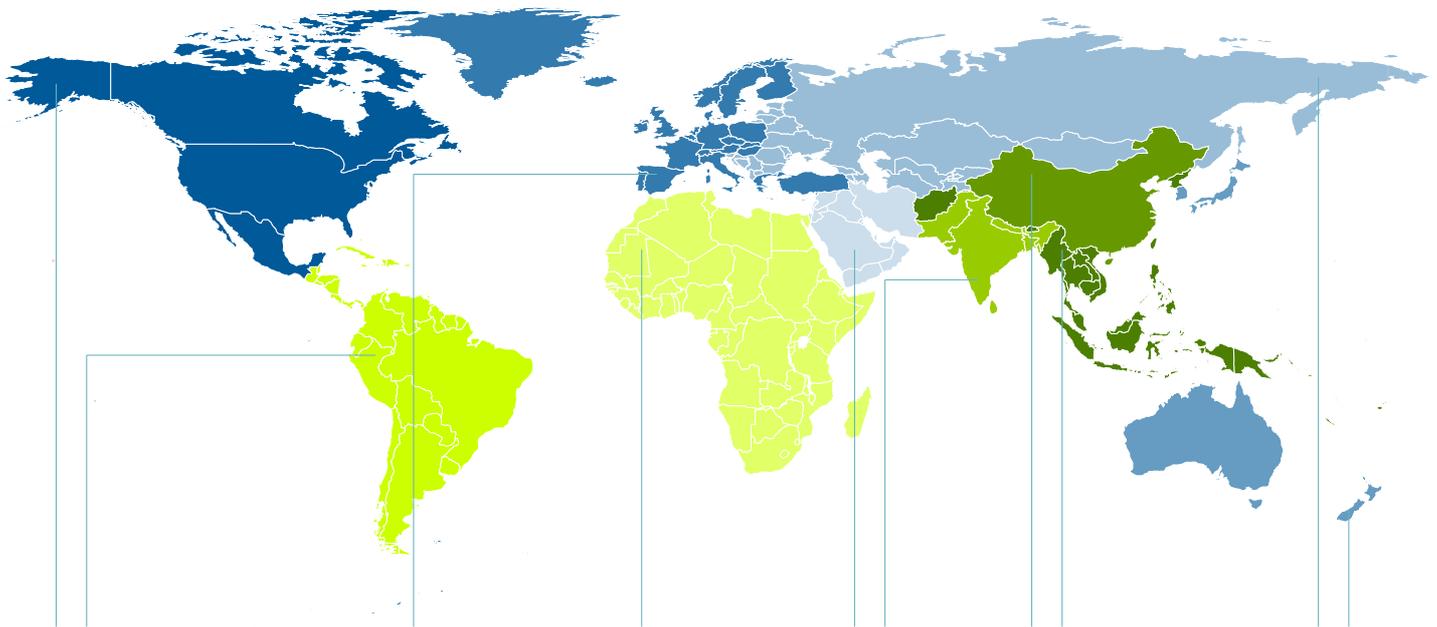
エネルギー供給システムは、地域によってその構造にかなりの違いがあるため、世界全体のエネルギー・シナリオを作成するにあたっては地域別モデルが必要となる。ここではIAEによる地域分類を用いているが、これはWEOシリーズで同分類が使用され、またIEAのエネルギー統計がもっとも包括的だからである。図7にIEAの分類による10地域と、各地域に属する国々を示す。

参照

- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, WORLD ENERGY OUTLOOK 2004, PARIS 2004. 2006年度版は2006年11月発行。GDPの伸び率や人口といった基本変数は同じ（『WEO2004』と『WEO2006』の感度分析についてのボックスを参照）。
- *ENERGY REVOLUTION: A SUSTAINABLE PATHWAY TO A CLEAN ENERGY FUTURE FOR EUROPE*, GREENPEACE INTERNATIONAL, SEPTEMBER 2005

図7 地域分類

WEO 2004



OECD北米

カナダ、メキシコ、米国

中南米

アンティグアバーブーダ、アルゼンチン、バハマ、バルバドス、ベリーズ、バミューダ諸島、ボリビア、ブラジル、チリ、コロンビア、コスタリカ、キューバ、ドミニカ、ドミニカ共和国、エクアドル、エルサルバドル、フランス領ギアナ、グレナダ、グアドループ、グアテマラ、ガイアナ、ハイチ、ホンジュラス、ジャマイカ、マルティニク、オランダ領アンティル、ニカラグア、パナマ、パラグアイ、ペルー、プエルトリコ、セントキッツネヴィスアンギラ、セントルシア、セントビンセント・グレナディーン、スリナム、トリニダード・トバゴ、ウルグアイ、ベネズエラ

OECD欧州

オーストリア、ベルギー、チェコ共和国、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、ハンガリー、アイスランド、アイルランド、イタリア、ルクセンブルク、オランダ、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、スロバキア共和国、スペイン、スウェーデン、スイス、トルコ、英国

アフリカ

アルジェリア、アンゴラ、ベニン、ボツワナ、ブルキナファソ、ブルンディ、カメルーン、カーボベルデ、中央アフリカ、チャド、コンゴ、コンゴ民主共和国、コートジボワール、ジブチ、エジプト、赤道ギニア、エリトリア、エチオピア、ガボン、ガンビア、ガーナ、ギニア、ギニアビサウ、ケニア、レソト、リベリア、リビア、マダガスカル、マリ、モーリタニア、モーリシャス、モロッコ、モザンビーク、ナミビア、ニジェール、ナイジェリア、ルワンダ、サントメプリンシペ、セネガル、セイシェル、シエラレオネ、ソマリア、南アフリカ、スーダン、スワジランド、タンザニア連合共和国、トーゴ、チュニジア、ウガンダ、ザンビア、ジンバブエ

中東

バーレーン、イラン、イラク、イスラエル、ヨルダン、クウェート、レバノン、オマーン、カタール、サウジアラビア、シリア、アラブ首長国連邦、イエメン

南アジア

バングラデシュ、インド、ネパール、パキスタン、スリランカ

中国

中国

東アジア

アフガニスタン、ブータン、ブルネイ、カンボジア、台湾、フィジー、フランス領ポリネシア、インドネシア、キリバツ、朝鮮民主主義人民共和国、ラオス、マレーシア、モルディブ、ミャンマー、ニューカレドニア、バブアニューギニア、フィリピン、サモア、シンガポール、ソロモン諸島、タイ、ベトナム、バヌアツ

市場経済移行国

アルバニア、アルメニア、アゼルバイジャン、ベラルーシ、ボスニア・ヘルツェゴビナ、ブルガリア、クロアチア、エストニア、セルビア共和国、モンテネグロ共和国、マケドニア旧ユーゴスラビア共和国、グルジア、カザフスタン、キルギスタン、ラトビア、リトアニア、モルドバ、ルーマニア、ロシア、スロベニア、タジキスタン、トルクメニスタン、ウクライナ、ウズベキスタン、キプロス、ジブラルタル*、マルタ*

OECD太平洋

日本、韓国、オーストラリア、ニュージーランド

*ジブラルタルとマルタが市場経済移行国に含まれているのは、統計上の理由による。

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ツ環礁。



人口増加

世界各地域の人口増加率は『WEO2004』の推定値を採用している。WEOの予測対象期間は2030年までなので、それ以降のデータは国連『世界人口予測2004年版』（World Population Prospects: The 2004 Revision）に依拠している。

世界人口は2003年から2050年にかけて年平均0.78%で増え、63億人から89億人近くになると予想される。予測期間中の人口増加率は、2003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0.42%に減速するだろう。もっとも急速な伸びを示すのは今後も発展途上地域で、市場経済移行国の人口は減少傾向が続く。OECD欧州および太平洋地域では、2020年から30年あたりにピークを迎えた後、大幅に減少すると予測される。OECD北米地域の人口は持続的な増加が見込まれるが、世界人口に占める相対的な割合は上昇しない。

2050年までに、今日「発展途上地域」に分類されている国々の人口が世界全体に占める割合は、76%から82%に増える。OECD加盟国が占める割合は、今日の20.8%から16%に減る。同じく中国も減る。最大の人口伸び率を示すのは依然としてアフリカで、2050年までに世界人口の21%を占めるようになる。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。

経済成長や生活水準の国際比較には、その実態をより正確に反映できるよう、購買力平価（PPP）換算によるGDPが用いられるようになった。『WEO2004』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2000年時点での米ドル換算で表す。

『WEO2004』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、それ以降の経済成長については別の予想にあたる必要があった。2000年のIPCC排出シナリオは、基本となる4つの叙述的（「ストーリーライン」と呼ばれる）シナリオとその関連シナリオ群を示し、2050年までにどのような発展の道筋がありうるかを描いている。WEOは世界のGDP成長率を、2002年から2010年にかけては年平均3.7%と予想している。これはいずれのIPCCシナリオよりも大幅に高い。また2020年から2030年にかけては、同2.7%と急激な低下を見込んでいる。

図8 地域別人口増加の見通し

2003年と2050年

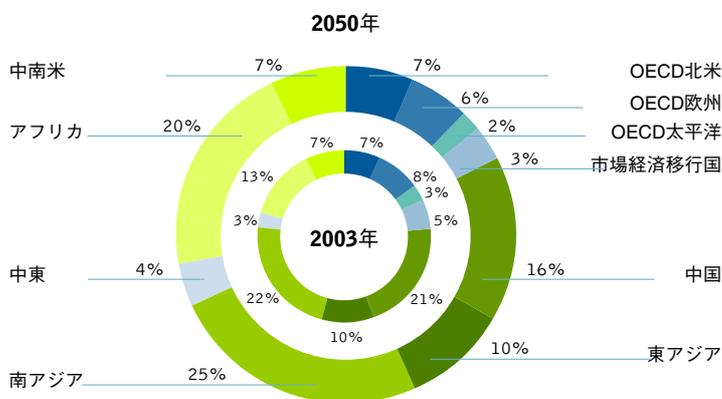


表2 地域別人口増加の見通し

単位：1000人

地域	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
世界	6309590	6848630	7561980	8138960	8593660	8887550
OECD欧州	527300	538470	543880	543880	527560	508970
OECD北米	425800	456520	499310	535380	563110	586060
OECD太平洋	199000	201800	201800	197800	190990	182570
市場経済移行国	345000	340200	333460	320360	303170	284030
中国	1311300	1376920	1447330	1461870	1448710	1407150
東アジア	622600	686240	765570	829070	871470	889060
南アジア	1410000	1575710	1792960	1980540	2123630	2210120
中南米	439570	481170	536790	581310	612610	630020
アフリカ	847660	980400	1183430	1387010	1615780	1835730
中東	181360	211200	257450	301740	336630	353840

出所：国際連合（UN）

そこで2030年以降は、IPCCのB2シナリオを採用した。同シナリオは、世界は中間レベルの経済発展を遂げながら、経済、社会、環境の持続可能性については地域的解決に重点が置かれると想定している。

分析の結果、世界のすべての地域において、今後、GDP成長率はしだいに鈍化していく見通しである。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、2002年から2030年は3.2%、さらに本シナリオが対象とする2050年までの期間全体では2.7%になると予想される。もっとも成長が速いのは中国とその他のアジア諸国で、アフリカと市場経済移行国がそれに続くと思込まれる。中国経済は成熟するにつれて減速するものの、2020年代はじめまでに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、2002年の58%から、2050年には38%へと低下するだろう。

『WEO2006』は、2004年～2030年の時間枠における世界のGDPの年平均成長率を、『WEO2004』の3.2%と比べてやや高めめの3.4%と想定している。また2030年の最終エネルギー消費を、『WEO2004』の予測より4%高めと推定している。エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける感度分析は、経済成長がエネルギー需要におよぼす影響を、2003年から2050年までを通して、GDPの世界平均が0.1%伸びるごとに最終エネルギー消費量が約0.2%増加するとしている。

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せられるコストだ。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年には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。

図9 地域別GDP成長の見通し

2002年と2050年

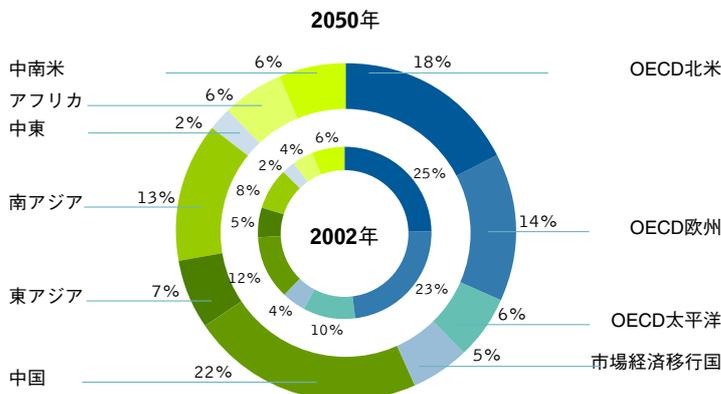


表2 GDP成長の見通し

(年平均成長率)

地域	2002 - 2010	2010 - 2020	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050	2002 - 2050
世界	3.7%	3.2%	2.7%	2.3%	2.0%	2.7%
OECD欧州	2.4%	2.2%	1.7%	1.3%	1.1%	1.7%
OECD北米	3.2%	2.4%	1.9%	1.6%	1.5%	2.1%
OECD太平洋	2.5%	1.9%	1.7%	1.5%	1.4%	1.8%
市場経済移行国	4.6%	3.7%	2.9%	2.6%	2.5%	3.2%
中国	6.4%	4.9%	4.0%	3.2%	2.6%	4.1%
東アジア	4.5%	3.9%	3.1%	2.5%	2.2%	3.2%
南アジア	5.5%	4.8%	4.0%	3.2%	2.5%	3.9%
中南米	3.4%	3.2%	2.9%	2.6%	2.4%	2.9%
アフリカ	4.1%	3.8%	3.4%	3.4%	3.4%	3.6%
中東	3.5%	3.0%	2.6%	2.3%	2.0%	2.6%

出所：2002-2030: IEA 2004; 2030-2050:本書の推計



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⁸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

表3 化石燃料価格の想定

化石燃料	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
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

*原文は「Hard Coal」(無煙炭、瀝青炭、一部の亜瀝青炭)。

表4 バイオマス価格の想定

2000ドル/GJ

バイオマス	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
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

表6 発電技術(抜粋)の効率向上と投資コストの見通し

		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

参照

8) (ヨーロッパのみ) NITSCH ET AL. (2004) AND THE GEMIS-DATABASE (OKO-INSTITUT, 2005)

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。IEAは2050年の「二酸化炭素の削減インセンティブ」を、1トンあたり25ドルと想定している。一方、ヨーロッパCASCADE-MINTSプロジェクトは、2020年に同50ドル、2030年以降は100ドルと想定している。本シナリオでは2050年に同50ドルと想定したが、これはIEAの予測より2倍高いものの、他のシナリオに比べれば控えめである。また非附属書B国において排出コストが考慮されるようになるのは、2020年以降と想定している。

まとめ：在来型エネルギーコストの見通し

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通しを表6にまとめて示す。

表5 二酸化炭素の排出価格の想定

(ドル/TCO₂)

国	2010	2020	2030	2040	2050年
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

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通し

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来る。しかし技術・製造面での進展や

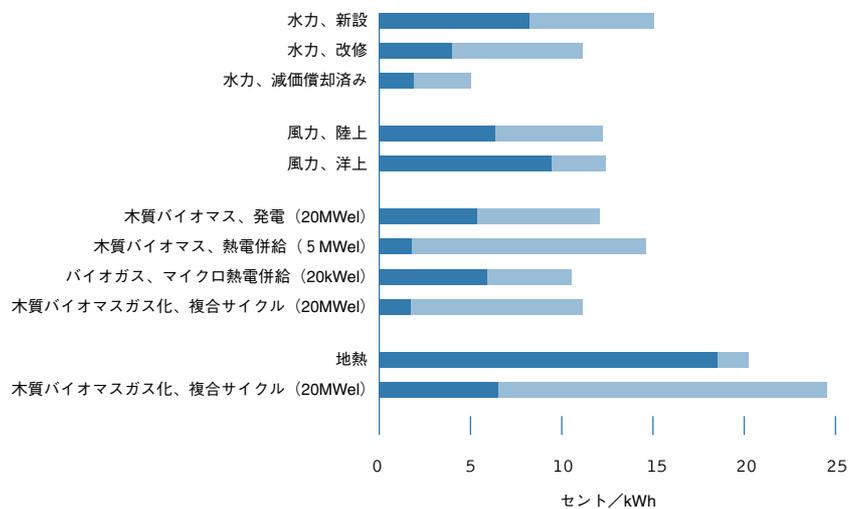
生産規模の拡大により、とりわけ本報告書が対象としている長期の時間枠において、コスト低下の可能性は大きい。

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⁹。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、英国は0.75と幅がある。

図10 ヨーロッパにおける現在の自然エネルギー発電コスト

（太陽光発電を除く。その発電コストは、キロワット時あたり25セントから50セント）

高コスト（薄い色の棒グラフ）と低コスト（濃い色の棒グラフ）の幅は、風速や日射量といった地域条件の違いを反映している。



2004年12月、インドネシアで津波が発生した。グリーンピースはもっとも大きな打撃を受けたアチェ州沿岸の村に太陽光発電システムを寄贈している。また、そのエネルギー効率と自然エネルギーの専門知識をいかし、開発問題に取り組むNGO・アップリンク（UPLINK）と協力して、2006年、深刻な被害を受けた村のひとつに自然エネルギーを利用する発電機を設置した。



1. 太陽光発電

近年、太陽光発電市場は世界全体で年率40%強の成長を見せているが、それが発電に占めるシェアは依然として小さい。開発の重点は、モジュールとシステム部品の改良、そして新しい薄膜セル、結晶系太陽電池の新材料の開発に置かれている。この何年かのうちに、結晶系太陽電池の発電効率は15～20%向上し、使用原料が少ない薄膜セルが商業規模で生産されるものと予想される。

太陽光発電モジュールの学習率はかなり一定していて、今後30年間にわたり0.8前後である。これは技術学習とコスト低下が高い割合で進むことを示している。2050年に世界の太陽光発電設備容量は2000ギガワットになり、2030年以降は進歩指数が小さくなると仮定すると、2030年までに太陽光発電のコストはキロワット時あたり5～9セント前後まで低下可能と予想される¹⁰。したがって太陽光発電は、自然エネルギー技術のなかでも、長期的な選択肢と位置づけるべきである。太陽光発電が重要なのは、その柔軟性がきわめて高いこと、そして現時点で電気の恩恵を受けていない村落部に暮らす20億人に電力を供給する大きなポテンシャルをもつためだ。

2. 集光型太陽光発電

「集光」式の太陽熱発電所は直射光しか利用できないため、日射量が高い地域に適している。たとえば北アフリカの技術的潜在力は、地域の需要をはるかに上回る。多様な太陽熱技術（パラボリック・トラフ式、中央タワー方式、パラボリック・ディッシュ式）が、さらなるコスト低下と成長を促すものと見込まれる。太陽熱発電にとっての重要課題は、これらのシステムの運転時間を太陽光が射す時間帯以外にも拡大できるよう、大規模な熱エネルギー貯蔵を実現することだ。

現在までに設置された集光型太陽熱発電（CSP）プラントの数が少ないため、この部門について信頼できる学習率を求めるのは難しい。本書では、カリフォルニアに設置されたパラボリック・トラフ式集熱器のデータを用い、CSPの商業化にともない2030年には学習率は0.88から0.95になると想定している。国連の『世界エネルギー評価』（World Energy Assessment）は、風力発電産業から20年遅れるものの、太陽熱発電も同産業のようなダイナミックな市場成長をたどると予想している。日射量や運転モードにもよるが、発電コストはキロワット時あたり5～8セントになると予測される。なお、これは今後短期間のうちに市場展開が急速に進むことを前提としている。

3. 冷暖房のための太陽熱温水システム

給湯や補助暖房用の小型太陽熱温水システムはすでに流通しており、広い用途に応用されている。それに対し、夏季の熱をその必要度が高い冬季まで蓄える大型の蓄熱設備の開発は、実験プラントまでしか達していない。季節間蓄熱を利用した地域暖房システムが可能になれば、太陽エネルギーが低温熱市場の大半を占めるようになるだろう。その商業化は、蓄熱コストと利用可能な熱の歩留まりにかかっている。

ヨーロッパの太陽熱温水システム市場が示す学習率はほぼ0.90である。この数値を技術的観点から見ると、このシステムの技術の成熟は比較的進んでいることを意味する。一方、季節間蓄熱設備の設置コストは70%以上の低下が見込まれるものの、それには時間がかかると予想される。システムの構成にもよるが、太陽熱利用のコストは長期的にはキロワット時（熱）あたり4～7セントを達成できるだろう。

4. 風力発電

風力発電市場は短期間でダイナミックな成長を遂げ、全世界で確かな地歩を築いた。世界最大の風力発電機は発電容量が6メガワットにのぼり、そのうちの何基かはドイツに設置されている。旺盛な需要が続いていることから、メーカーは新システムの開発と販売に先行投資しているため、近年、いくつかの国々ではコスト低下の停滞が見られる。たとえば1990年から2000年にかけて、ドイツに設置された風力タービンで観測された学習率は0.94と大きかった。とはいえ、技術発展は歩留まりの向上につながるので、発電コストはさらに下がるだろう。洋上風力発電の分野は相対的に経験が不足していることから、それに応じて学習率が高くなるため、大幅なコスト低減の可能性が期待される。

IEAの『WEO2004』は、2030年までの世界の風力発電設備容量の伸びを、わずか330ギガワットと見込んでいる。一方、国連の『世界エネルギー評価』は同年までの飽和レベルをおよそ1900ギガワットと想定し、2006年版『世界風力エネルギー見通し』（The Global Wind Energy Outlook）¹¹は、2050年までに最大3000ギガワットに達すると予想している。市場成長が高位で推移すると予想し、現時点で観測されている学習率で経験曲線を描くと、風力発電のコストは2050年までに最大40%低下するだろう。

参照

9) DLR 2006, DR.WOLFRAM KREWITT ET. AL.

10) EPIA/GREENPEACE INTERNATIONAL: SOLARGENERATION 2006

11) EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION AND GREENPEACE

5. バイオマス

バイオマス利用の経済性はフィードストック（供給燃料）のコストで決定される。それらはネガティブ・コスト（逆有償）の木質系廃棄物から低価格の残渣、そして割高のエネルギー作物まであり、それらともなってバイオマスによるエネルギー生産コストも幅がある。もっとも経済的な選択肢のひとつは、木質系廃棄物を使った蒸気タービン熱電併給（CHP）プラントだ。一方、固形バイオ燃料のガス化は応用範囲を広げるが、しかしながら依然として割高である。小型CHPユニット（エンジンと燃料電池の組み合わせ）とガス化複合発電の両方で木質バイオガスを使うようになれば、将来は好ましい電力生産コストが達成されるだろう。地域熱供給網に連結する大・小規模の熱発生施設での固形バイオマス利用もまた、大きなポテンシャルをもつ。燃料作物から転換したエタノールや菜種メチルエステル（REM）から製造された「バイオディーゼル」は、たとえばブラジルや米国で、近年、重要性を増している。有機物の合成ガスから合成燃料を製造するプロセスも、その役割が大きくなるだろう。

中南米、ヨーロッパ、市場経済移行国では、定置利用あるいは運輸部門において、最新技術が普及していく可能性が大きい。これらの地域では、長期的には潜在的バイオマスの60%がエネルギー作物から、残りは林業の残材や端材、製材工場や建築からの廃材、などからつくられると予想される。

中東、南アジア、中国、その他の地域では、バイオマス利用の拡大には限りがある。原料が概して入手しにくかったり、あるいは伝統的な利用が高度に進んでいたりするためだ。後者の場合、もっと効率のよい技術を使うことで、現在利用しているバイオマスの持続可能性を高められるだろう。

6. 地熱

地熱エネルギーは以前から世界のあちこちで暖房や給湯に利用されてきた。一方、発電への利用は、特定の地質条件をもつ少数の地域に限られている。地熱エネルギーの利用を促進させるには、探査・開発の強化が必要だ。今後の開発プロジェクトでは、とくに地下に造成する熱交換面（高温岩体技術）の大規模化や、バイナリーサイクル（ORC）方式を用いた発電技術の最適化などが最大限に追求されなければならない。

地熱発電コストの大部分は地下深部の掘削費であることから、石油部門のデータが使えるだろう。同部門で観測された学習率は0.8を下回る。世界の地熱発電設備容量の伸びを、2020年までは年平均9%、2030年以降は4%と想定すると、発電コストの低下ポテンシャルは2050年までに50%となる。したがって、現在の発電単価はキロワット時あたり約20セントと高いものの、熱供給の収益にもよるが、長期的にはキロワット時あたり6~10セントあたりまで下がると見込まれる。地熱エネルギーはその供給が安定していることから、自然エネルギーに根ざしたエネルギー供給システム構築の鍵となる要素とみなされている。

7. 水力

水力は古くから経済的な発電方法として利用されてきた。その技術は成熟しており、さらなる発展の可能性は主に既存の発電システムの最新化や大型化となる。コスト低減のポテンシャルはわずかながらあるものの、新規立地と環境対策がますます困難になっているため、おそらくそれらで相殺されるだろう。小規模発電システムの発電コストは、一般に大規模システムより割高であり、生態系保全に必要となるコストも相対的に割高になるだろう。

まとめ： 自然エネルギーコストの見通し

図12に、各自然エネルギー技術の学習曲線から得たコストの趨勢をまとめて示す。ここで見込まれているコスト低減は、基本的に時間経過ではなく、累積設備容量によるものである。したがって、ダイナミックな市場発展が求められている点を強調しておこう。ほとんどの技術においてそれぞれに固有の投資コストは、2020年までに現在のレベルの30~60%に、市場が成熟したなら（2040年以降）、同20~50%に低下させることが可能だろう。

図12に示されているように、自然エネルギー技術の投資コストの低減は、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ものと見込まれる。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。

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.; SCHEURLEN, K. (2004): OKOLOGISCH OPTIMIERTER AUSBAU DER NUTZUNG ERNEUERBARER ENERGIEN IN DEUTSCHLAND. IN: BUNDESMINISTERIUM FUR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (ED.): UMWELTPOLITIK, KOLLEN DRUCK. OKO-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): UBER KIOTO HINAUS DENKEN - KLIMASCHUTZSTRATEGIEN FUR DAS 21. JAHRHUNDERT. SONDERGUTACHTEN DES WISSENSCHAFTLICHEN BEIRATS DER BUNDESREGIERUNG FUR GLOBALE UMWELTVERANDERUNG, BERLIN, 2003. [HTTP://WWW.WBGU.DE/WBGU_SN2003.HTML](http://www.wbgu.de/wbgu_sn2003.html)



図11 投資コストの見通し

各自然エネルギーの現在の投資コストを基点とし、学習曲線を使って推定

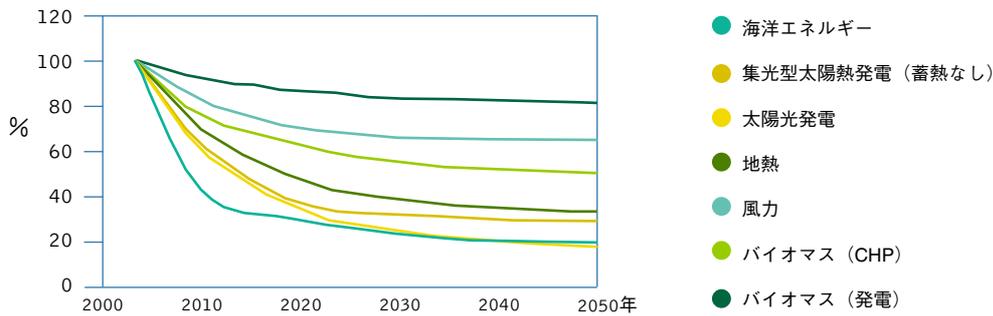
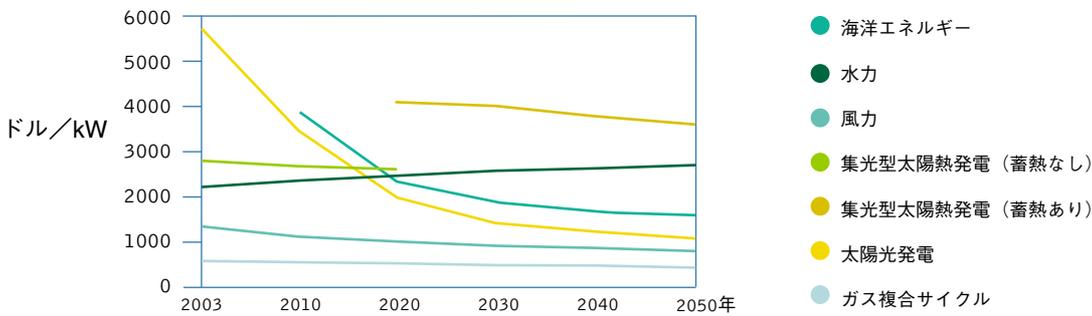
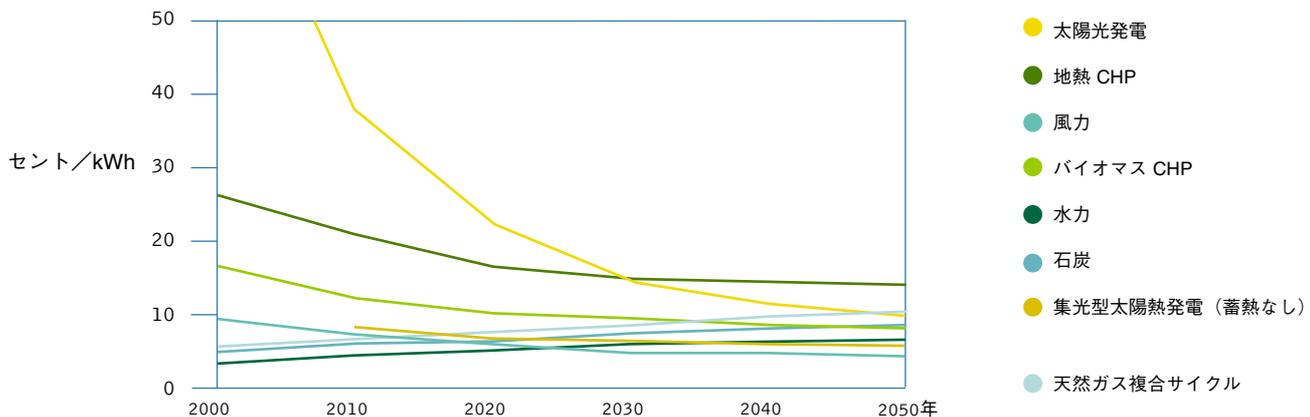


図12 自然エネルギー発電技術 (抜粋) の投資コスト見通し



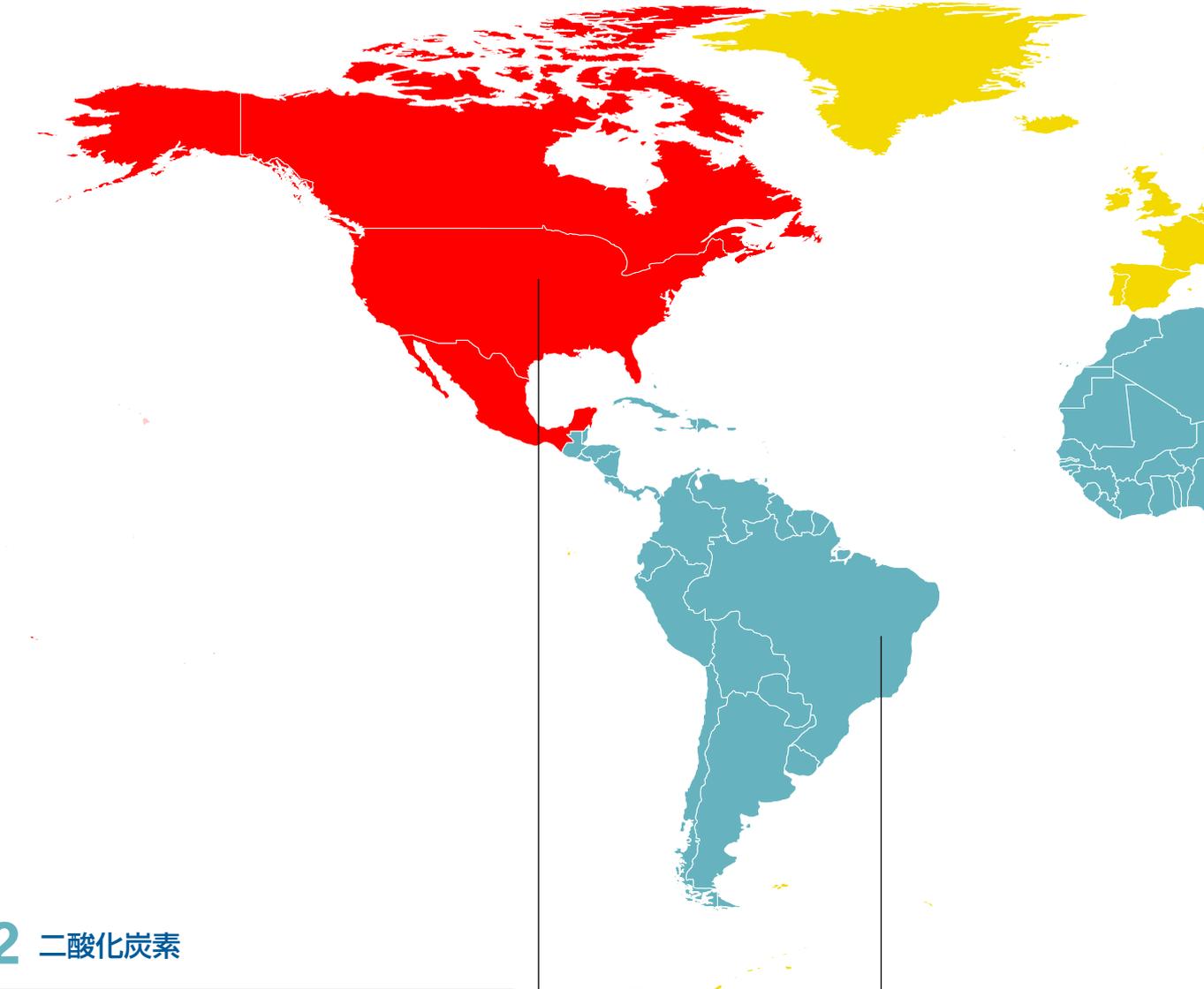
参照：OECDヨーロッパ地域の数値。ただし集光型太陽熱発電 (蓄熱なし) の数値は中東 (発電コストは各地域固有の燃料費やコジェネレーションの熱利用への補助金によって変わる)。

図13 自然エネルギーと化石燃料の発電コスト見通し



参照：OECD欧州地域の数値。ただし集光型太陽熱発電 (蓄熱なし) の数値は中東 (発電コストは各地域固有の燃料費やコジェネレーションの熱利用への補助金によって変わる)。

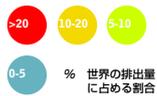
地図1 レファレンス・シナリオとエネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける二酸化炭素排出量
世界シナリオ



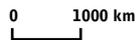
排出量

CO₂ 二酸化炭素

凡例



REF レファレンス・シナリオ
ALT 代替シナリオ



CO₂ 総排出量
100万トン [mio t] | % 2003年レベルからの増減比 | % 1990年レベルからの増減比

一人あたり排出量 トン [t]

H 最高 | M 中間 | L 最低

OECD北米

	REF		ALT	
	mio t	%	mio t	%
CO ₂ 2003	6,646 ^H		6,646 ^H	
CO ₂ 2050	9,297 ^H	+40	1,787	-73L/-68
一人あたり 2003	16 ^H		16 ^H	
一人あたり 2050	16 ^H		3	

中南米

	REF		ALT	
	mio t	%	mio t	%
CO ₂ 2003	802		802	
CO ₂ 2050	3,200	+300	442 ^L	-45M/-34
一人あたり 2003	2		2	
一人あたり 2050	5		1	

OECD欧州

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	3,886		3,886	
	2050	5,210	34%	1,160M	-70/-71
Population	2003	7		7	
	2050	10		2M	

中東

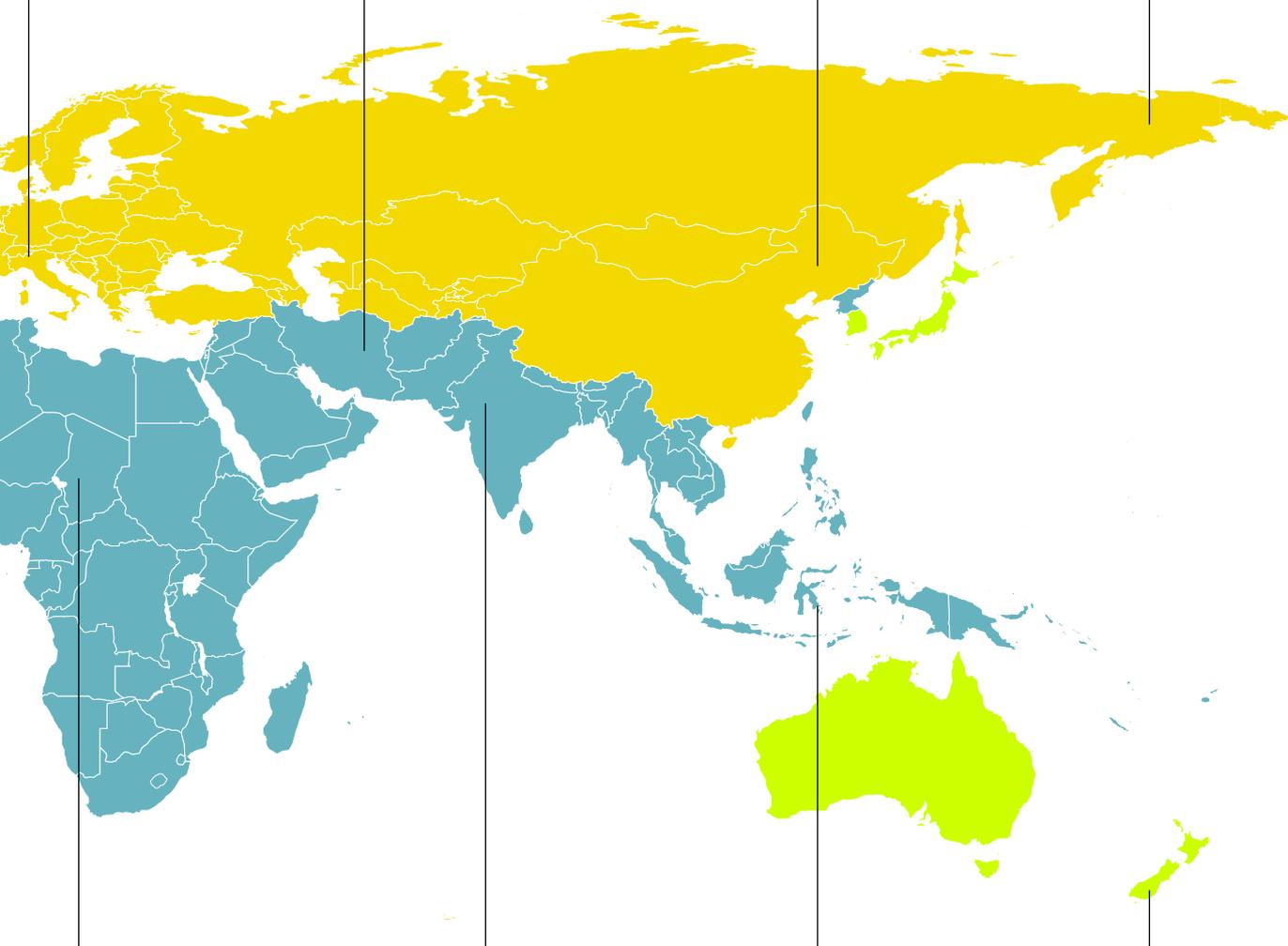
CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	1,004		1,004	
	2050	2,116L	+111	493	-51/-22
Population	2003	6M		6M	
	2050	6M		1	

中国

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	3,313		3,313	
	2050	8,547	+158	3,284H	-1/+30
Population	2003	3		3	
	2050	6M		2M	

市場経済移行国

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	2,685M		2,685M	
	2050	3,655	+36	745	-72/-81
Population	2003	8		8	
	2050	13		3	



アフリカ

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	727L		727L	
	2050	3,440	+373H	1,075	+48H/+21
Population	2003	1L		1L	
	2050	2L		1	

南アジア

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	1,126		1,126	
	2050	4,039M	+259	1,077	-4/+47
Population	2003	1L		1L	
	2050	2L		0.5L	

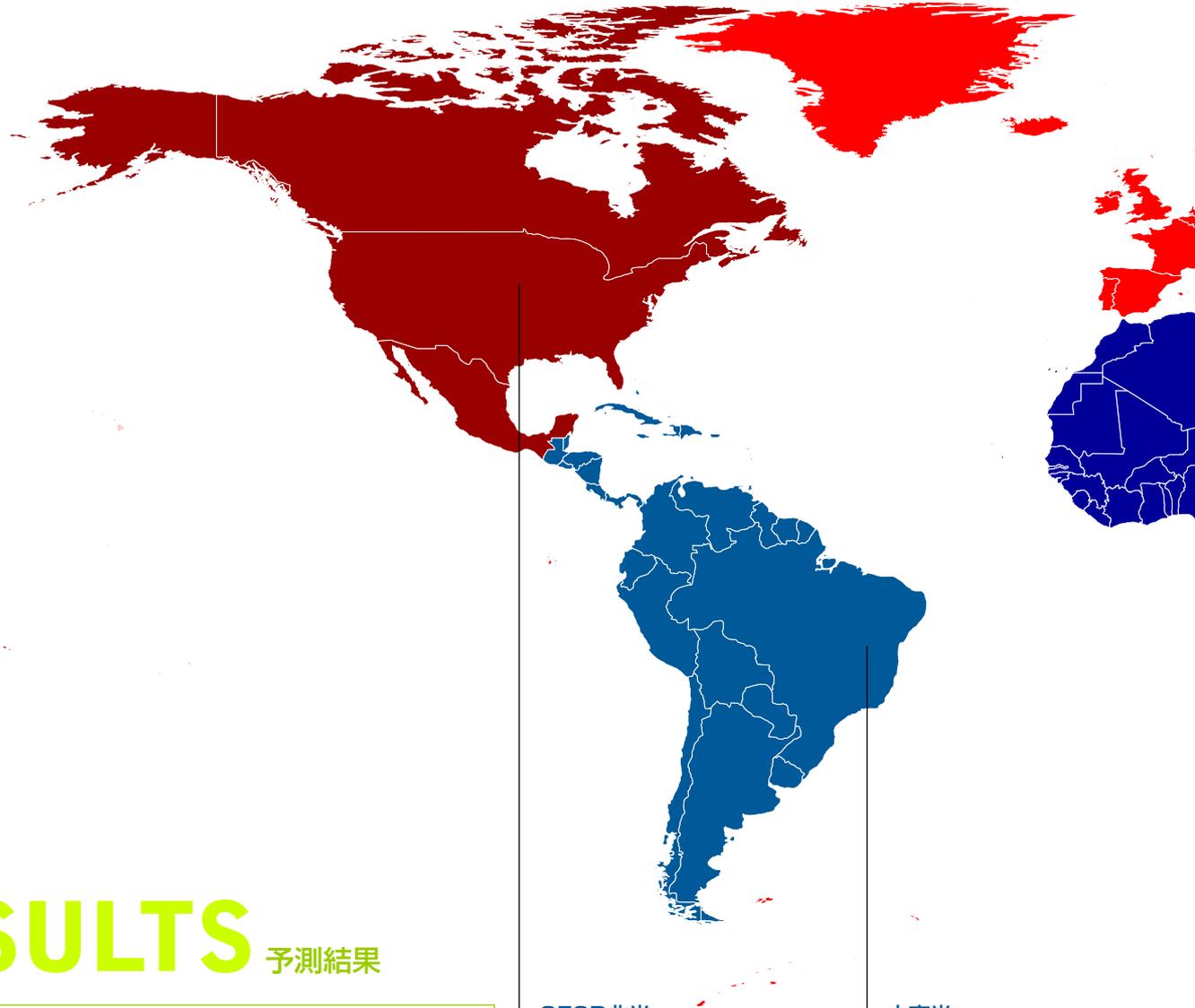
東アジア

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	1,063		1,063	
	2050	3,726	+250	831	-22/+22
Population	2003	2		2	
	2050	4		1	

OECD太平洋

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	1,871		1,871	
	2050	2,259	+21	700	-63/-29
Population	2003	9		9	
	2050	12		4H	

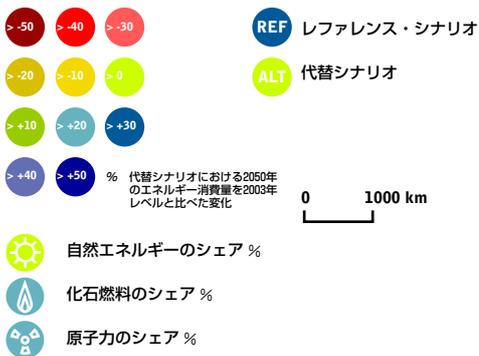
地図2 レファレンス・シナリオおよびエネルギー[r]eポリューション・シナリオの予測結果
世界シナリオ



シナリオ

RESULTS 予測結果

凡例



H 最高 | M 中間 | L 最低
PE 一次エネルギー生産/需要、単位 [PJ]
EL 電力生産/発電、単位 [TWh]

OECD北米

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003	113,980H	4,857H	113,980H	4,857H
2050	161,936H	8,960H	69,874	4,605
%	%	%	%	
☀️ 2003	6	15	6	15
☀️ 2050	8	16M	52M	80
%	%	%	%	
🔥 2003	86	67M	86	67M
🔥 2050	86	75	48	20
%	%	%	%	
☢️ 2003	8	18M	原子力は2030年までに段階的廃止	
☢️ 2050	6	9		

中南米

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003	19,393	830	19,393	830
2050	62,854	3,982	30,220	2,308
%	%	%	%	
☀️ 2003	28	71H	28	71H
☀️ 2050	15	33H	70H	90H
%	%	%	%	
🔥 2003	71	27L	71	27L
🔥 2050	84M	66	30L	10L
%	%	%	%	
☢️ 2003	1	3	原子力は2030年までに段階的廃止	
☢️ 2050	1	1		

OECD欧州

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003	76,319	3,323	76,319	3,323
2050	93,356	4,988	50,999	3,141
	%		%	
☀️ 2003	7	18M	7	18%M
☀️ 2050	12	28	48	80%
	%		%	
💧 2003	79	53	79	53
💧 2050	84M	64	52M	20
	%		%	
🌱 2003	14H	30H	原子力は2030年までに段階的廃止	
🌱 2050	4M	8		

中東

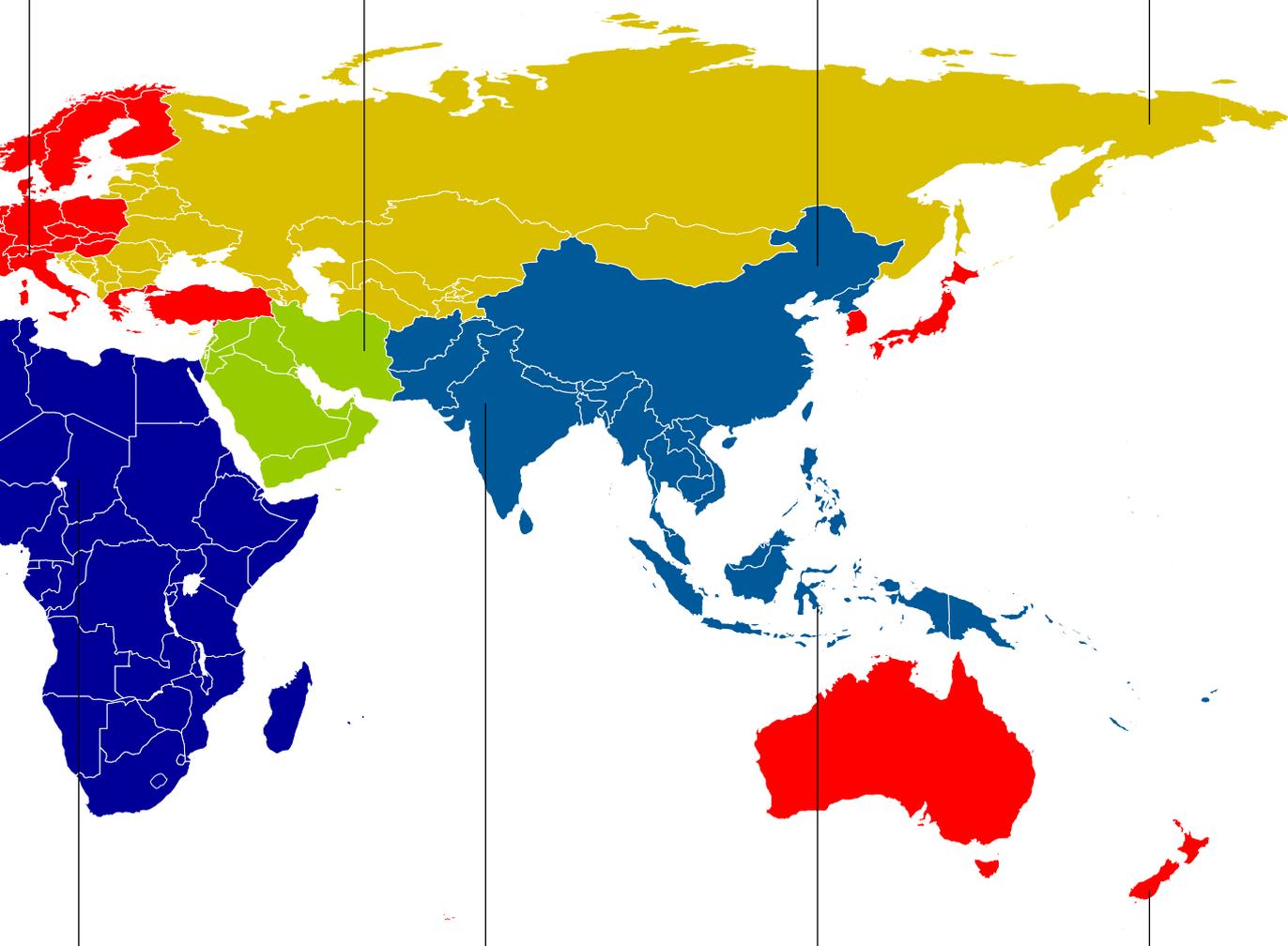
	REF		ALT	
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003	17,569L	554	17,569L	554
2050	39,205L	1,941L	20,171L	1,671
	%		%	
☀️ 2003	1L	3L	1L	3L
☀️ 2050	1L	4L	53	84
	%		%	
💧 2003	99H	97H	99H	97H
💧 2050	98H	96H	47	16
	%		%	
🌱 2003	0L	0L	原子力は2030年までに段階的廃止	
🌱 2050	0L	0L		

中国

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003	55,379	1,943	55,379	1,943
2050	127,688	9,045	76,066H	7,556H
	%		%	
☀️ 2003	19M	15	19M	15
☀️ 2050	12M	16M	34L	53L
	%		%	
💧 2003	80M	82	80M	82
💧 2050	85	80	66H	47H
	%		%	
🌱 2003	1	2	原子力は2030年までに段階的廃止	
🌱 2050	3	4		

市場経済移行国

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003	45,472M	1,574	45,472M	1,574
2050	67,537	3,287	37,469M	2,413
	%		%	
☀️ 2003	4	18M	4	18M
☀️ 2050	7M	14	58	79
	%		%	
💧 2003	90	64	90	64
💧 2050	90	79M	42	21
	%		%	
🌱 2003	7	18M	原子力は2030年までに段階的廃止	
🌱 2050	3	6M		



アフリカ

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003	22,292	502L	22,292	502L
2050	74,255M	3,852	43,869	2,698
	%		%	
☀️ 2003	47H	17	47H	17
☀️ 2050	29H	5	58	56
	%		%	
💧 2003	53L	80	53L	80
💧 2050	71L	94	42	44
	%		%	
🌱 2003	1	3	原子力は2030年までに段階的廃止	
🌱 2050	0L	0L		

南アジア

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003	26,921	744	26,921	744
2050	71,709	4,551M	37,220	2,790M
	%		%	
☀️ 2003	41	15	41	15
☀️ 2050	20	9	50M	59
	%		%	
💧 2003	58	82	58	82
💧 2050	77	87	50	41%
	%		%	
🌱 2003	1	3	原子力は2030年までに段階的廃止	
🌱 2050	3	4		

東アジア

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003	22,348	686	22,348	686
2050	59,955	3,232	32,400	2,133L
	%		%	
☀️ 2003	23	14	23	14
☀️ 2050	10	13	51M	81
	%		%	
💧 2003	75	80	75	80
💧 2050	88	85	49	19
	%		%	
🌱 2003	2	6	原子力は2030年までに段階的廃止	
🌱 2050	1	2		

OECD太平洋

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003	35,076	1,649M	35,076	1,649M
2050	46,716	2,661	23,616	1,619
	%		%	
☀️ 2003	3	10	3	10
☀️ 2050	7	17	37	70M
	%		%	
💧 2003	85	67M	85	67
💧 2050	79	60L	63	30M
	%		%	
🌱 2003	11	22	原子力は2030年までに段階的廃止	
🌱 2050	14H	23H		

エネルギー[r]eボリューション・シナリオ

「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」



送電線



世界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

人口の見通しは、国際エネルギー機関（IEA）のレファレンス・シナリオと同様、国連の人口予測を用いている。それによると、世界人口は現在の63億人から2050年には89億人に増えるだろう。増え続ける人口によりエネルギー資源と環境への負荷はさらに大きくなるだろう。

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・シナリオでは、エネルギー原単位が年率1.3%で減少すると想定している。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45%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70%減少するだろう。

世界のエネルギー需要

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17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31万ペタジュールから2050年には年55万ペタジュールへとほぼ倍増する。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、2050年までに見込まれるエネルギー消費量の増加は現在比の14%と大幅に小さく、総需要量は年35万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が小さくてすむし、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を一部補うことができる。

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18参照）。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2万6000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1万3000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（動力や機械を使わない太陽光・熱利用）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15 世界人口の見通し

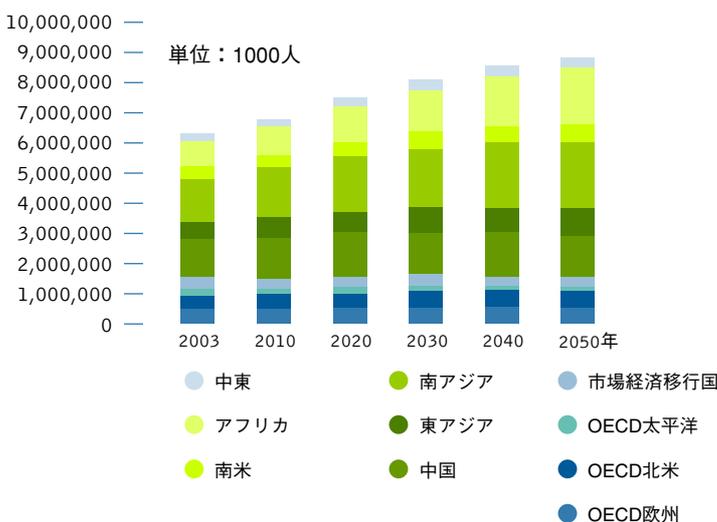
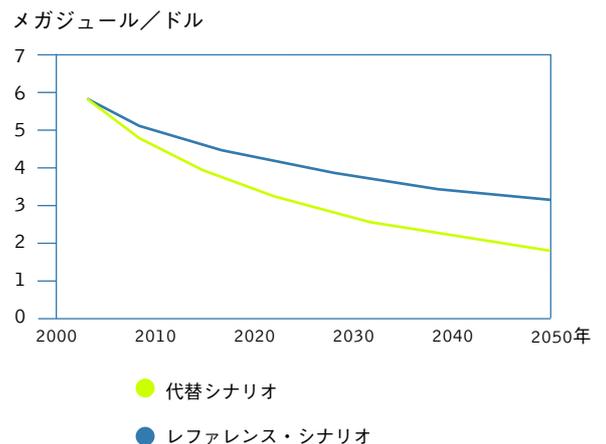


図16 レファレンス・シナリオとエネルギー[r]eポリューション・シナリオにおけるエネルギー原単位の見通し



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19参照）。レファレンス・シナリオに比べると、2050年までに年9万4000ペタジュール相当の熱を生産せずにすむ。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、快適さとエネルギー・サービスを引き続き享受で

きるだろう。

運輸部門については、現在のところ詳しい分析がなされていないが、エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、同部門のエネルギー需要は2050年までに25%伸び、年10万600ペタジュールになると想定している。これはレファレンス・シナリオに比べて80%低い。この低減は高効率車両の導入や、道路物流から鉄道物流へのシフト、そして移動行動パターンを変えることにより達成できるだろう。

図17 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・シナリオにおける部門別最終エネルギー需要の見通し

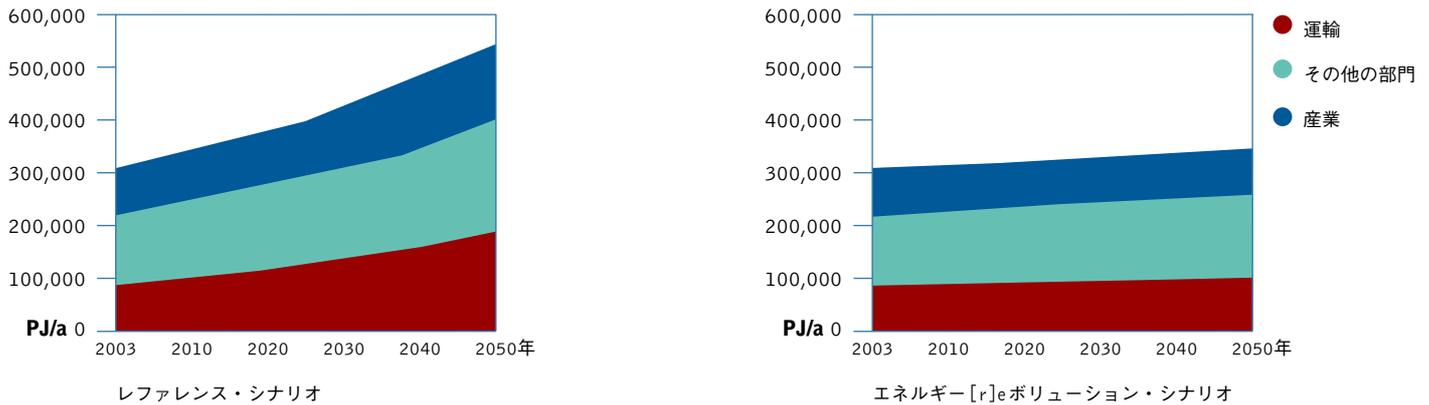


図18 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける部門別電力需要の見通し

(「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)

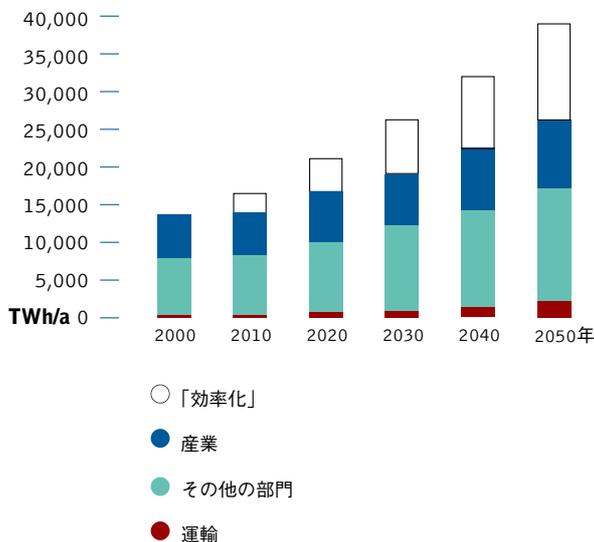
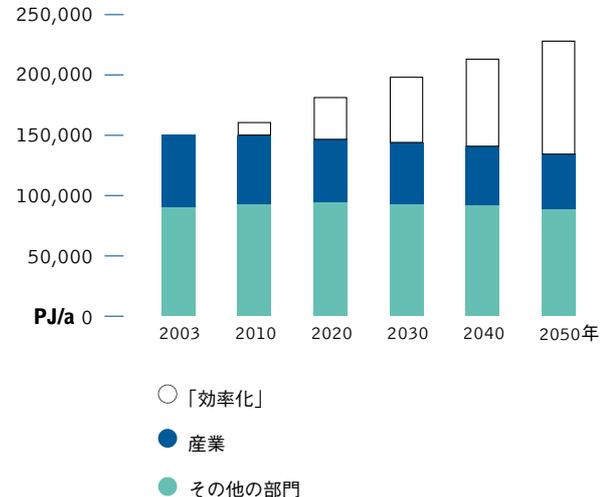


図19 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける熱供給需要の見通し

(「効率化」=レファレンス・シナリオと比べた低減分)



ミクロネシアのパラオ・トビ島に設置された太陽光発電パネル。同島で使用される電力のすべてを供給している。



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の段階的廃止が進み、送電網を安定させるのに必要な火力発電プラントの数が減るだろう。2050年までに世界全体で生産される電力の70%は自然エネルギー由来となるだろう。主として風力、太陽熱エネルギー、太陽光発電といった「新しい」自然エネルギーが、発電量の42%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、原子力が段階的に廃止されても、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、風力発電とバイオマス発電の設備容量が増大するので、当面はそれらによってまかなわれるだろう。長期的には、風力はもっとも重要な電源となるだろう。
- 太陽エネルギー、水力、バイオマスは、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水力と太陽熱は、効率のよい蓄熱技術と組み合わせることで、電源ミックスの重要な構成要素となる。

- 自然エネルギー技術の設備容量は、現在の800ギガワットから2050年には7100ギガワットに増えるだろう。しかし今後40年ほどのあいだに9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。今後20年のうちに、新規の設備投資需要は大幅に増大するだろう。電力部門の投資サイクルは長期にわたる。世界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22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。2020年までは、水力と風力が市場成長の主要部分を担い続けるだろう。風力は2020年以降も伸び続け、残りの部分を、バイオマス、太陽光、集光型太陽熱といった他の自然エネルギー発電が占めるだろう。

図20 レファレンス・シナリオにおける発電の見通し

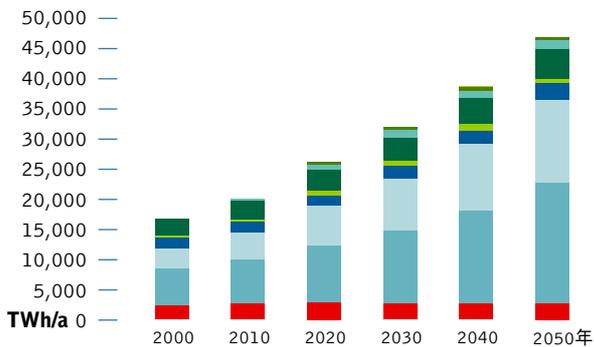
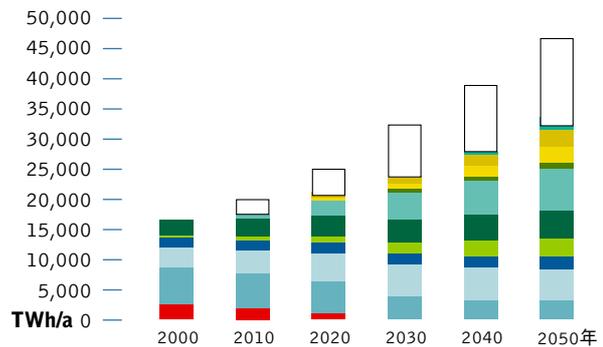


図21 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける発電の見通し

(「効率化」=レファレンス・シナリオと比べた低減分)



- 「効率化」
- 地熱
- CHP 化石燃料
- 海洋エネルギー
- 風力
- ガスと石油
- 集光型太陽熱
- 水力
- 石炭
- 太陽電池
- バイオマス
- 原子力

図22 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける自然エネルギー源別電力供給の伸び

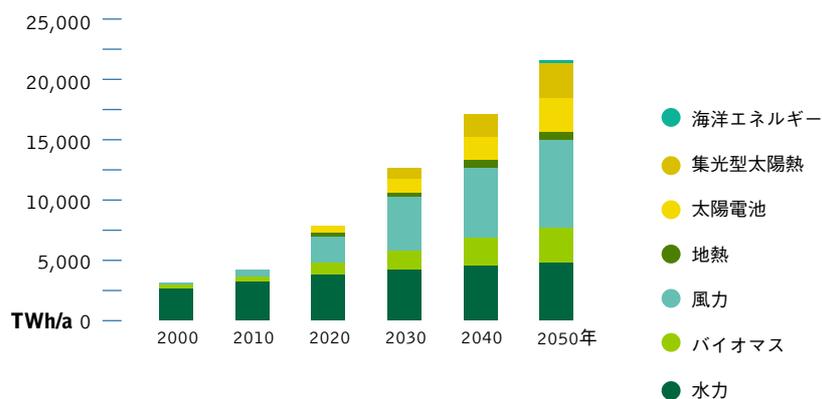


表7 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける自然エネルギー発電設備容量の見通し

単位：メガワット

	2003	2010	2020	2030	2050年
水力	728,000	854,800	994,190	1,091,490	1,257,300
バイオマス	48,030	110,000	211,310	305,780	504,610
風力	30,280	156,150	949,800	1,834,290	2,731,330
地熱	10,170	20,820	40,780	70,380	140,010
太陽電池	560	22,690	198,900	727,820	2,033,370
集光型太陽熱	250	2,410	29,190	137,760	404,820
海洋エネルギー	240	2,250	13,530	28,090	63,420
合計	817,000	1,169,120	2,437,700	4,195,610	7,134,860



熱供給

熱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、自然エネルギーは熱供給部門における一次エネルギー需要の26%を担っており、その中心はバイオマス利用だ。地熱と太陽熱エネルギーの利用は、地域熱供給網の未整備が大きな障壁となっており、小規模にとどまっている。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現在の熱需要は35%低減できる。
- 熱の直接利用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。
- その他の従来型の熱利用施設では、石炭・石油から天然ガスへの移行が進み、二酸化炭素排出が低減するだろう。

図23 レファレンス・シナリオにおける熱供給の見通し

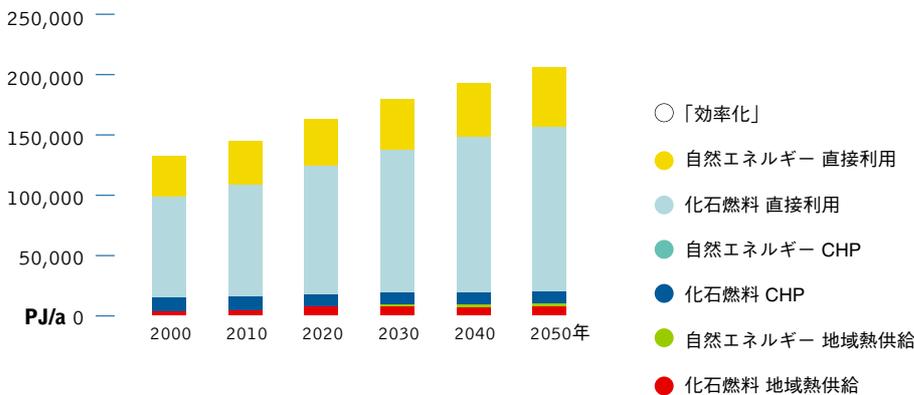
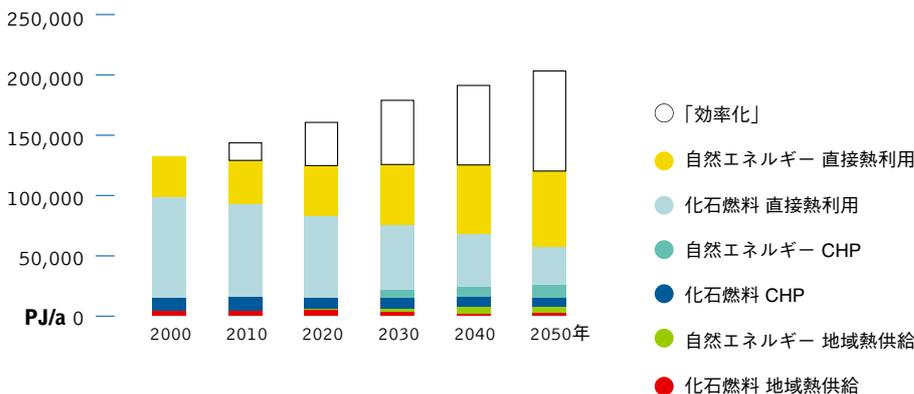


図24 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける熱供給の見通し

(「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26に示す。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、2050年の総エネルギー需要は、レフェレンス・シナリオに比べてほぼ半減するだろう。残りの半分は、自然エネルギー源によって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、一次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、実際にはもっと大きいことに留意されたい。

二酸化炭素排出量の見通し

レファレンス・シナリオでは、世界の二酸化炭素排出量はほぼ倍増するが、エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、2003年の230億トンから50年には115億トンに減少するだろう。一人あたりの排出量は年4.0トンから1.3トンに低下するだろう。長期的には輸送部門において効率化とバイオ燃料利用が進むので、二酸化炭素の排出量はさらに削減されるだろう。二酸化炭素の総排出量に占める発電部門のシェアは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。

図25 レファレンス・シナリオにおける一次エネルギー消費の見通し

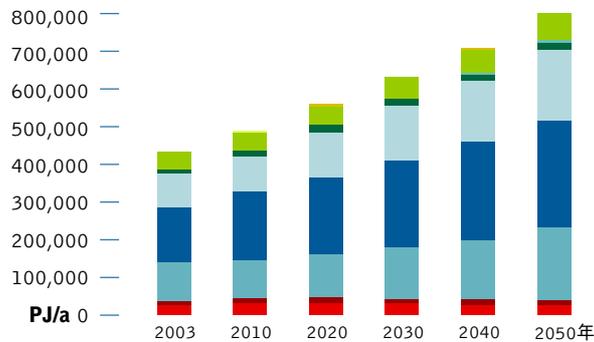


図26 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける一次エネルギー消費の見通し

(「効率化」=レファレンス・シナリオと比べた低減分)

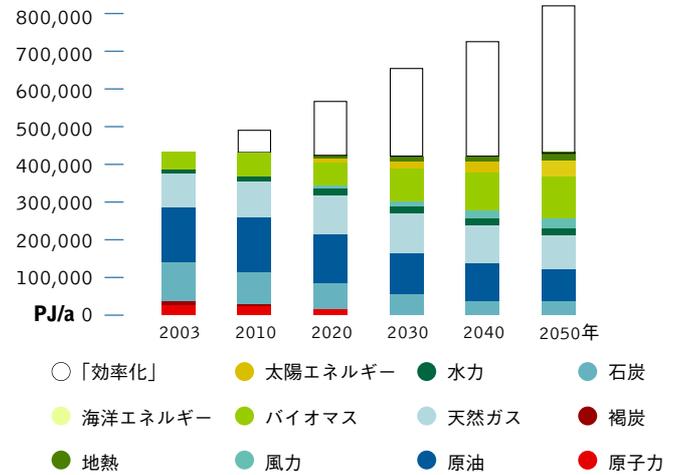
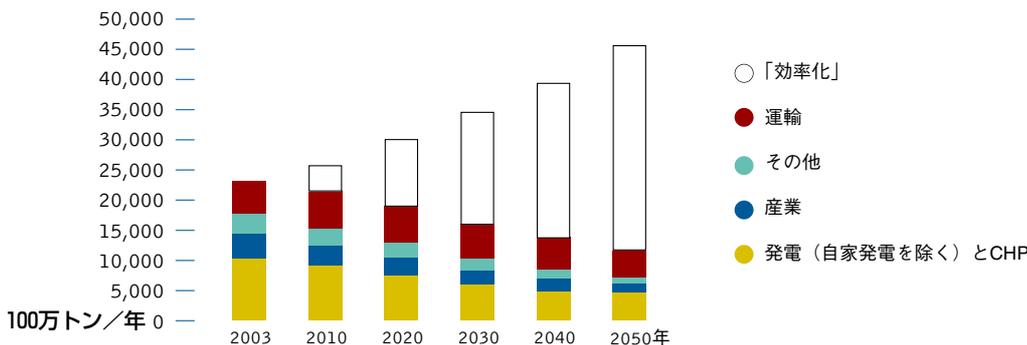


図27 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける二酸化炭素排出量の見通し

(「効率化」=レファレンス・シナリオと比べた低減分)





発電コストの見通し

図28に、エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける発電コストの見通しを示す。自然エネルギーの導入により、発電コストはレファレンス・シナリオに比べてわずかに高くなり、その差は2020年までキロワット時あたり0.1セント以下だろう。化石燃料価格の上昇が表3の見通しを上回れば、両シナリオにおける差は縮まるだろう。発電における二酸化炭素強度（単位GDPあたりの排出量）の低下により、エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける発電コストは、2020年までにレファレンス・シナリオより経済的に有利となり、2050年までにはキロワット時あたり1.5セント以上も下回るだろう。

電力需要が増えれば、社会がその供給のために支払う経費が大幅に

増えることになる。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上昇するため、供給コストは現在の年1兆1300億ドルから、2050年には4兆3000億ドル以上に跳ね上がるだろう。図29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における目標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、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ことは論を待たない。

図28 両シナリオにおける発電コストの見通し

(二酸化炭素排出コストは2010年から先進地域に、2020年からは全地域に課されるものとし、二酸化炭素1トンあたりの排出コストは2010年の15ドルから2050年には50ドルになると想定される)

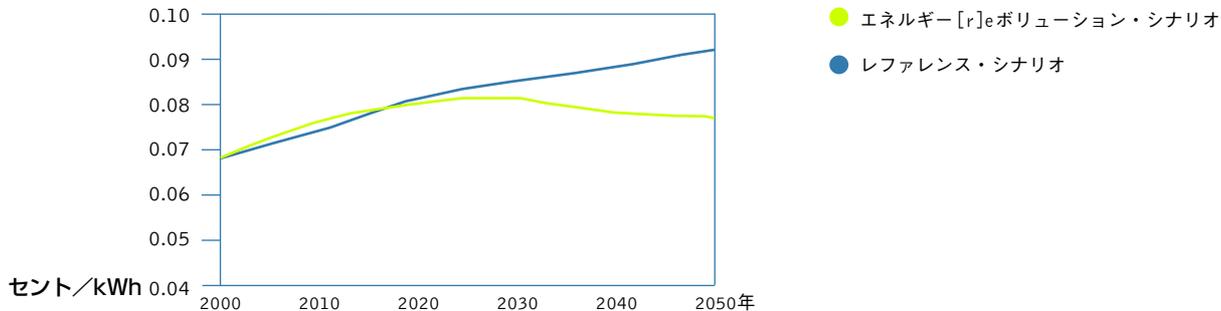


図29 総電力供給コストの見通し

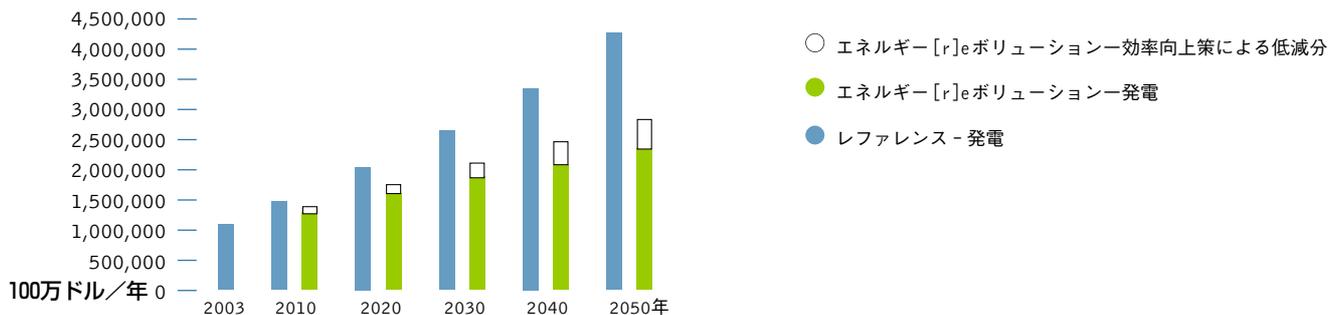
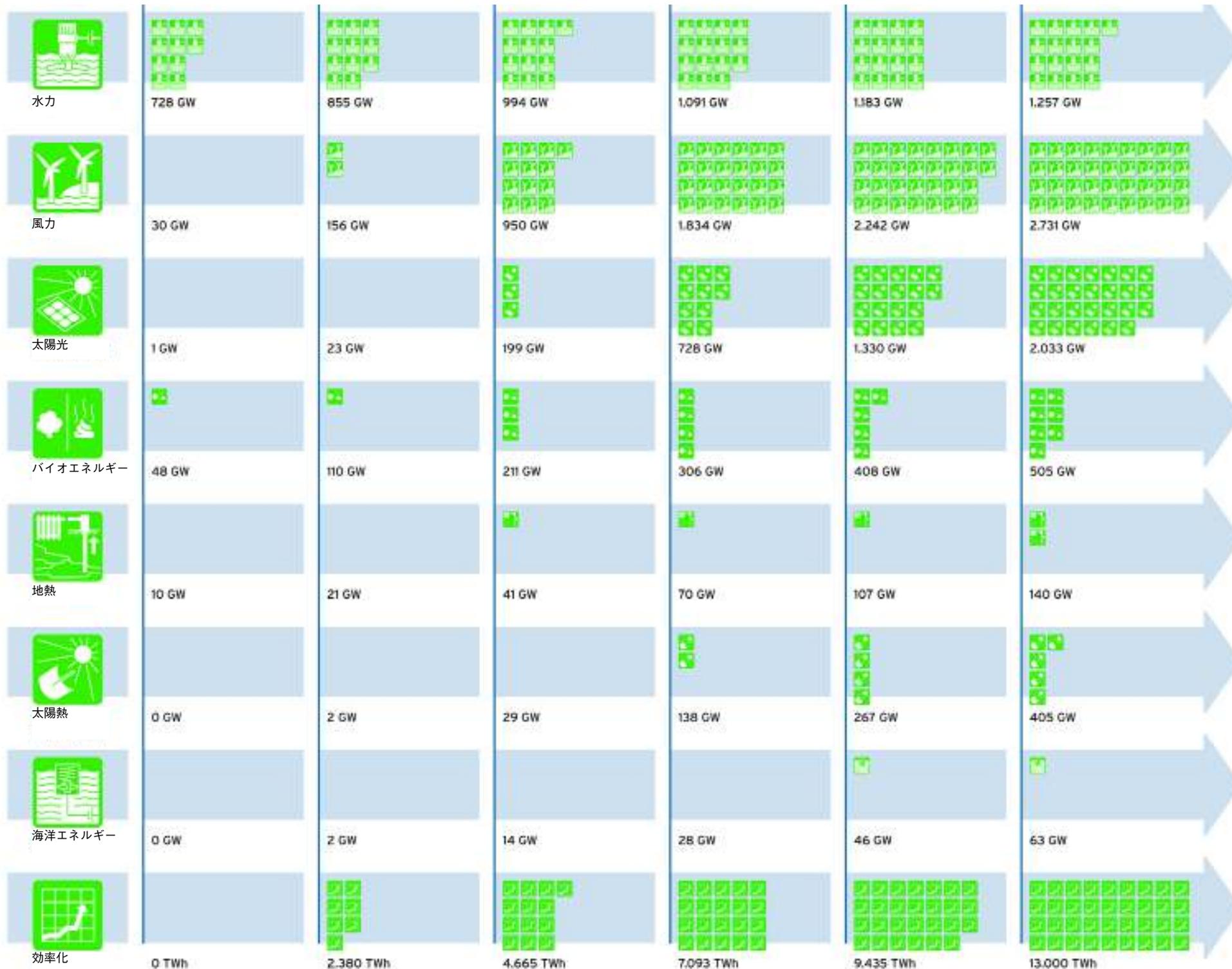


表1 エネルギー[r]eポリューション

持続可能な世界エネルギー・アウトルック





注：データは千を単位に丸めてある

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

油井やぐら。アゼルバイジャンのピビ・エイバット近くの油田。



今日、エネルギー政策における最重要課題は供給保障である。関心の焦点は価格、そして物理的な供給確保にある。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。石油や天然ガスの資源分布も、需要がある場所とは一致しない。ほぼ全面的に輸入化石燃料に頼らなければならない国々もある。燃料種別ごとの入手可能性とその地域分布の概要を地図3～9に示す。データの一部は“Plugging the Gap” (Renewable Energy Systems/Global Wind Energy Council, 2006) による。

石油

石油は1970年代の供給混乱による影響からもわかるように、現代世界経済の血液である。石油は最大のエネルギー源であり、世界のエネルギー需要の36%を担う。用途のうち、経済にとって必要不可欠な分野、たとえば運輸では、その燃料のほぼすべてが石油だ。しかし、拡大する消費に供給能力が応じ続けられるかをめぐっては、白熱した論争が展開されてきた。近年の原油価格の高騰は、これに拍車をかけているが、確かなデータに乏しいことから、あいまいな議論となっている。

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。資源量を表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いとしても、不可解な数字はその後も訂正されなかったところか、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、そのうち最大のものは「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、ほぼ横這いである。

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¹²⁾。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。

表8 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 5,500
				nc 8,000	nc 8,000	nc 9,400
	資源量	9,400	11,100	c 11,700	c 11,700	c 11,100
			nc 10,800	nc 10,800	nc 23,800	nc ^{a)} 111,900
			796,000	799,700	930,000	
石油	埋蔵量	5,800	5,700	c 5,900	c 6,300	c 6,000
				nc 6,600	nc 8,100	nc 5,100
	資源量	10,200	13,400	c 7,500	c 6,100	c 6,100
			nc 15,500	nc 13,900	nc 15,200	nc 25,200
			61,000	79,500	45,000	
石炭	埋蔵量	23,600	22,500	42,000	25,400	20,700
	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。

参照

12) "PLUGGING THE GAP - A SURVEY OF WORLD FUEL RESOURCES AND THEIR IMPACT ON THE DEVELOPMENT OF WIND ENERGY"; GWEC, RES SEPTEMBER 2006

ドイツのRWE社がケルン近郊に新たに設置した褐炭火力発電所。同発電所による二酸化炭素の排出量は年1000万トン以上。



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ぬ。

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たと見込まれる。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。

表9～11 エネルギー[r]eポリューション・シナリオにおける化石燃料利用の見通し

石油	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
レファレンス・シナリオ（ペタジュール）	147,425	176,791	206,365	231,237	256,069	284,010
レファレンス・シナリオ（100万バレル）	24,089	28,887	33,720	37,784	41,841	46,407
代替シナリオ（ペタジュール）	147,425	144,085	128,606	110,865	98,832	87,135
代替シナリオ（100万バレル）	24,089	23,543	21,014	18,115	16,149	14,238
天然ガス	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
レファレンス・シナリオ（ペタジュール）	93,230	101,344	123,691	145,903	166,033	189,471
レファレンス・シナリオ（10億立方メートル）	2,453	2,667	3,256	3,840	4,369	4,986
代替シナリオ（ペタジュール）	93,230	98,994	103,975	107,023	100,822	93,055
代替シナリオ（10億立方メートル）	2,453	2,605	2,736	2,816	2,653	2,449
石炭	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
レファレンス・シナリオ（ペタジュール）	107,902	112,992	126,272	146,387	170,053	202,794
レファレンス・シナリオ（100万トン）	5,367	5,499	6,006	6,884	7,916	9,356
代替シナリオ（ペタジュール）	107,903	90,125	70,858	51,530	39,717	31,822
代替シナリオ（100万トン）	5,367	4,380	3,325	2,343	1,748	1,382

地図3 石油についてのレファレンス・シナリオとエネルギー[r]eポリューション・シナリオ
世界シナリオ



非再生可能資源

OIL 石油

OECD北米

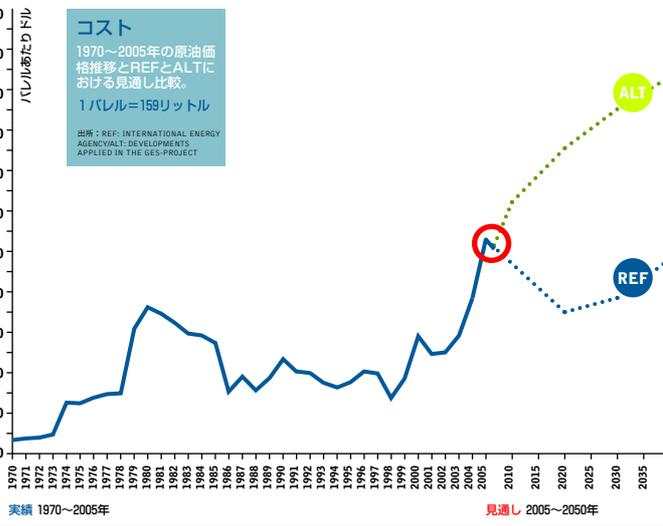
	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	59.5	5.0%	59.5	5.0%
2003	MB	PJ	MB	PJ
	6,849 ^H	41,917	6,849 ^H	41,917
2050	MB	PJ	MB	PJ
	10,863 ^H	66,481	2,940 ^H	17,991
一人あたりの消費量	B			
	2003	16 ^H	16 ^H	
2050	18 ^H	5		

中南米

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	103.5	8.6%	103.5	8.6%
2003	MB	PJ	MB	PJ
	1,464	8,961	1,464	8,961
2050	MB	PJ	MB	PJ
	4,319	26,430	750	4,589
一人あたりの消費量	B			
	2003	3	3	
2050	7	1		

凡例

- 埋蔵量合計 10億バレル [TMB] | % 世界全体に占めるシェア (2005年末現在)
- 地域別消費量 百万バレル [MB] | ペタジュール [PJ]
- 一人あたりの消費量 バレル [B]
- REF レファレンス・シナリオ
- ALT 代替シナリオ
- H 最高 | M 中間 | L 最低



OECDヨーロッパ

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	12.2	1.3%	12.2	1.3%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	4,877	29,848	4,877	29,848
2050	4,960M	30,358	2,238	13,695
	B	B	B	B
2003	9	9	9	9
2050	10	4	4	4

中東

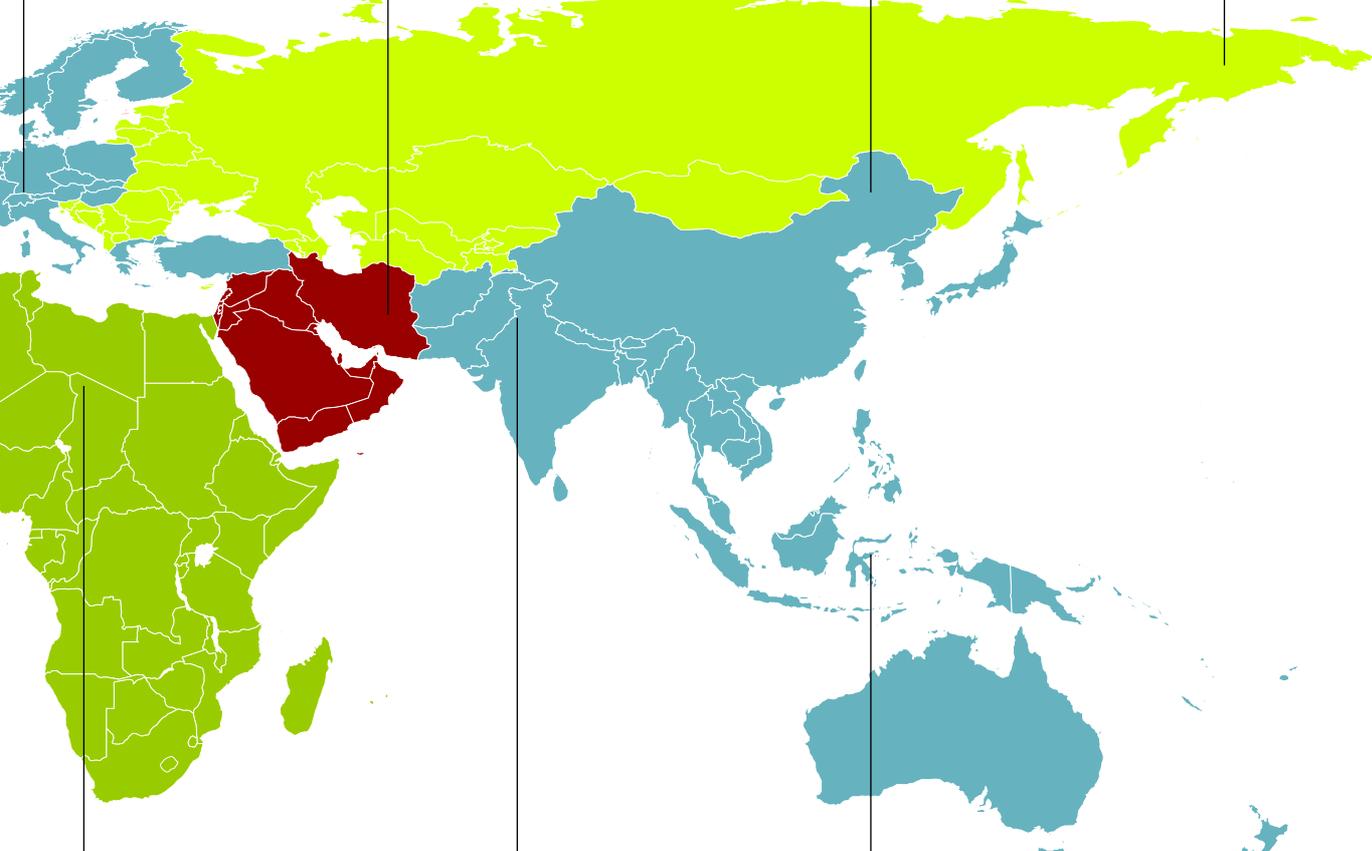
	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	742.7	61.9% ^H	742.7	61.9% ^H
	MB	PJ	MB	PJ
2003	1,598	9,782	1,598	9,782
2050	3,198	19,570	645 ^L	3,949
	B	B	B	B
2003	9	9	9	9
2050	9 ^M	2	2	2

中国

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	16.0	1.3%	16.0	1.3%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	1,742	10,664	1,742	10,664
2050	6,163	37,718	2,366	14,480
	B	B	B	B
2003	1	1	1	1
2050	4	2	2	2

市場経済移行国

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	124.4	10.3% ^M	124.4	10.3% ^M
	MB	PJ	MB	PJ
2003	1,563	9,568	1,563	9,568
2050	3,215	19,678	835	5,110
	B	B	B	B
2003	5 ^M	5 ^M	5 ^M	5 ^M
2050	11	3 ^M	3 ^M	3 ^M



アフリカ

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	114.3	9.5%	114.3	9.5%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	833L	5,099	833L	5,099
2050	3,304	20,220	868	5,312
	B	B	B	B
2003	1	1	1	1
2050	2	0	0	0

南アジア

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	5.9	0.5%	5.9	0.5%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	914	5,597	914	5,597
2050	3,063L	18,747	896	5,481
	B	B	B	B
2003	1L	1L	1L	1L
2050	1L	0L	0L	0L

東アジア

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	13.2	1.0%	13.2	1.0%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	1,411	8,634	1,411	8,634
2050	4,027	24,648	1,404M	8,593
	B	B	B	B
2003	2	2	2	2
2050	5	2	2	2

OECD太平洋

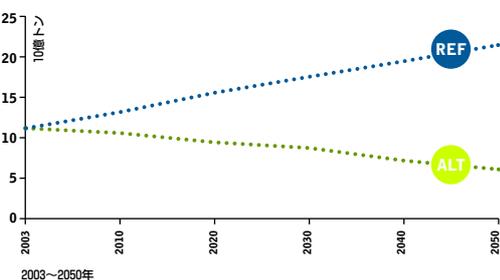
	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	4.0	0.3% ^L	4.0	0.3% ^L
	MB	PJ	MB	PJ
2003	2,836M	17,355	2,836M	17,355
2050	3,294	20,160	1,296	7,934
	B	B	B	B
2003	14	14	14	14
2050	18	7 ^H	7 ^H	7 ^H

CO₂ 排出量

REFとALTにおける見直し比較 (2003~2050年)

単位: 10億トン

出所: GPEREC

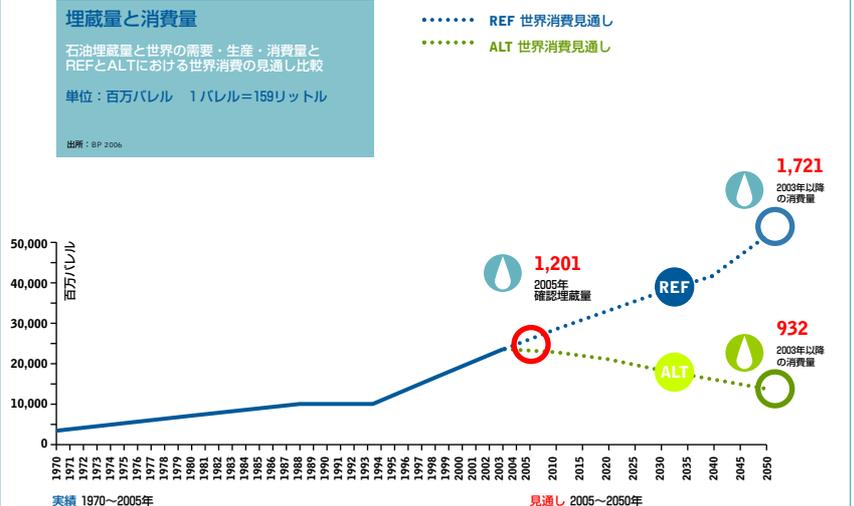


埋蔵量と消費量

石油埋蔵量と世界の需要・生産・消費量とREFとALTにおける世界消費の見直し比較

単位: 百万バレル 1バレル=159リットル

出所: BP 2006



地図4 天然ガスについてのレファレンス・シナリオとエネルギー[r]eポリューション・シナリオ
世界シナリオ



非再生可能資源

GAS 天然ガス

OECD北米

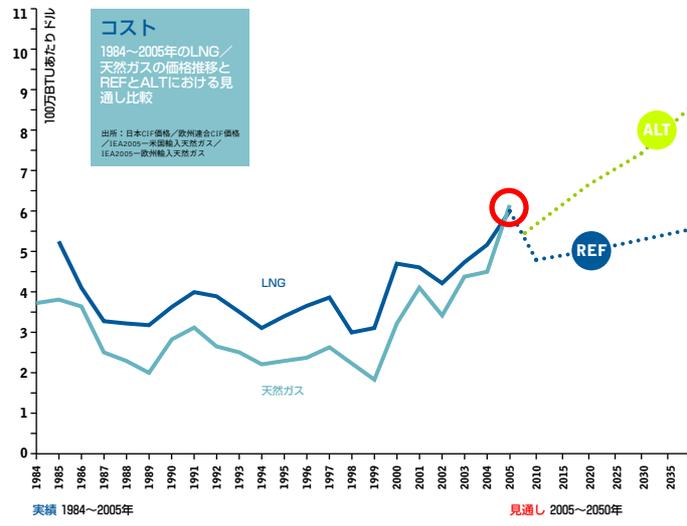
	REF		ALT	
	tn m ³	%	tn m ³	%
2005	7.5	4.1%	7.5	4.1%
2003	752 ^H	28.568	752 ^H	28.568
2050	1,035 ^H	39.312	352 ^H	13.368
2003	1770 ^H		1770 ^H	
2050	1770		600 ^H	

中南米

	REF		ALT	
	tn m ³	%	tn m ³	%
2005	7.0	3.9%	7.0	3.9%
2003	103	3.916	103	3.916
2050	570	21.666	104	3.940
2003	230		230	
2050	900		170	

凡例

- >50 ● 40-50 ● 30-40
- 20-30 ● 10-20 ● 5-10
- 0-5 % 世界資源に占めるシェア
- REF レファレンス・シナリオ
- ALT 代替シナリオ
- 0 1000 km
- 埋蔵量合計 兆立方メートル [tn m³] | % 世界全体に占めるシェア (2005年未現在)
- 地域別消費量 10億立方メートル [bn m³] | ペタジュール [PJ]
- 一人あたりの消費量 立法メートル [m³]
- H 最高 | M 中間 | L 最低



OECDヨーロッパ

	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	4.9	2.7%	4.9	2.7%
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	457	17.354	457	17.354
2050	583	22.139	285	10.935
	m³	m³	m³	m³
2003	870	870		
2050	1140	560M		

中東

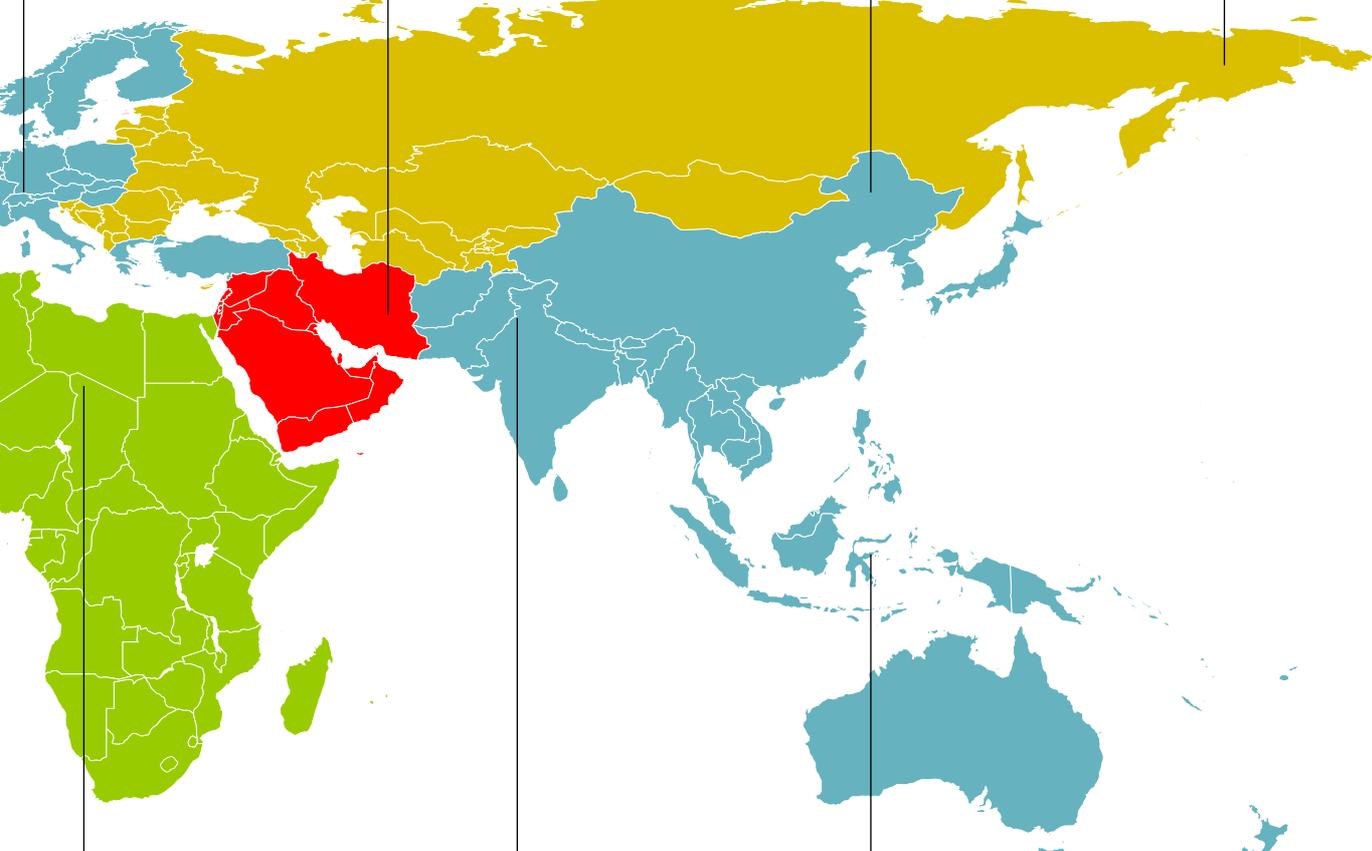
	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	72.1	40.1% ^H	72.1	40.1% ^H
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	191M	7.262	191M	7.262
2050	478M	18.154	142	5.401
	m³	m³	m³	m³
2003	1050	1050		
2050	1350	400		

中国

	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	2.4	1.3%	2.4	1.3%
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	35L	1.327	35L	1.327
2050	200L	7.604	551	20,932
	m³	m³	m³	m³
2003	30L	30L		
2050	140L	390		

市場経済移行国

	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	59.1	32.9%	59.1	32.9%
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	559	21.260	559	21.260
2050	897	34.074	266	10.122
	m³	m³	m³	m³
2003	1620	1620		
2050	3160 ^H	940		



アフリカ

	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	14.4	8.0% ^M	14.4	8.0% ^M
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	65	2.472	65	2.472
2050	420	15.952	210	7.978
	m³	m³	m³	m³
2003	80	80		
2050	230	110		

南アジア

	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	1.1	0.6% ^L	1.1	0.6% ^L
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	59	2.255	59	2.255
2050	324	12.314	256	9.737
	m³	m³	m³	m³
2003	40	40		
2050	150	120 ^L		

東アジア

	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	8.5	4.7%	8.5	4.7%
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	112	4.241	112	4.241
2050	274	10.395	163M	6.195
	m³	m³	m³	m³
2003	180	180		
2050	310	180		

OECD太平洋

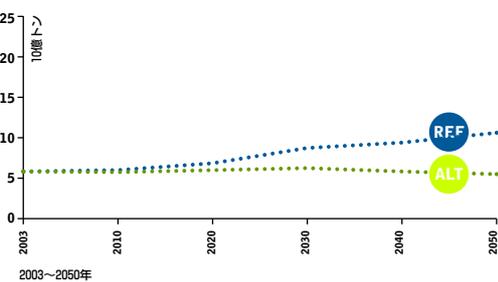
	REF		ALT	
	tn m³	%	tn m³	%
2005	2.5	1.4%	2.5	1.4%
	bn m³	PJ	bn m³	PJ
2003	120	4.575	120	4.575
2050	207	7.862	117L	4.446
	m³	m³	m³	m³
2003	610M	610M		
2050	1130M	640		

CO₂ 排出量

REFとALTにおける見直し比較 (2003~2050年)

単位: 10億トン

出所: GPUREC

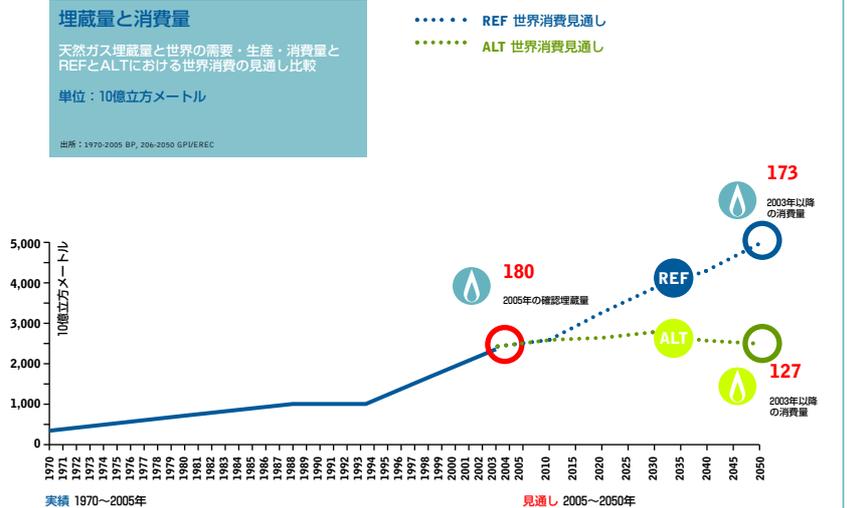


埋蔵量と消費量

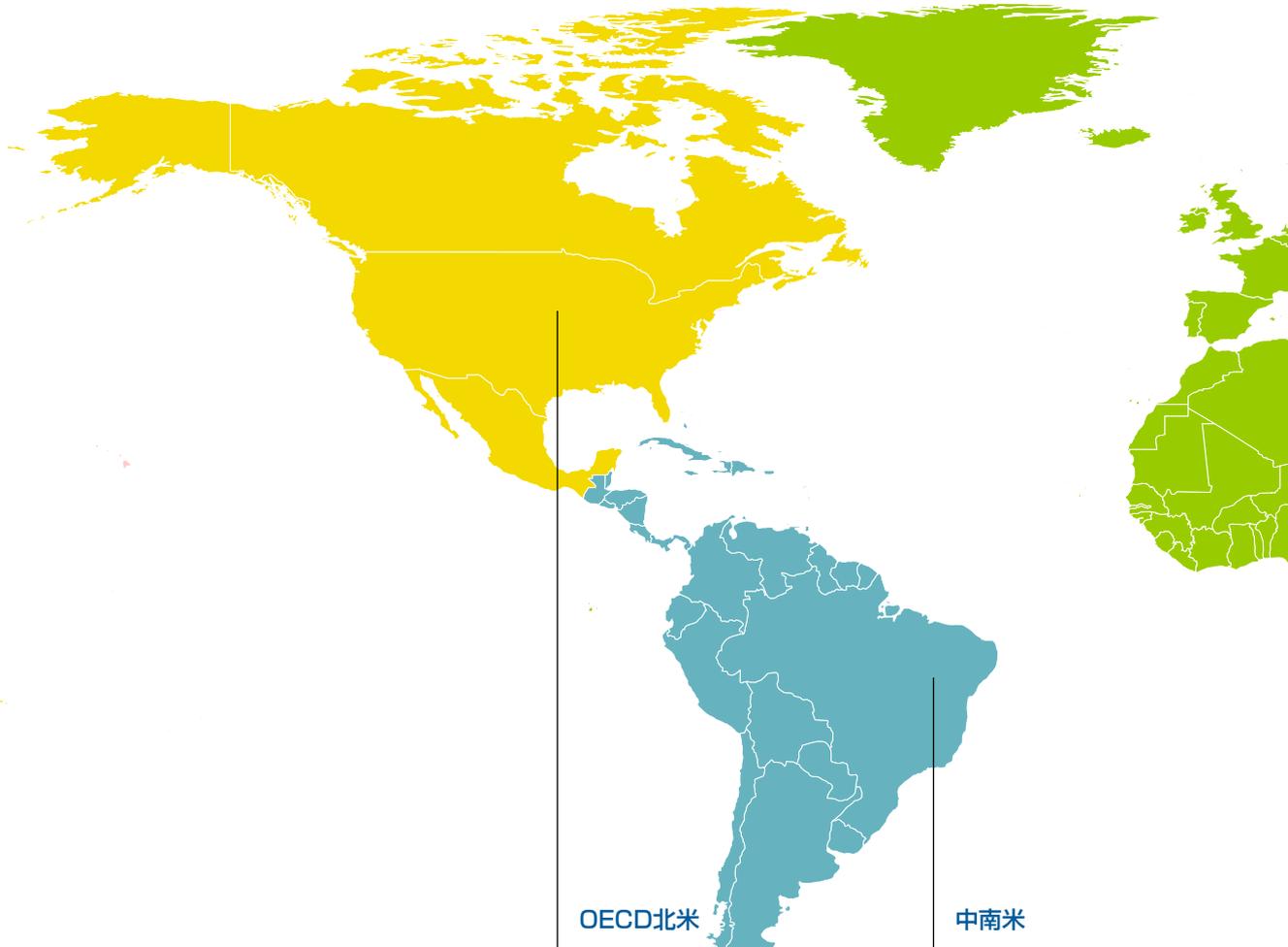
天然ガス埋蔵量と世界の需要・生産・消費量とREFとALTにおける世界消費の見直し比較

単位: 10億立方メートル

出所: 1970-2005 BP, 2006-2050 GPUREC



地図5 石炭についてのレファレンス・シナリオとエネルギー[r]eポリューション・シナリオ
世界シナリオ



非再生可能資源
COAL 石炭

OECD北米

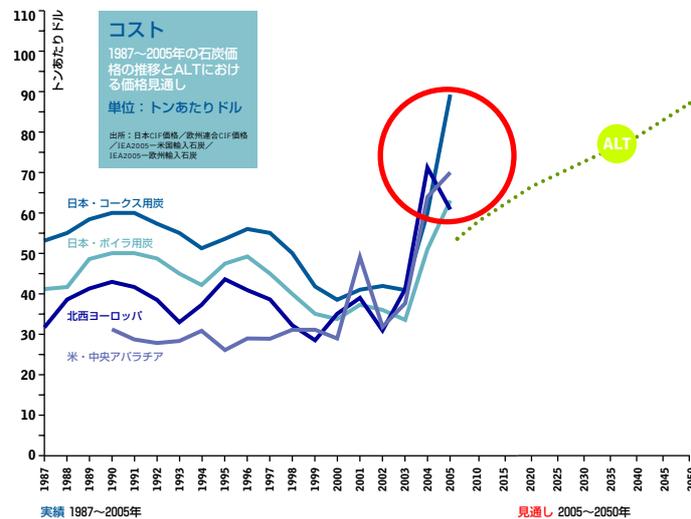
	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	254,432	28.0% ^H	254,432	28.0% ^H
2003	1,326	27,417	1,326	27,417
2050	1,618	33,475	84	1,926
2003	3.1 ^H		3.1 ^H	
2050	2.8 ^H		0.1 ^M	

中南米

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	19,893	2.2%	19,893	2.2%
2003	38	869	38	869
2050	217	4,997	17	394
2003	0.1 ^L		0.1 ^L	
2050	0.3		0.0 ^L	

凡例

- >60 ● 50-60 ● 40-50
- 30-40 ● 20-30 ● 10-20
- 5-10 ● 0-5 % 世界資源量に占めるシェア
- REF レファレンス・シナリオ
- ALT 代替シナリオ
- 0 1000 km
- 埋蔵量合計 百万トン [mn t] | % 世界全体に占めるシェア (2005年末現在)
- 地域別消費量 百万トン [mn t] | ペタジュール [P]
- 一人あたりの消費量 トン [t]
- H** 最高 | **M** 中間 | **L** 最低



OECDヨーロッパ

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	61,972	6.8%	61,972	6.8%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	839	13,166	839	13,166
2050	1,197	25,539	71	1,635
	t	t		
2003	1.6	1.6		
2050	2.4	0.1		

中東

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	419	0.0%L	419	0.0%L
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	17L	397	17L	397
2050	38L	861	9L	208
	t	t		
2003	0.1	0.1		
2050	0.1L	0.0		

中国

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	114,500	12.6%	114,500	12.6%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	1,400H	32,241	1,400H	32,241
2050	2,754H	63,434	648H	14,916
	t	t		
2003	1.1M	1.1M		
2050	2.0	0.5		

市場経済移行国

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	225,123	24.8%	225,123	24.8%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	634M	9,957	634M	9,957
2050	391	6,923	27	628
	t	t		
2003	1.8	1.8		
2050	1.4M	0.1		

アフリカ

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	50,336	5.5%	50,336	5.5%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	181	4,163	181	4,163
2050	727	16,732	225	5,171
	t	t		
2003	0.2	0.2		
2050	0.4	0.1		

南アジア

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	95,495	10.5%M	95,495	10.5%M
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	362	7,727	362	7,727
2050	1,103	24,057	152M	3,500
	t	t		
2003	0.3	0.3		
2050	0.5	0.1		

東アジア

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	1,287	4.7%	1,287	4.7%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	190	3,990	190	3,990
2050	902M	17,944	44	1,006
	t	t		
2003	0.3	0.3		
2050	1.0	0.0		

OECD太平洋

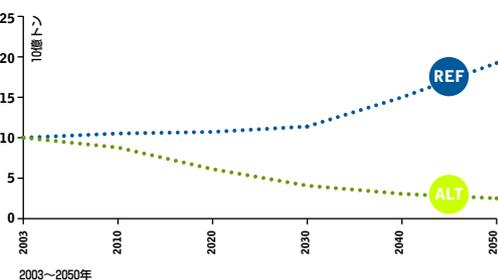
	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	79,510	8.7%	79,510	8.7%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	382	7,975	382	7,975
2050	409	8,832	106	2,438
	t	t		
2003	1.9	1.9		
2050	2.2	0.6H		

CO₂ 排出量

REFとALTにおける見直し比較 (2003~2050年)

単位: 10億トン

出所: GPU/REC

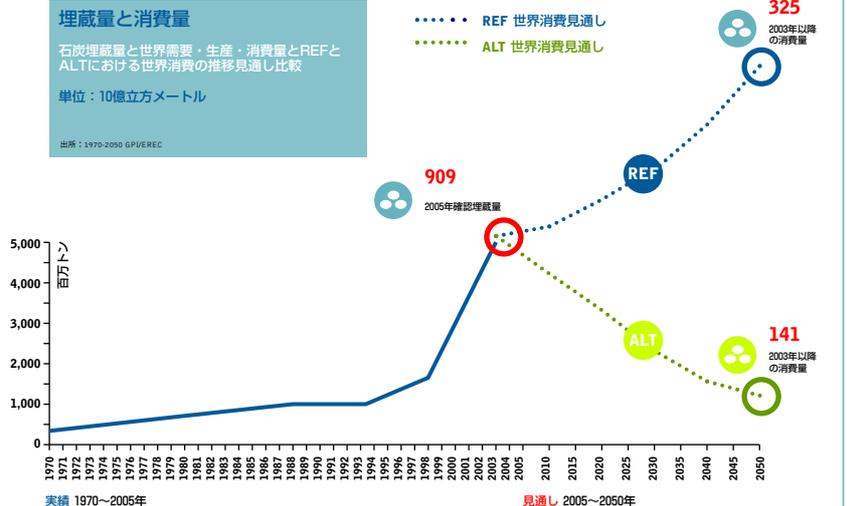


埋蔵量と消費量

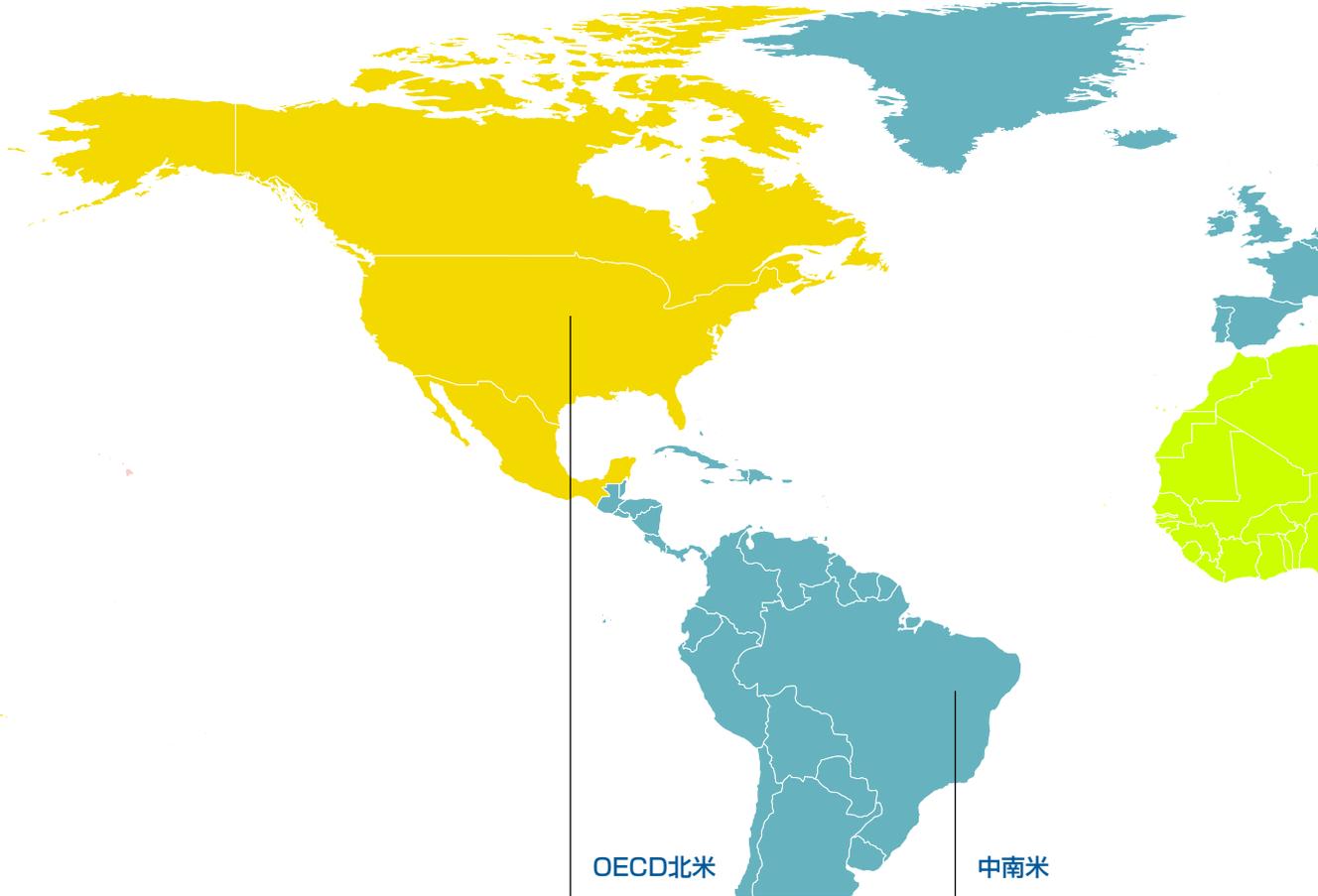
石炭埋蔵量と世界需要・生産・消費量とREFとALTにおける世界消費の見直し比較

単位: 10億立方メートル

出所: 1970-2050 GPU/REC



地図6 原子力についてのレファレンス・シナリオとエネルギー[r]eポリューション・シナリオ
世界シナリオ



非再生可能資源

NUCLEAR 原子力

OECD北米

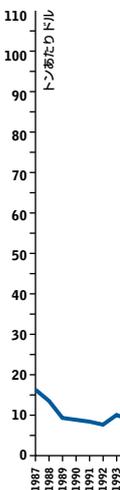
	REF		ALT	
	t	%	t	%
2005	680,109	21%	680,109	21%
	TWh		TWh	
2003	873			
2050	840H		PHASED OUT BY 2030	
	PJ		PJ	
2003	9,526		9,526	
2050	9,164H		0	
	kWh		kWh	
2003	2,051H		2,051H	
2050	1,433		0	

中南米

	REF		ALT	
	t	%	t	%
2005	95,045	3%	95,045	3%
	TWh		TWh	
2003	21			
2050	29		PHASED OUT BY 2030	
	PJ		PJ	
2003	228		228	
2050	316		0	
	kWh		kWh	
2003	48		48	
2050	46		0	

凡例

- >30
 - 20-30
 - 10-20
 - REF レファレンス・シナリオ
 - 5-10
 - 0-5 % 世界資源量に占めるシェア
 - ALT 代替シナリオ
- 0 1000 km
- 埋蔵量合計 トン | % 世界全体に占めるシェア (2005年末現在)
 - 地域別発電量 テラワット時 [TWh]
 - 地域別消費量 ペタジュール [PJ]
 - 一人あたりの消費量 キロワット時 [kWh]
- H 最高 | M 中間 | L 最低



OECDヨーロッパ

Icon	Year	REF		ALT	
		t	%	t	%
☢	2005	56,445	2%	56,445	2%
	TWh		TWh		
🏠	2003	981 ^H		PHASED OUT BY 2030	
	2050	385		PHASED OUT BY 2030	
🏭	2003	10,696 ^H		10,696 ^H	
	2050	4,200		0	
👤	2003	1,859		1,859	
	2050	756		0	

中東

Icon	Year	REF		ALT	
		t	%	t	%
☢	2005	0	0% ^L	0	0% ^L
	TWh		TWh		
🏠	2003	0 ^L		PHASED OUT BY 2030	
	2050	6 ^L		PHASED OUT BY 2030	
🏭	2003	0 ^L		0 ^L	
	2050	65 ^L		0	
👤	2003	0 ^L		0 ^L	
	2050	17		0	

中国

Icon	Year	REF		ALT	
		t	%	t	%
☢	2005	35,060	1%	35,060	1%
	TWh		TWh		
🏠	2003	43		PHASED OUT BY 2030	
	2050	377		PHASED OUT BY 2030	
🏭	2003	472		472	
	2050	4,116		0	
👤	2003	33		33	
	2050	268		0	

市場経済移行国

Icon	Year	REF		ALT	
		t	%	t	%
☢	2005	997,487	31% ^H	997,487	31% ^H
	TWh		TWh		
🏠	2003	282 ^M		PHASED OUT BY 2030	
	2050	210 ^M		PHASED OUT BY 2030	
🏭	2003	3,074 ^M		3,074 ^M	
	2050	2,291 ^M		0	
👤	2003	817 ^M		817 ^M	
	2050	739 ^M		0	

アフリカ

Icon	Year	REF		ALT	
		t	%	t	%
☢	2005	470,312	15% ^M	470,312	15% ^M
	TWh		TWh		
🏠	2003	13		PHASED OUT BY 2030	
	2050	13		PHASED OUT BY 2030	
🏭	2003	139		139	
	2050	142		0	
👤	2003	15		15	
	2050	7 ^L		0	

南アジア

Icon	Year	REF		ALT	
		t	%	t	%
☢	2005	40,980	1%	40,980	1%
	TWh		TWh		
🏠	2003	20		PHASED OUT BY 2030	
	2050	190		PHASED OUT BY 2030	
🏭	2003	213		213	
	2050	2,073		0	
👤	2003	14		14	
	2050	86		0	

東アジア

Icon	Year	REF		ALT	
		t	%	t	%
☢	2005	5,630	0%	5,630	0%
	TWh		TWh		
🏠	2003	39		PHASED OUT BY 2030	
	2050	70		PHASED OUT BY 2030	
🏭	2003	424		424	
	2050	764		0	
👤	2003	62		62	
	2050	79		0	

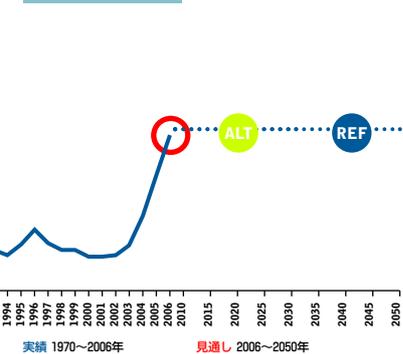
OECD太平洋

Icon	Year	REF		ALT	
		t	%	t	%
☢	2005	741,600	23%	741,600	23%
	TWh		TWh		
🏠	2003	370		PHASED OUT BY 2030	
	2050	610		PHASED OUT BY 2030	
🏭	2003	4,033		4,033	
	2050	6,655		0	
👤	2003	1,858		1,858	
	2050	3,341 ^H		0	

コスト

1987～2005年のイエロークーキー価格の推移とREFとALTにおける見直し比較

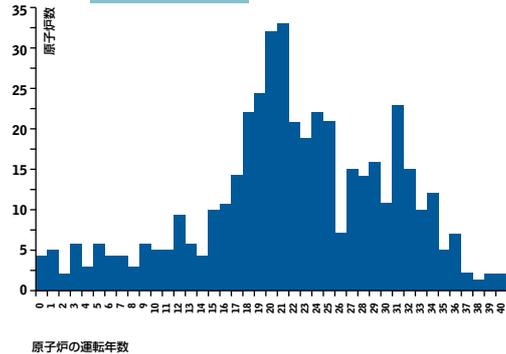
単位：トン
出所：REF：国際エネルギー機関、ALT：グローバルエネルギーセンターで用いた価格



原子炉

世界の原子炉の稼働年数と基数

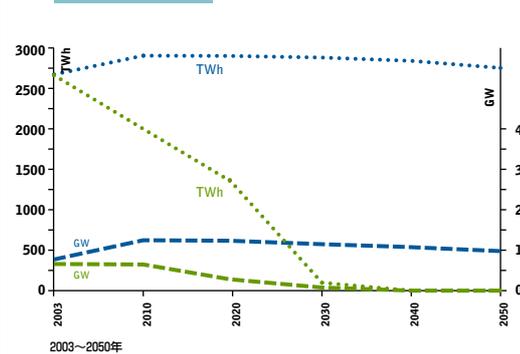
出所：WISE



生産

世界の発電量、設備容量とREFとALTにおける見直し比較

単位：テラワット時、ギガワット
出所：GREENPEACE INTERNATIONAL

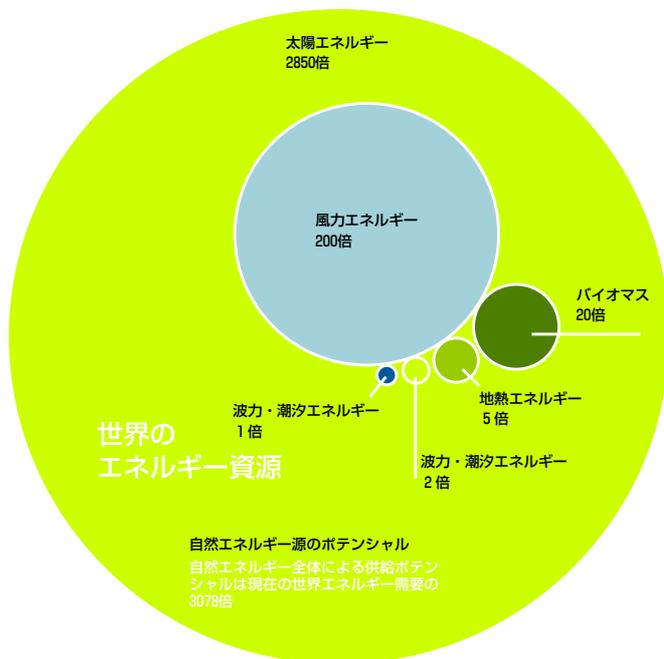


自然エネルギー

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。Research Association for Solar Powerによると、自然エネルギー源からは今日、世界が必要としているエネルギー量の3078倍のパワーがほとぼしり出ている。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30 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12 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¹³⁾

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

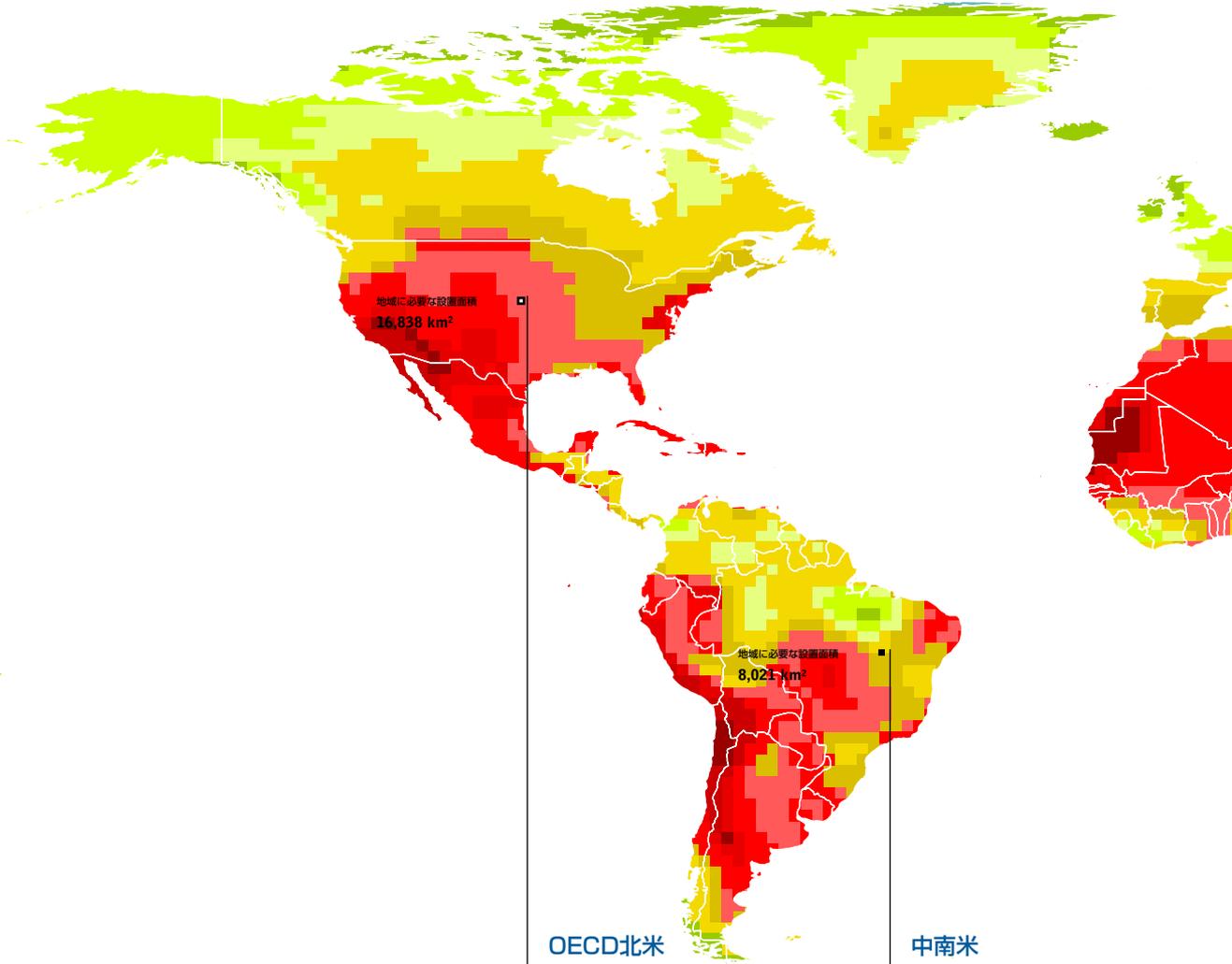
技術的な潜在量のうち、経済的に利用可能な部分をさす。たとえばバイオマスの場合、競合する他の生産物や土地利用との兼ね合いにおいて、経済的に開発可能な量。

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。

地図7～9に回収・利用可能な推定エネルギー量の地域分布を示す。世界を経度緯度0.5度の格子に分け、格子ごとに潜在量を計算した。ここに算出した値は、地球表面の単位面積あたり、あるいは表記されているモジュール／コンバータ面積あたりの平均エネルギー密度であり、したがってどれも単位面積あたりの出力である。

地図7 太陽エネルギーについてのレファレンス・シナリオとエネルギー[r]eポリューション・シナリオ
世界シナリオ



再生可能エネルギー

SOLAR 太陽

OECD北米

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.05M	57H		
☀️ 2050	0.26M	423	6.7	4,677
	kWh		kWh	
👤 2003	37			
👤 2050	201		2,217M	

中南米

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.01	2		
☀️ 2050	0.03	16L	7.4	2,228
	kWh		kWh	
👤 2003	1			
👤 2050	7		982	

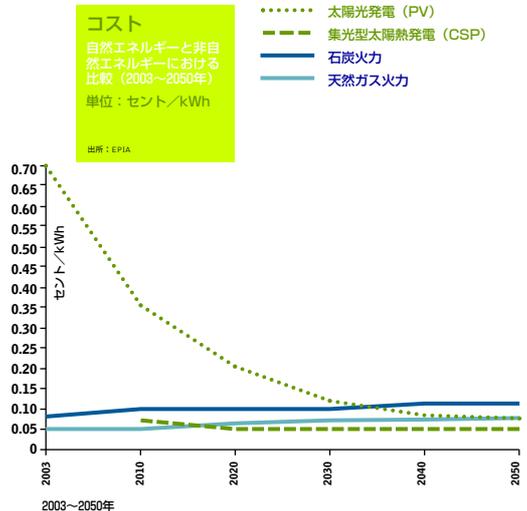
凡例



コスト

自然エネルギーと非自然エネルギーにおける比較 (2003~2050年)
単位: セント/kWh

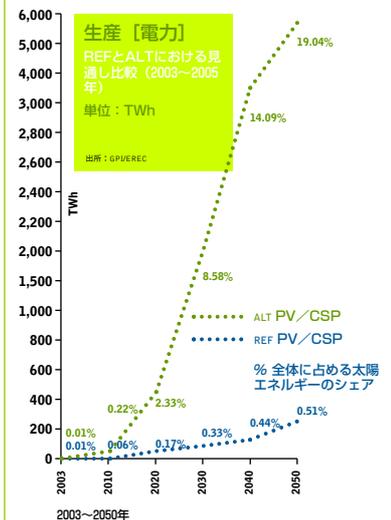
出所: EPIA



生産 [電力]

REFとALTにおける見直し比較 (2003~2050年)
単位: TWh

出所: GPEREC



OECDヨーロッパ

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.05M	39		
☀️ 2050	0.25	233M	6	3,062
	kWh		kWh	
💡 2003	20M			
💡 2050	127M		1,671	

中東

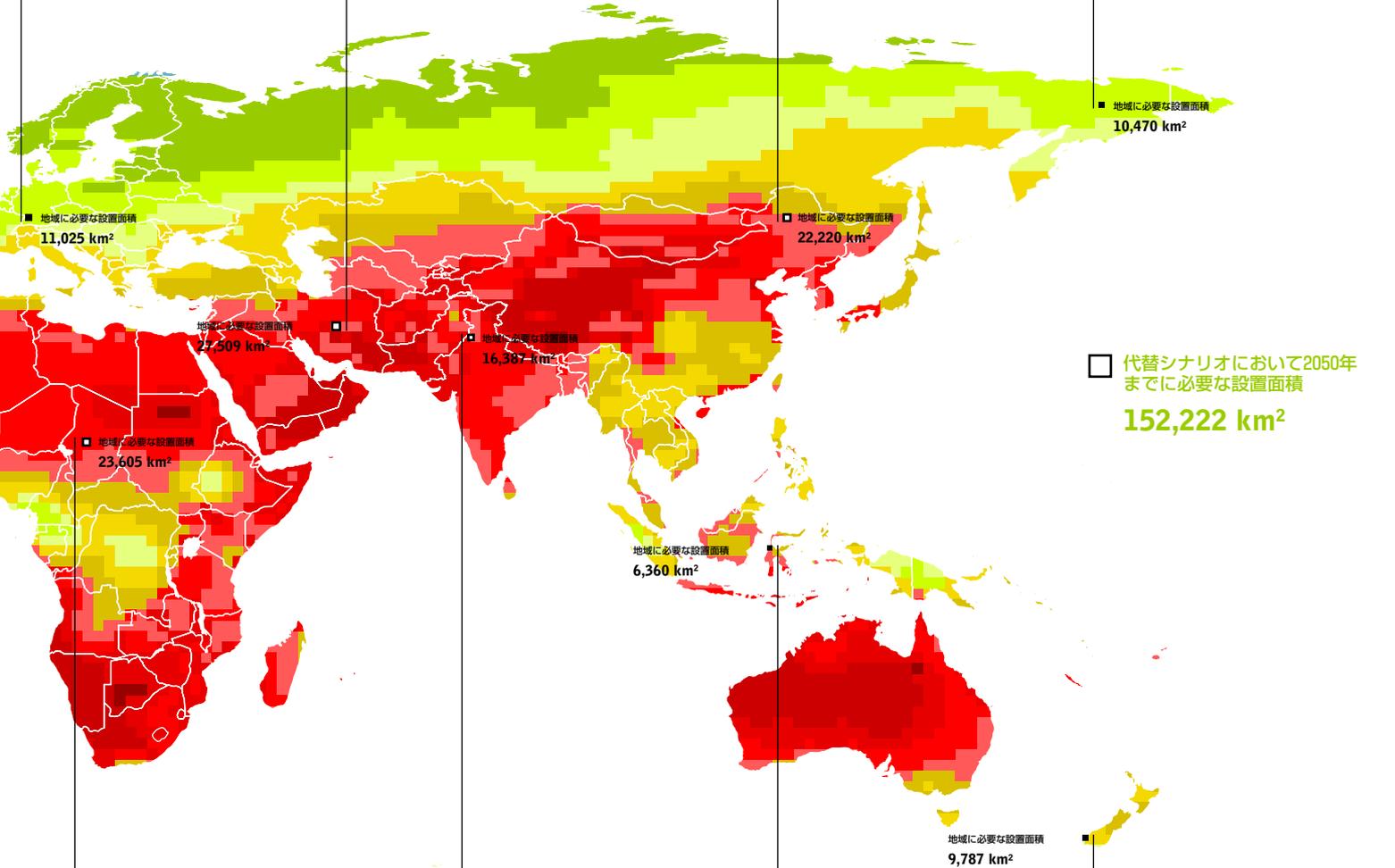
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.18H	32		
☀️ 2050	0.32	125	38H	7,641H
	kWh		kWh	
💡 2003	49H			
💡 2050	98		5,999H	

中国

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.00L	0L		
☀️ 2050	0.46	584H	8.1	6,172
	kWh		kWh	
💡 2003	0L			
💡 2050	115		1,218	

市場経済移行国

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.00	1		
☀️ 2050	0.00	3	7.8	2,908
	kWh		kWh	
💡 2003	1			
💡 2050	3L		2,844	



アフリカ

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.00L	0L		
☀️ 2050	0.17	127	14.9	6,557
	kWh		kWh	
💡 2003	0L			
💡 2050	19		992	

南アジア

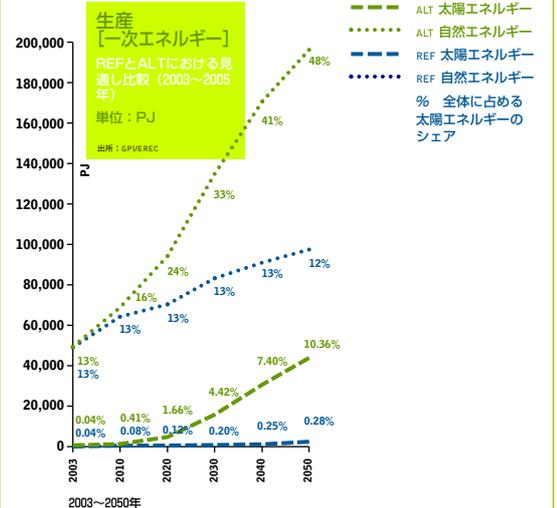
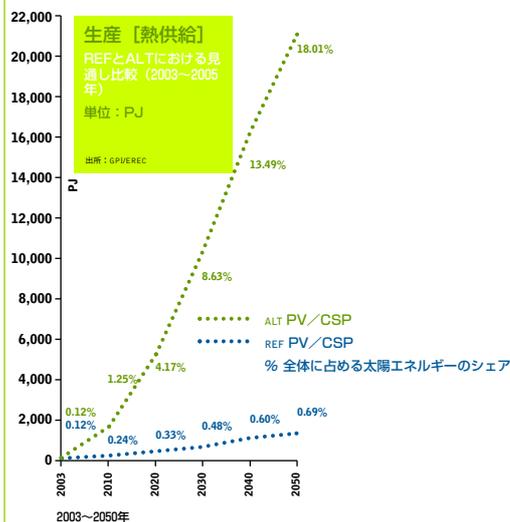
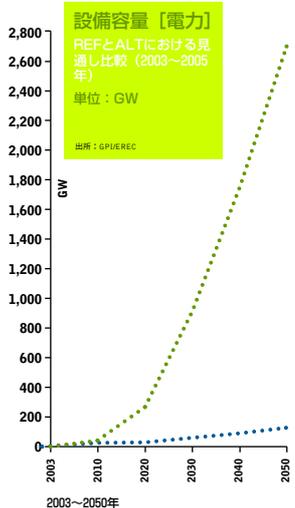
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.00L	0L		
☀️ 2050	0.17	121	12.2M	4,552M
	kWh		kWh	
💡 2003	0L			
💡 2050	15		572	

東アジア

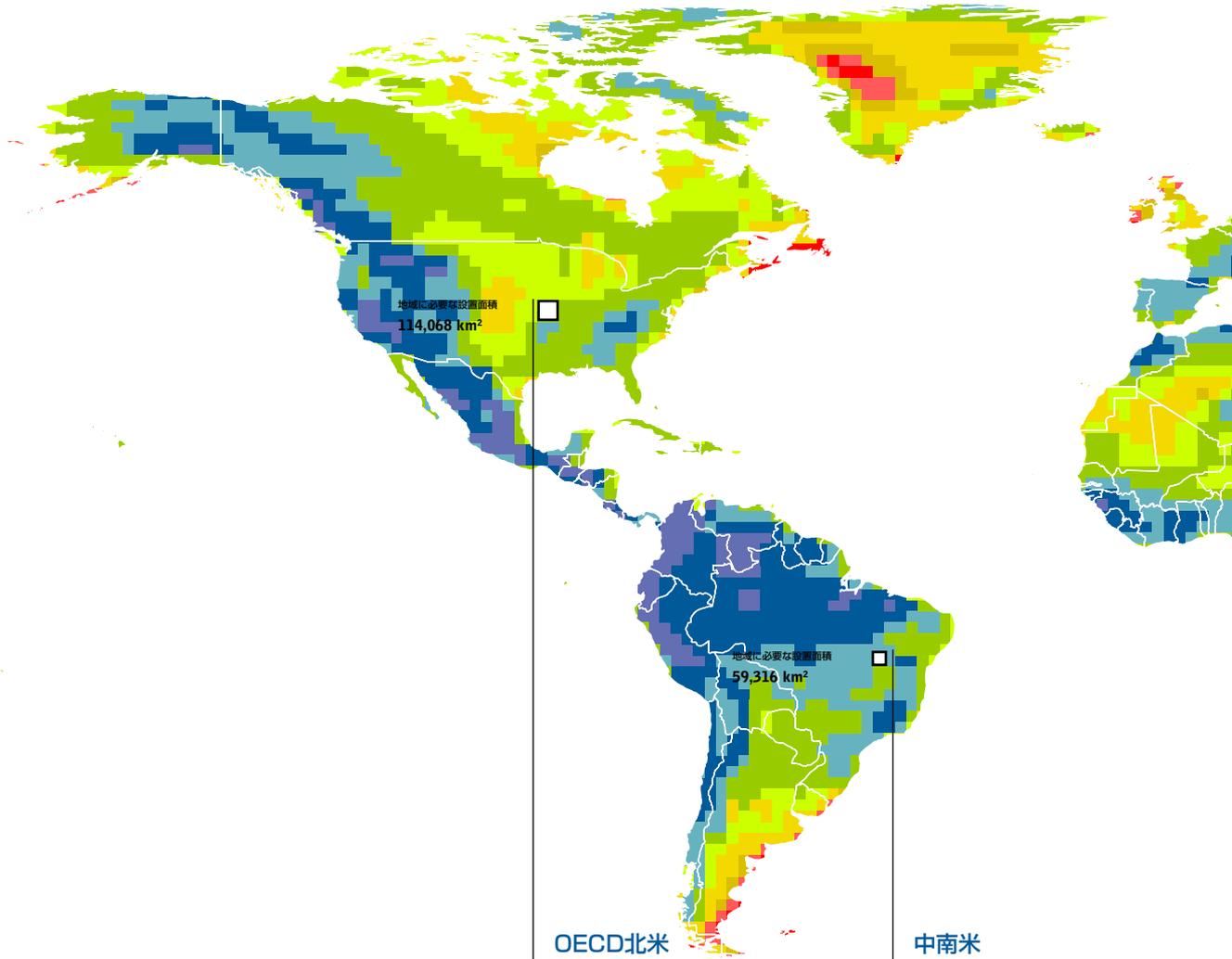
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.00L	0L		
☀️ 2050	0.39	235	5.5L	1,767L
	kWh		kWh	
💡 2003	0L			
💡 2050	73		552L	

OECD太平洋

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.09	31M		
☀️ 2050	0.85H	397	11.5	2,719
	kWh		kWh	
💡 2003	44			
💡 2050	604H		4,137	



地図8 風力についてのレファレンス・シナリオとエネルギー[r]eポリューション・シナリオ
世界シナリオ



再生可能エネルギー

WIND 風力

OECD北米

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.04M	44		
2050	0.73	1,188	7.7	5,400M
	kWh		kWh	
2003	28			
2050	563		2,559	

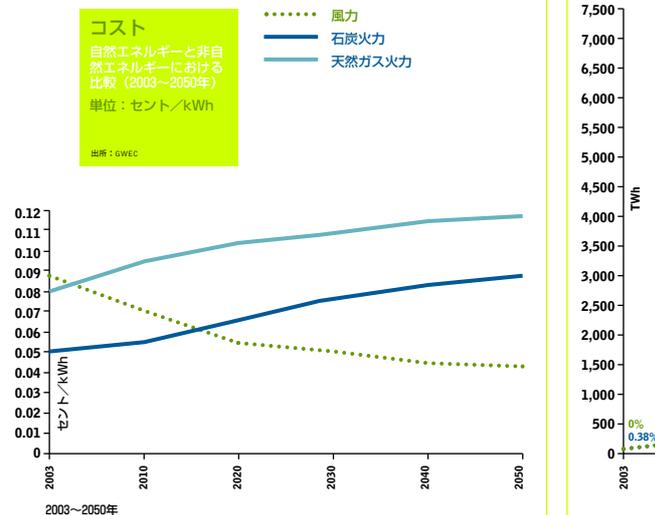
中南米

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.01	1		
2050	0.32	198	9.3H	2,808M
	kWh		kWh	
2003	1			
2050	87		1,238M	

凡例



コスト



OECDヨーロッパ

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.21H	160H		
2050	2.10H	1,962H	7.2	3,654
	kWh		kWh	
2003	84H			
2050	1,071H		1,994	

中東

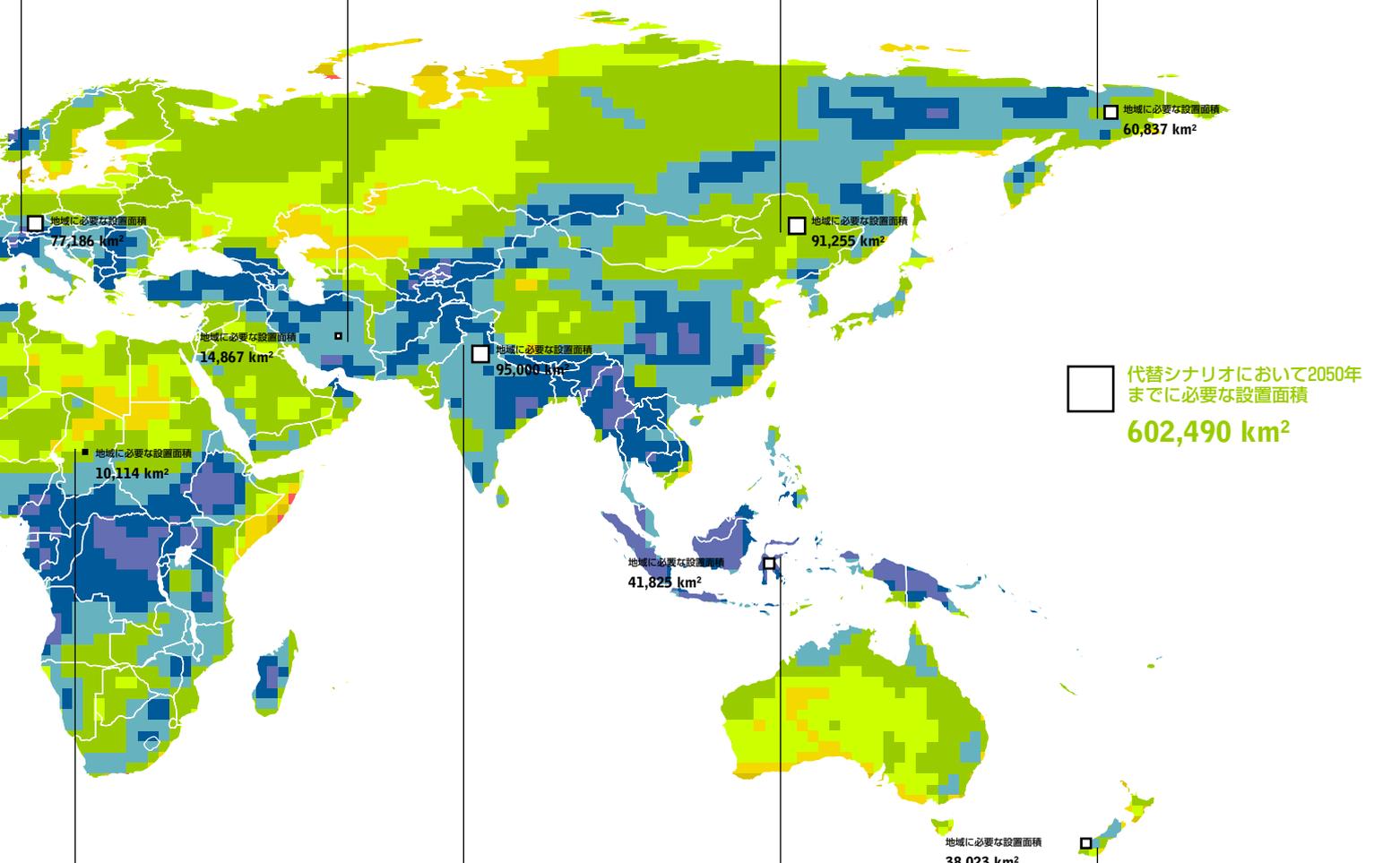
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00L	0L		
2050	0.18	72L	3.5	704
	kWh		kWh	
2003	0L			
2050	57		553	

中国

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.01	4		
2050	0.53M	681	5.7	4,320
	kWh		kWh	
2003	1			
2050	135		853	

市場経済移行国

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00L	0L		
2050	0.21	139	7.7	2,880
	kWh		kWh	
2003	0			
2050	136M		2,817H	



アフリカ

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.01	2		
2050	0.14L	104	1.1L	479L
	kWh		kWh	
2003	1			
2050	16L		72L	

南アジア

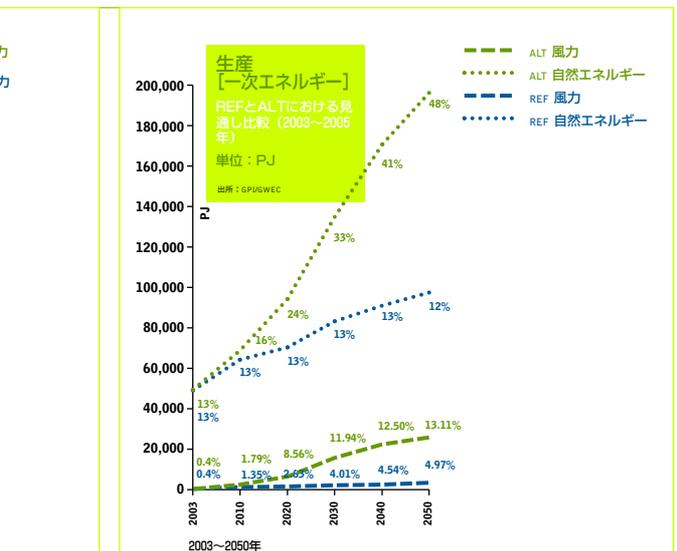
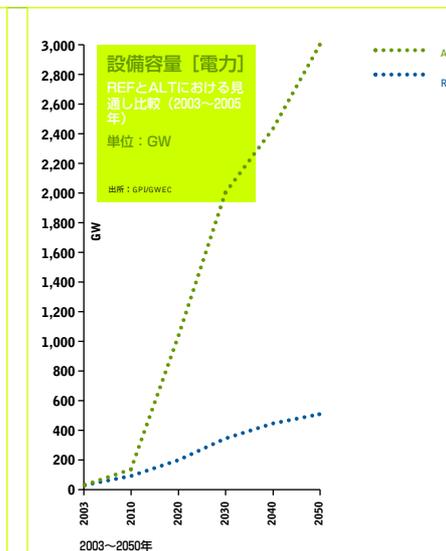
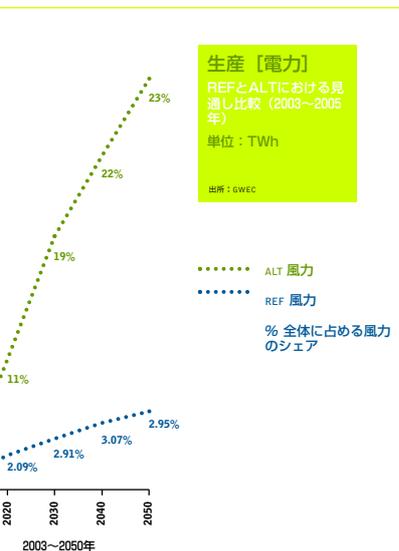
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.05M	13M		
2050	0.26M	137	4.6	1,710
	kWh		kWh	
2003	3			
2050	17		215	

東アジア

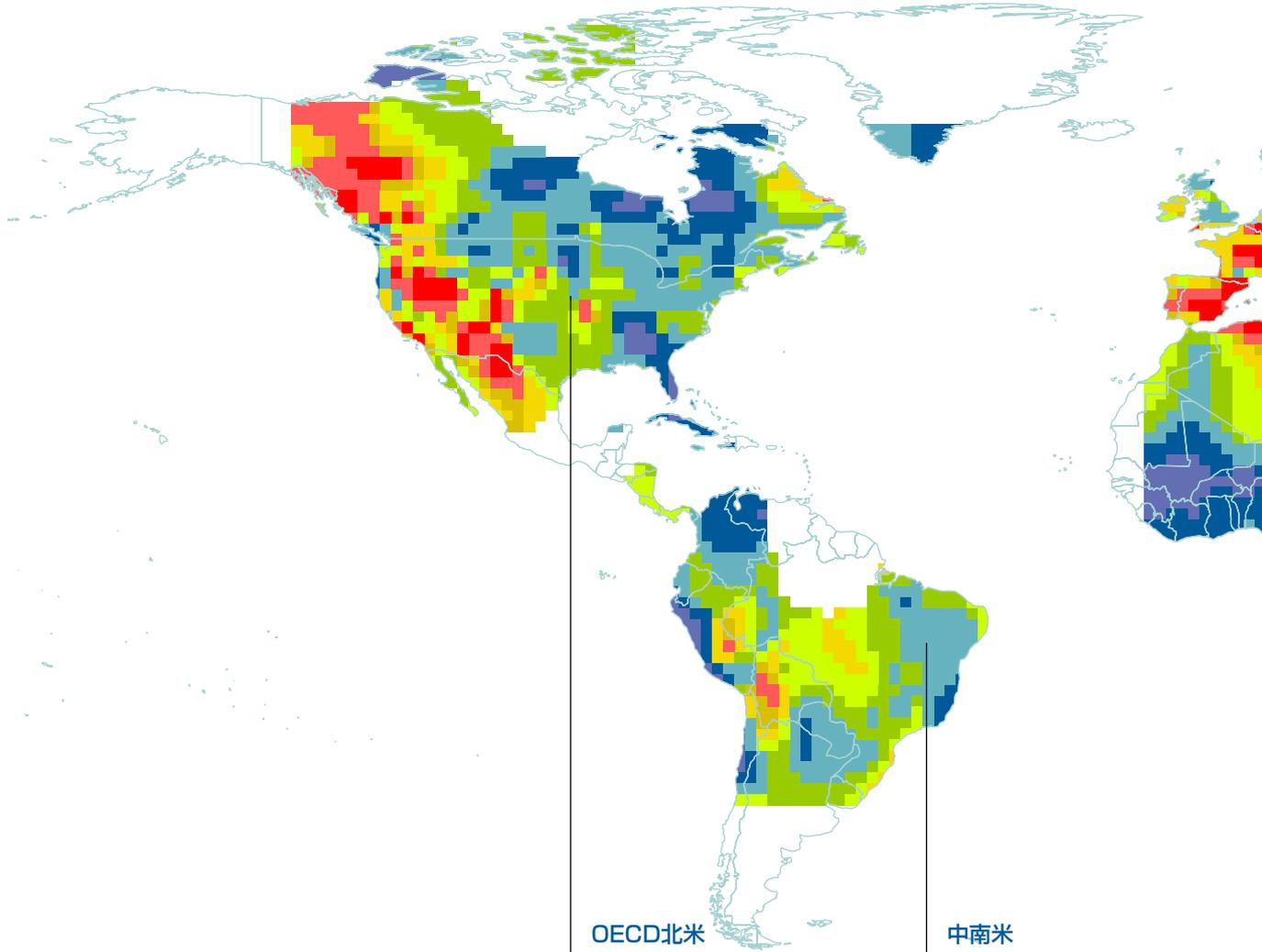
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00L	0L		
2050	0.21	126	6.1M	1,980
	kWh		kWh	
2003	0L			
2050	39		619	

OECD太平洋

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.02	6		
2050	0.69	324M	7.6	1,800
	kWh		kWh	
2003	9M			
2050	493		2,739	



地図9： 地熱についてのレファレンス・シナリオとエネルギー[r]eポリューション・シナリオ
世界シナリオ



再生可能エネルギー

GEOHERMAL 地熱

OECD北米

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
💡 2003	0.54H	621H		
💡 2050	0.78H	1,270H	5.5M	3,810
	kWh		kWh	
👤 2003	405H			
👤 2050	602H		1,806	

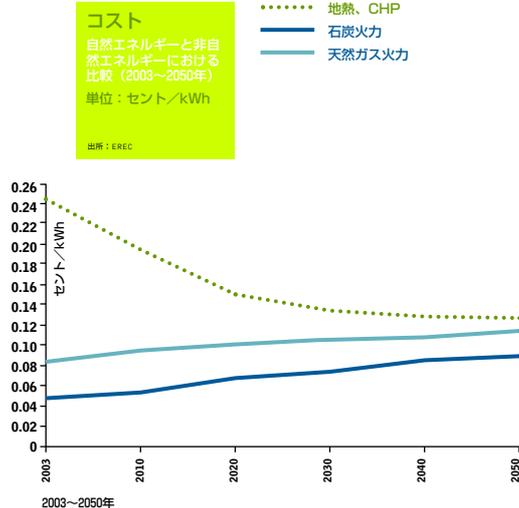
中南米

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
💡 2003	0.31M	61		
💡 2050	0.54	338M	3.6	1,083
	kWh		kWh	
👤 2003	38			
👤 2050	149		478	

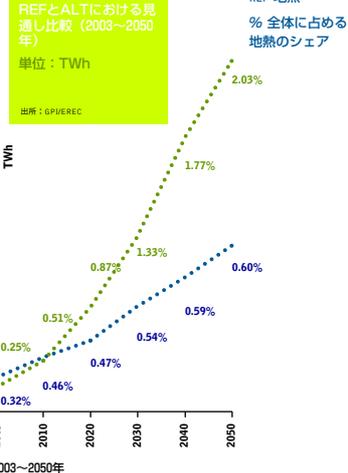
凡例



コスト
自然エネルギーと非自然エネルギーにおける比較 (2003~2050年)
単位: セント/kWh
出所: EREC



生産 [電力]



OECDヨーロッパ

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.20	150M		
2050	0.61	567	8.6	4,392H
	kWh		kWh	
2003		79M		
2050		310		2,397

中東

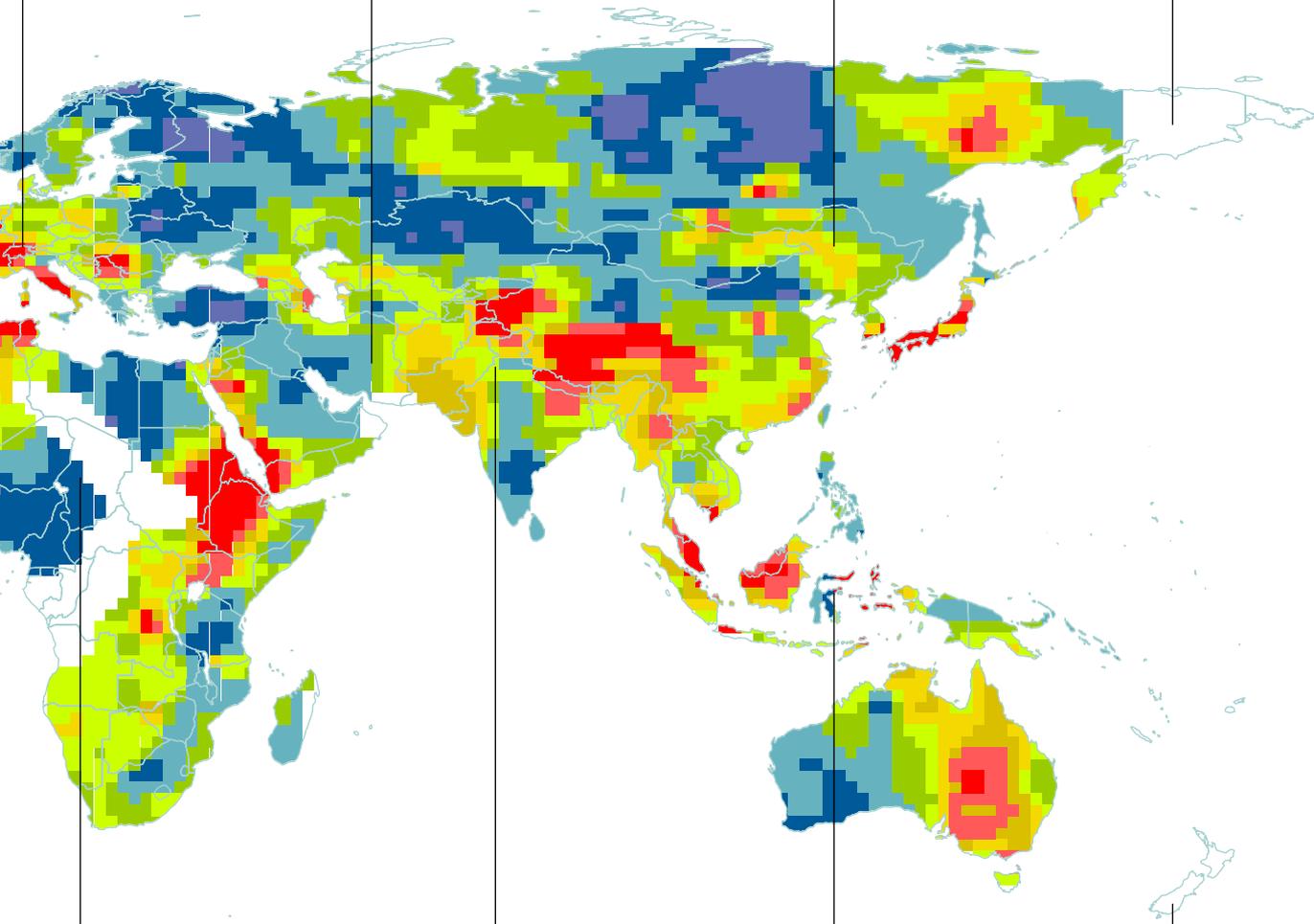
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00L	0L		
2050	0.00L	1L	6.89	1,384
	kWh		kWh	
2003		0L		
2050		1L		1,087M

中国

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00	0		
2050	0.06	76	0.12L	93L
	kWh		kWh	
2003		0		
2050		15		18L

市場経済移行国

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00	2		
2050	0.30	201	7.8	2,930
	kWh		kWh	
2003		2		
2050		196M		2,866H



アフリカ

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.10	22		
2050	0.05	34	2.26	981
	kWh		kWh	
2003		7		
2050		5		148

南アジア

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00	0		
2050	0.17	122	4.02	1,480M
	kWh		kWh	
2003		0		
2050		15		186

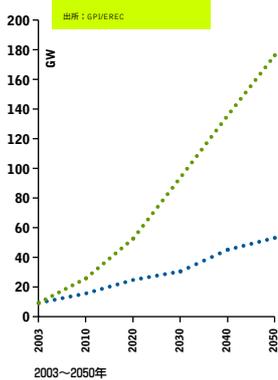
東アジア

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	2.00	446		
2050	1.33	798	9.2H	2,978
	kWh		kWh	
2003		199		
2050		249		931

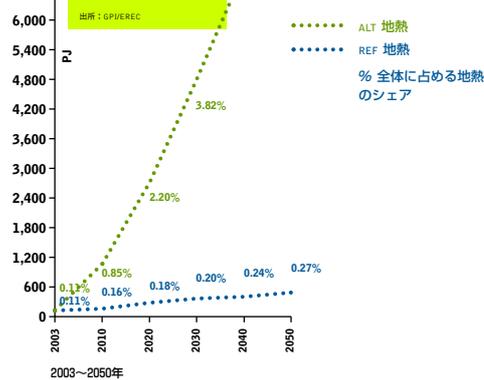
OECD太平洋

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.10	34		
2050	0.38M	176	2.81	654
	kWh		kWh	
2003		48		
2050		268		995

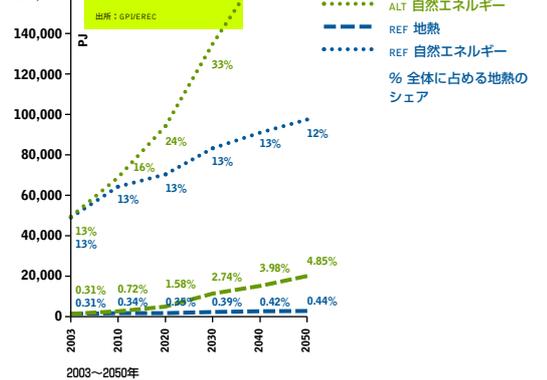
設備容量 [電力]
REFとALTにおける見直し比較 (2003~2050年)
単位: GW



生産 [熱供給]
REFとALTにおける見直し比較 (2003~2050年)
単位: PJ



生産 [一次エネルギー]
REFとALTにおける見直し比較 (2003~2050年)
単位: PJ



エネルギー技術

「エネルギー[r]eポリューション・シナリオは、省エネと自然エネルギー源の潜在的可能性、とりわけ発電と熱供給部門におけるそれに焦点を当てている」



アイスランド北西部のレイキャヴィーク近郊にある地熱利用施設。地熱活動をエネルギー源として活用している。背後に火山岩が見える。



本章では世界のエネルギー需要を満たすのに利用できる、すでに実用化された（あるいは今後、実用化が見込まれている）一連の技術について述べる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオは、省エネと自然エネルギー源の潜在的可能性、とりわけ発電・熱供給部門におけるそれに焦点を当てている。第4章で運輸部門におけるバイオ燃料利用の将来性について取り上げたが、ここでは車輛用燃料のほぼすべてを占める石油系燃料の代替技術については取り上げない。

化石燃料技術

世界で発電に使用されている化石燃料のうち、もっとも一般的なのは石炭と天然ガスである。石油依存が高いのは、それ以外に容易に入手できる燃料がない島々や遠隔地、あるいは産油国だ。石炭と天然ガスで、現在の世界の電力供給の半分以上がまかなわれている。

石炭燃焼技術

従来の石炭火力発電所は、粒状または粉末状にした石炭を気流搬送でボイラへ送り、高温で燃焼させる。発生したガスと熱でボイラを通っているパイプを流れる水を蒸気に変換し、その蒸気力でタービンを駆動させて発電する。全世界に現存する石炭火力発電の設備容量の90%以上がこの方式だ。その出力は100メガワット級から1000メガワット級と幅がある。

従来の石炭燃焼方式の環境性能を改善するため、さまざまな技術が導入されてきた。それらには石炭中の灰分を減らす脱灰技術や、燃料にともなう二酸化炭素以外の主要汚染物質——煤塵、二酸化硫黄、窒素酸化物——の排出量を低減させるための、さまざまな「後付け型」(bolt-on)あるいは「末端処理型」(end-of-pipe)の技術がある。たとえば排煙脱硫装置(FGD)でもっとも一般的に用いられているのは、石灰または石灰石を主成分とするアルカリ性の混合液(石灰石スラリー)をつくり、それを排ガスに噴射して硫黄酸化物を固めたうえで回収・除去する技術である。

効率向上とともに汚染物質の排出量をさらに低減させるため、石炭燃焼技術の抜本的な改革が進められてきた。それらには以下がある。

- **石炭ガス化複合発電(IGCC)**：石炭をそのまま燃やすのではなく、酸素と蒸気に反応させて水素と一酸化炭素を主成分とする「合成ガス」にし、ガスから汚染物質や不純物などを取り除いたあと、ガスタービンに送って発電するとともに、発生させた蒸気を使って蒸気タービンもまわし発電する方式。IGCCによって、燃焼効率は38～40%、最大で50%まで向上する。
- **超臨界圧および超々臨界圧石炭火力発電**：これらの発電所は、従来の燃焼方式より高温で運転するため、効率が50%まで高まる。
- **流動床燃焼技術**：燃焼炉の床からガスを吹き込み、その上の石炭を回転させて燃焼する方式。これにより燃焼効率、伝熱特性、石灰灰などの回収が向上する。燃焼床部を加圧することで高温・高圧のガスを発生させ、それによりガスタービンを駆動して発電する。二酸化硫黄と窒素酸化物の排出量を大幅に低減できる。

- **加圧微粉炭燃焼技術**：これは微粉炭燃焼技術をベースに、高圧・高温の蒸気を発生させて発電する方式。主にドイツで開発されている。高温の排ガスはコンバインド(複合)サイクル発電と同じ方式で発電に利用できる。

他にポテンシャルがある将来の技術には、石炭ガス化発電の高効率利用がある。たとえば石炭地下ガス化技術。これは地下深部にあるため利用できなかった石炭を可燃ガスに変換し、産業用熱源や発電に用いたり、水素、合成天然ガス、その他の化学物質の製造に使ったりする技術だ。ガスは最終消費者に届く前に処理することで、二酸化炭素を除去できる。オーストラリア、ヨーロッパ、中国、日本で実証試験が進められている。

天然ガス燃焼技術

天然ガスは、ガスタービンあるいは蒸気タービンを駆動する燃料として発電に利用できる。燃焼による単位発熱量あたりの二酸化炭素発生量は、石炭に比べて約45%少ない。天然ガスタービンプラントは、天然ガスを燃焼させた熱を直接利用してタービンを駆動させる。タービンをすばやく起動させることができるので、電力需要ピーク時のエネルギー供給に利用されることが多い。しかし、ベースロード電源に比べてコストが高くなる。

ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクル・タービンプラントを用いると、格段に高い効率を達成できる。ガスタービン・コンバインドサイクル(CCGT)プラントでは、ガスタービンで発電したあと、その排ガスで蒸気をつくり、蒸気タービンを回してさらに発電する。最新式のCCGT発電所の効率は50%を上回りうる。1990年代以降に新規建設された天然ガス火力発電プラントの大半は、この方式である。

CCGT発電所は石炭火力や原子力発電所に比べて資本コストが大幅に低く、建設に要する時間も短い。近年、世界的に天然ガス価格が上昇しているが、少なくともそれまではCCGT発電所は多くの国々においてもっとも安価な発電方式だった。

炭素貯留技術

石炭やガスを燃やすたびに二酸化炭素が発生する。発電プラントの方式によっては、大量の二酸化炭素を大気中に放散し、気候変動を助長する。1キロワット時あたりの二酸化炭素排出量は、石炭火力プラントでおおよそ720グラム、最新式ガス火力プラントでおおよそ370グラムだ。石炭の支持者のなかからは、発電プラントから排出される二酸化炭素を低減する新技術が提案されている。それは二酸化炭素を分離・回収し、地下に圧入するというもの。しかし、回収と貯留のどちらの技術にも限界がある。提案されている技術を導入したとしても、回収しきれなかった二酸化炭素——キロワット時あたり60～150グラム——は排出され続けるだろう。

二酸化炭素の貯蔵

燃焼過程で回収される二酸化炭素は、どこかに貯蔵されなければならない。現在のところ、海洋に隔離する方法や、地下3000フィート（約915メートル）以上の地層に封じ込める方法が考えられている。しかしこの技術は、核廃棄物の地層処分と同様、問題を別の場所へ移すだけだろう。

海洋貯留の危険性

海洋貯留は広大な海域で海水の酸性化（pH値の低下）を大幅に加速しかねず、注入地点の周辺海域では、生態系全体ではないにしても、きわめて多くの生物に害をもたらすだろう。この方法で海洋投棄された二酸化炭素は、そう長くはないうちに大気中へと押し戻されるだろう。海洋は生命の源であると同時に、現世代と未来世代の共有財産であり、保全に値する。二酸化炭素の排出削減に利用可能な対策は多種あるのだから、海洋、海底下地層、湖、そして貯水池への直接投棄は、選択肢から除外すべきだ。

地下貯留の危険性

採掘が終わった油田や天然ガス田は、その探査と生産段階であけられたドリル孔だらけとなっている。これらの孔は密閉されなければならない。通常、孔の密閉には特殊なセメントが用いられる。しかし二酸化炭素は水に溶けやすく、金属やセメントを腐食させやすいので、ドリル孔が密閉されたとしても、その安全性は万全とはいえない。多くの専門家にとって、問題は漏洩の可能性ではなく、漏洩が始まるのはいつか、にある。

二酸化炭素の貯留については経験が不足しているため、その安全性は天然ガスの地下貯蔵になぞられることが多い。後者の技術は以前から試みられており、鉱物業界は安全面でのリスクは低いと見なしている。一方、グリーンピースの評価は異なる。世界中で重大な漏洩が何件も発生しているし、周辺住民の避難が必要になったケースもあった。

二酸化炭素の突然の漏洩は致命的となりうる。二酸化炭素そのものは有毒ではなく、私たちが呼吸する大気にも含まれている（およそ0.04%）が、その大気中濃度が高まるにつれ、生命維持に不可欠な酸素の割合が減少する。二酸化炭素濃度が体積比で7～8%になると、30～60分後に窒息死を引き起こす。

通常、ガスは漏洩すると速やかに拡散するものだが、二酸化炭素は大気より重いので、戸外の窪地や機密性が高い建物などに滞留しやすい。したがって、二酸化炭素の突発的な大量放出は健康被害をもたらす。また緩慢な漏洩でも、住宅地域でだれにも気づかれることなく、たとえば家屋の地下室などに溜まったなら、危険は免れない。

こうした漏洩による危険性は、火山性ガスに含まれる二酸化炭素によるものがよく知られている。1986年、アフリカのカメルーンにあるニオス湖（火山湖）から噴出した二酸化炭素は、1700人以上の生命を奪った。イタリアのラツィオ地方では二酸化炭素の放出のために、過去20年間で少なくとも10人が死亡している。

炭素貯留と気候変動抑止のための目標

炭素貯留は気候変動抑止に貢献できるだろうか。気候変動が危険なレベルに達するのを回避するには、2050年までに世界全体で二酸化炭素の排出を50%削減する必要がある。一方、二酸化炭素の貯留設備を備えた発電プラントは依然として開発段階にあり、その技術が広く利用されるまでには優に10年かかるだろう。したがって貢献できるようになるとしても、早くして2020年であり、それまでは実質的な効果は見込めない。

OECD諸国がめざすべき目標の達成、つまり2050年までに二酸化炭素の排出を80%削減するうえでも、炭素貯留はあまり役に立たない。この技術が2020年に実用化されたとしても。しかし、その頃には世界で新設される発電プラントのほとんどが最新式になっているだろうから、できるとすれば、せいぜい旧式設備に設置して、その排ガス処理フローから二酸化炭素を回収することくらいだ。

しかし、こうした技術を既存の発電プラントにつけるコストは、非常に高くつく。火力発電による電力価格も上昇するだろう。貯留コストは分離技術、輸送、そして貯留ための設備など多くの要素によって決定されるが、国連「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）の専門家たちは、発電単価は1キロワット時あたり3.5～5.0セント高くなると見積もっている。今日、風況が良い地域にある最新式風力発電機の発電コストは、近年に新設された石炭火力発電プラントのそれと競合しうる。したがって、炭素回収設備をつけた石炭火力の発電コストは現状の2倍以上に達し、もっとも高額となるだろう。

結論

自然エネルギー源はすでに利用されているし、コストも多くの場合、比較的安く、化石燃料の開発や輸送、加工につきものの環境負荷も小さくてすむ。気候変動の主因は、石炭、石油、天然ガスといった化石燃料の燃焼にある。これに歯止めをかけるには、エネルギーの効率利用と省エネ、そして自然エネルギーの利用を高めることだ。炭素回収・貯留（CCS）は無用である。CCSには以下のような問題があることから、グリーンピースはその導入に反対する。

- 廃棄物の海洋（海中、滞水層、海底地層）投棄を規制する、現行の国際的・地域的な取り決めをないがしろにする。
- 化石燃料部門への投資の継続、あるいは増大によって、自然エネルギーやエネルギー効率向上への投資が圧迫される。
- 自然エネルギー、エネルギー効率利用、省エネの促進を阻む。
- この技術が将来実用化されると想定し、主要な気候変動対策と位置づけると、化石燃料、とくに褐炭と黒炭のさらなる開発を促すことになり、排出量の中期的・短期的な増加につながる。



原子力技術

原子力で電気をつくるには、核分裂反応が暴走しないよう制御し、核エネルギーが出す熱で蒸気を発生させ、それを従来型の蒸気タービンに送って発電する。核反応が起きる炉心は格納容器に内包されている。格納容器にはいくつかのタイプがある。炉心で発生した熱は冷却材（ガスまたは水）によって取り除かれ、核反応は「減速材」によって制御される。

この20年間、原子力発電所の新設は世界的に低迷している。要因のひとつは、スリーマイル島（TMI）原発事故、チェルノブイリ原発事故、高速増殖炉「もんじゅ」事故などに起因する事故への不安だ。さらに核廃棄物処理や放出放射能をはじめ、原子力発電が経済や環境におよぼす影響について、より詳しい検討がなされるようになってきたこともある。

原子炉設計：次世代原発と安全性

2005年をはじめ現在で、世界31カ国における運転中の発電用原子炉は441基。原子炉のタイプと規模はさまざまだが、以下にこれまでに導入された、あるいは開発中の炉を大まかに分類する。

第一世代：1950年代から60年代にかけて開発された商業用原子炉の原型炉。軍事用のプルトニウム生産炉として、または原子力潜水艦の動力源として開発された炉を発電用に改造ないし大型化したもの。

第二世代：現在、世界の主流となっている商業用原子炉。

第三世代：いわゆる「改良型」原子炉など。日本ではすでに3基が運転に入っている。他の国でも建設ないし設置計画が進められている。およそ20種類が開発中とされ¹⁴、その多くは第二世代の原子炉にいくつかの改良が加えられたもので、「次世代原子炉」とも呼ばれるが、第二世代と根本的な違いはない。新技術を使う「革新的原子炉」なども含まれる。世界原子力協会（WNO）によれば、第三世代原子炉は以下のような特徴をもつ。

- 炉の設計を標準化することで、設置手続きを早め、資本コストの削減と建設にかかる時間を短縮
- より簡素化したわかりやすい設計にすることで、運転操作を容易にし、トラブルに対する脆弱性を改善
- 設備利用率の向上と、炉の寿命を一般的に60年まで延長
- 炉心溶融事故のリスクを低減
- 環境負荷を最小化
- 核燃料の高燃焼化により、使用する核燃料と核廃棄物を減量
- 可燃性「毒物」の混入で核燃料の使用長期化

これらが、経済性の向上とは対照的に、どこまで安全性の向上につながりうるかは、依然として不明である。

第四世代：高速増殖炉（FBR）、超臨界圧軽水炉（スーパー軽水炉）、超高温ガス炉などがある。日本政府は、高速増殖炉を国家基幹技術と定め、その開発を推進している。高速増殖炉は、核燃料を効率的に「燃やす」ことより、プルトニウムの生産（増殖）を目的とする原子炉で、軽水炉とは異なる固有の、しかもより深刻なリスクをもつ。たとえば核暴走しやすい、地震にきわめて弱い、核爆弾に最適の高純度のプルトニウムが生成される、などだ。福井県敦賀に設置された高速増殖炉「もんじゅ」（原型炉）は1995年、減速材のナトリウムが漏れ出し、火災事故を起こして停止（2008年1月現在、2008年10月の運転再開が計画されている）。米国、英国、ドイツ、フランスなどでも長年にわたり開発されてきたが、いずれの国も撤退している。

参照

14) IAEA 2004; WNO 2004a

15) HAINZ 2004.

自然エネルギー技術

自然エネルギーの源は、自然のなかに広く存在し、再生を繰り返す。したがって、化石燃料やウランと異なり枯渇することがない。その大半は太陽や月が地球の気象におよぼす作用を源としている。自然エネルギーは「従来」の燃料につきものの有害な排出物や汚染物質を発生しない。水力発電は20世紀半ばから大規模に利用されてきたが、その他の自然エネルギー源が本格的に開発されるようになったのは、近年になってからである。

太陽エネルギー（太陽光発電）

太陽光発電システムの大幅な需要増を満たして余りある太陽光が、世界のいたるところに降り注いでいる。地表に到達する太陽光が供給するエネルギーは、現在利用可能なエネルギーの2850倍だ。土地1平方メートルあたりの平均日射量で、中東では年1800キロワット時を、ヨーロッパでは年1000キロワット時を発電できる。世界平均では、年1700キロワット時を十分にまかなえる。

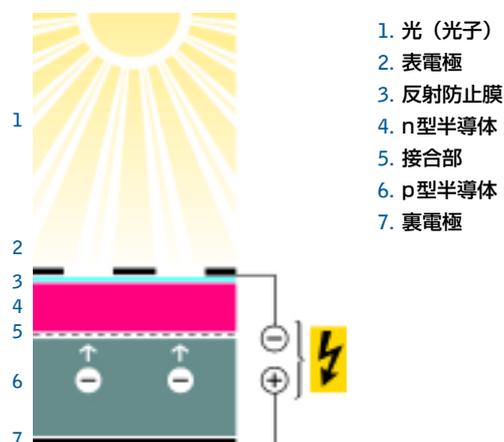
PV（光起電性）技術には、光エネルギーによる発電がある。この発電プロセスの鍵は半導体を使うことにある。半導体は負の電荷をもつ粒子、すなわち電子を発生させ、それが電気をつくりだすベースとなる。PVセルでもっとも一般的に用いられる半導体は、砂の主成分であるシリコンだ。いずれのPVセルも、正の電荷と負の電荷をもつ半導体を少なくとも2層に重ね合わせている。半導体に光が照射されると、2層の半導体の接合面に起電力が生まれ、電流が流れる。電流（発電）量は日射量に比例して変化する。したがって強い日差しは必要なく、曇天でも発電できる。太陽光発電は太陽熱温水システム（後述）とは違う。後者は太陽光線の熱エネルギーで水を温める技術で、多くは家庭の給湯や温水プールなどに利用されている。

太陽光発電システムでもっとも重要な部分はセルだ。セルを多数つなぎ合わせ、ひとつの集合体にしたものをモジュールといい、これが施工の基本単位となる。また利用状況によって、発電した電気を使用に適した状態にするインバータ（変換器）が用いられる。モジュールの性能は標準試験条件に照らして比較される。ある太陽光発電設備が定格出力3キロワットピークという場合、これは標準試験条件のもとでの最大出力を示す。中央ヨーロッパを例にとると、電力を浪費しなければ、面積約27平方メートル、定格出力3キロワットピークの太陽光発電設備で、一世帯分の電力需要を十分にまかなえる。

太陽光発電システムの方式

- **系統連系方式**：家庭用・事業用として先進国でもっとも普及しているシステム。地域の電力系統に連系しているため、余剰発電電力は電力会社に売り、日照時以外は電力を買うことができる。システムがつくる直流電力はインバータによって交流電力に変換され、通常の電気機器を動かすのに利用される。
- **バックアップ電源方式**：地域の電力系統への連系も、バックアップ蓄電池への接続も可能なシステム。蓄電池が充電されたあとにつくられた余剰電力は、電力会社に売電される。このシステムは電力供給が不安定な地域に最適である。
- **独立電源方式**：電力系統から完全に独立しているシステム。設備は充電コントローラを介して蓄電池につながっている。蓄電池はつくられた電気を蓄え、主要電源の役割を果たす。一般的な電気機器で使えるよう交流電力に変換するには、インバータを使う。このシステムの典型的な使用例は、携帯電話の中継基地や村落電化だ。後者には、無電化地域の基礎的な電力需要をカバーする住宅用小型システムや、数世帯に電力を供給する太陽光ミニグリッド（電力網）システムがある。
- **ハイブリッドシステム**：太陽光発電システムとバイオマス発電機、風力発電機、ディーゼル発電機といった他の電源を組み合わせ、電力の安定供給をはかるシステム。系統連系方式、独立電源方式、バックアップ電源方式がある。

図31 PVセルの構造



集光型太陽熱発電 (CSP)

集光型太陽熱発電 (CSP) プラントは、太陽熱発電プラントとも呼ばれる。発電原理は従来の発電所とあまり変わらない。違うのは太陽光エネルギーを利用する点だ。CSPは、大型の反射鏡を使って太陽光を一線または一点に集中させ、その熱で高温・高圧の蒸気をつくり、それでタービンをまわして発電する。日射の強い地域では、電力供給において間違いなく大きなシェアを担うようになるだろう。

このシステムは、主に集熱部分、受光部分、熱媒体あるいは蓄熱部分、そしてパワーコンバータから構成されている。他の自然エネルギー技術や在来型技術と組み合わせるなど、多様な方式が可能である。とりわけ有望な太陽熱技術は、以下の3つのタイプだ。

- **パラボリック・トラフ型**：桶（トラフ）のような形をした反射鏡で熱を線状に集め、その中心線に置かれたパイプ（集熱管）を加熱する。集熱管のなかは合成油などの液体が循環している。太陽光線によって約400℃に加熱された液体は、一連の熱交換器を通して超高温の蒸気を生産させる。蒸気は蒸気タービン発電機（従来型の蒸気タービン単体、あるいは蒸気と天然ガスの複合サイクルタービン）を介して電気エネルギーに変換される。
パラボリック・トラフ型は、太陽熱利用技術のなかでもっとも成熟した技術だ。南カルフォルニアでは出力354メガワットの設備容量をもつ同型設備が、1980年代から系統連系している。世界全体では、その設置面積は200万平方メートル以上になる。
- **中央タワー型**：中央タワーのまわりに環状に配列されたヘリオスタット（太陽の動きに追従して動く大型の反射鏡）を用いて、タワーの頂上に設置されたレシーバーへ太陽光を集める。集められた太陽輻射は熱媒体に吸収され、熱エネルギーに変換される。次に熱エネ

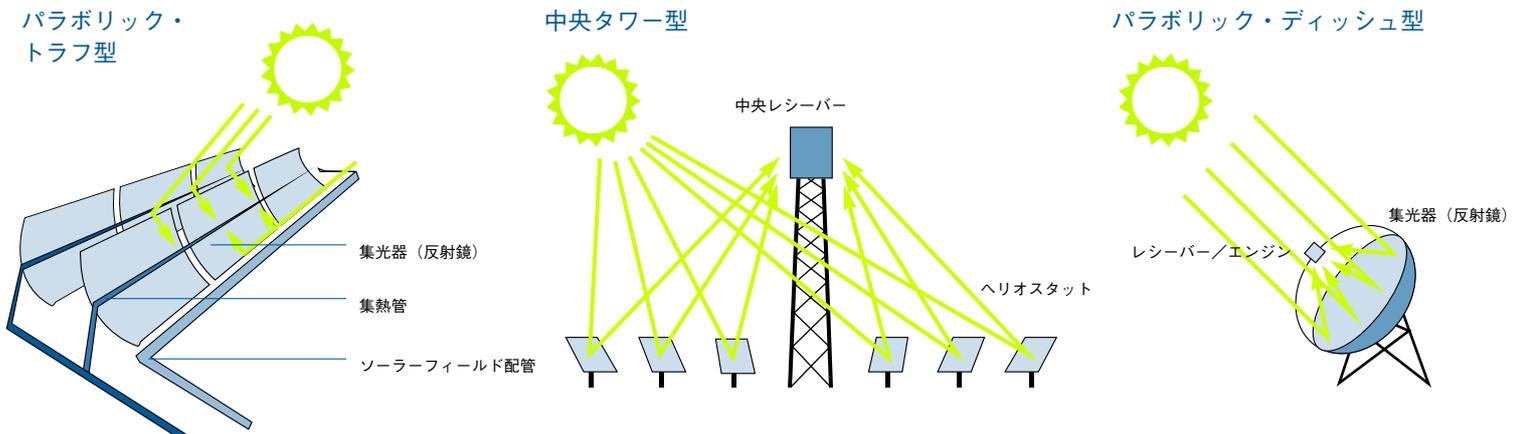
ルギーを使って超高温の蒸気をつくり、タービンをまわす。これまでに実証試験されている熱媒体としては、水／蒸気、熔融塩、液体ナトリウム、空気などがある。加圧ガスや空気を使い、熱媒体をおよそ1000℃かそれ以上に昇熱すると、天然ガスに代わってガスタービンをまわせるので、高効率（60%強）の最新式の蒸気／ガス複合サイクルを利用することができる。

タワー型太陽熱プラントは、出力30メガワットまで大型化している。開発にあたっている技術者たちが確信するように、将来は他のエネルギー源と組み合わせなくとも、出力200メガワットの同型プラントが系統連系できるだろう。電力蓄熱器を利用すれば日照時間に制限されなくなるので、柔軟性が高まる。パラボリック・トラフ型に比べ、商業化に時間がかかると考えられているが、変換効率が高いことから、長期的には有望である。スペイン、南アフリカ、オーストラリアで、同型のプロジェクトが進められている。

- **パラボリック・ディッシュ型**：皿の形をした反射鏡を使って、その焦点にあたる部分に位置するレシーバーに太陽光を集める。集められた光束の輻射はレシーバーに吸収され、液体またはガス（空気）を約750℃まで加熱する。次にこの熱で、レシーバーに取りつけられた小型ピストンやスターリングエンジン、あるいはマイクロ・タービンを動かし発電する。

ディッシュ型のポテンシャルは、主に分散型の電力供給や遠隔地での独立型電源としての利用だ。現在、アメリカ、オーストラリア、ヨーロッパで、同型のプロジェクトが進められている。

図32～34 パラボリック・トラフ型、中央タワー型、パラボリック・ディッシュ型の概要



太陽熱温水システム

太陽熱温水システムは、「太陽は暗色の容器中の水を温める」という何世紀も前から知られている原理にもとづいている。今日、市場に流通する太陽熱利用技術は、効率もよく信頼性も高い。家庭用の給湯、住宅や商業ビルの暖房から、温水プール、太陽熱駆動型冷房、工業工程での加熱源、飲料用の塩水淡水化にいたるまで、その応用範囲は広い。

家庭用給湯・暖房

もっとも一般的な応用例は、家庭用の給湯である。利用条件やシステムの形状にもよるが、大半の住宅で必要となる給湯量は、太陽エネルギーで供給できるだろう。大規模なシステムなら、給湯に加えて暖房に必要なエネルギーのかなりの部分が担えるだろう。主要な技術には次の2タイプがある。

- 真空管型**：真空のガラス管のなかに入っている集熱管が太陽輻射を吸収し、集熱管を通る液体を加熱する。さらに真空管の下に設けた反射板からの太陽輻射も利用する。真空管は円筒状なので、どの角度からの太陽光も集熱管に届く。曇天でも、太陽光が多くの角度から同時に入射すれば、真空管型集熱器は有効な働きをするだろう。
- 平板型**：これは基本的にガラス板に覆われた箱で、天窓のように屋根の上に据え付ける。内部には銅フィンがついた一連の銅管が並べられている。太陽光線を捉えやすいよう、全体が黒く塗装されている。太陽光によって加熱された水や不凍液が、集熱器と建物内の貯湯槽とのあいだを循環する。

太陽熱冷房

ソーラーチラーと呼ばれる機器は、太陽熱エネルギーを使って冷房または除湿、あるいはその両方をおこなうもので、その仕組みは冷蔵庫や従来型のエアコンと同じである。冷房需要は日照量に応じて高くなるので、この技術は太陽熱エネルギーの最適な応用だ。太陽熱による冷房は実証に成功しており、将来は大規模な利用が見込まれる。

図35 平板型太陽熱温水システム



風力発電

風力発電は過去20年間で、もっとも急速な成長を遂げたエネルギー源である。精巧な大量生産方式で製造されている今日の風力発電機は、高効率で費用対効果に優れ、設置も容易である。そのサイズは2～3キロワット程度から5000キロワットを上回るものまで幅広く、最大のもは高さ100メートルを超える。1基の大型タービンが生産できる電力は、およそ5000世帯分だ。現在の最高水準の技術を用いたウィンドファームは、数基だけの小規模なものもあれば、数十万キロワット級の大規模なものもある。

地球上の風力エネルギー賦存量は莫大で、五大陸全体に広く分布し、世界の総電力需要を上回る量の電力を生産できる。風力発電機は風が強い沿岸地域だけでなく、東ヨーロッパや南北アメリカの内陸部、中央アジアなど、海岸線のない地域でも運転可能である。洋上の風力賦存量は陸上にまさることから、海底に基礎を埋め込んだ洋上ウィンドパークの建設が期待されている。デンマークでは2002年、80基が並ぶウィンドパークが完成し、その発電量は人口15万人の都市の電力需要を十分にまかなえる。

電気へのアクセスがない地域では、他に選択肢がない場合、小型風力発電機が効率的だ。発電された電力は直接使用するか、あるいはバッテリーに蓄電することもできる。また、人口が密集する都市部でも風力を利用できるよう、建物に設置できる新タイプの風力発電機が開発されている。

風力発電機的设计

風力発電機的设计は1980年代以降、いくつかのタイプに収束されてきた。現在、商業用の風力発電機の主流は、水平軸のまわりに均等に配置された3枚の羽根（ブレード）で運転するタイプだ。回転エネルギーは、羽根のローター軸から増速機を介して発電機へと伝達される。増速機と発電機はナセルと呼ばれる箱に収納されている。増速機を使わず、ローターを発電機に直結する（直接駆動）方式もある。発電された電力は、タワーを下って変圧器へ送られ、最終的に地域の電力系統に連系する。

風力発電機が運転できる風速は、毎秒3～4メートルから約25メートルまでである。強風時の出力を制限するには、失速による出力低下を利用する「ストール制御」と、ブレードの風に対する角度を変えて抵抗をなくす「ピッチ制御」があり、後者がよく用いられている。ブレードの回転には固定速と可変速がある。可変速方式は、タービンが風速の変化にうまく対応して運転できるようにしてある。

風力発電の今後の技術課題は以下のとおり。

- 風況の強い場所・弱い場所のいずれでも高い発電効率
- 系統連系への適合性
- 低騒音化
- 空力性能の向上
- 景観への影響
- 洋上風力発電の拡大



既設の洋上風力発電の設備容量は、陸上に設置された風力発電の0.4%にすぎないものの、この新たに登場した可能性が近年、風力発電の技術革新の中心的な牽引役となっている。洋上用は大型になるので、開発の焦点は大型機の効果的な製造だ。最新の風力発電機技術は、高風速でも低風速でも、また灼熱の地でも極寒の地でも利用可能である。ヨーロッパのウィンドファームの稼働率は高く、おおむね環境に適合しており、社会からも受け入れられている。風力発電機のサイズは、大方の予想では生産量が最大となる中型機にとどまるだろうと見られていた。実際、大型化には限りがある。ところがサイズは年々大きくなっていき、1980年代、カルフォルニアの風力発電の出力が20～60キロワットだったのが、最新機はローターの回転直径が100メートルを超える数千キロワット級まで大型化している。2005年に世界で設置されたタービンの平均出力は1282キロワット。運転中の最大機はエネルギーE112で、出力は6000キロワットにのぼる。これは洋上風力発電開発がめざしているサイズである。

こうした風力発電機の大型化は、市場やメーカーの拡大と同調している。現在、8万基を超える風力発電機が世界50カ国以上で運転中だ。最大市場はドイツだが、スペイン、デンマーク、インド、米国においても成長著しい。

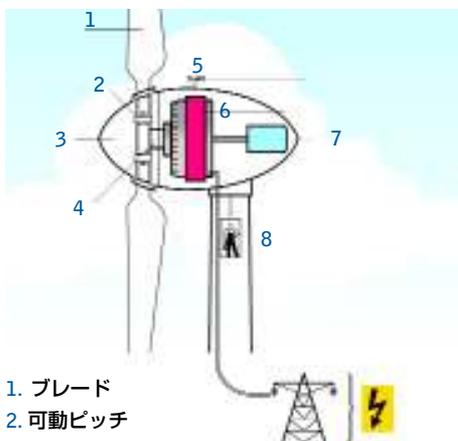
バイオマス・エネルギー

バイオマスとは、広義にはエネルギー源として利用可能な生物由来の資源（化石資源を除く）をさす。バイオマスには、木材、作物、藻類、その他の植物や、農林業の残渣などがあり、暖房、発電、運輸燃料をはじめ、さまざまな最終用途に利用可能である。「バイオエネルギー」とは、バイオマスから熱あるいは電力、またはその両方を生産するためのエネルギーシステム、および輸送用の液体燃料として使用される「バイオ燃料」の総称である。バイオディーゼルはいろいろな作物から製造可能で、石油価格が上昇するにつれ、とくに自動車用燃料としての利用が増えている。

生物由来の動力源は再生可能であり、貯蔵しやすい。そのうえ持続可能な方法で収穫されるなら、有用エネルギーへの転換過程における二酸化炭素排出量が植物の成長時の吸収量とバランスが保たれるので、カーボンニュートラルとなる。

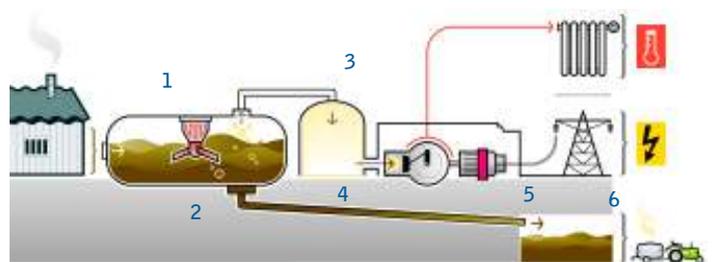
バイオマス発電は、燃料を燃焼前に加工する必要がある点を除けば、その仕組みは天然ガスや石炭の火力発電所とまったく同じである。一般的に石炭火力発電所より小規模だが、それは供給する燃料をなるべくプラントの近くで入手する必要があるためだ。バイオマス発電プラントは、バイオマス・コジェネレーション（熱電併給）プラントにすれば、発生熱を近隣の住居や事業所へ配管で搬送したり、あるいは局所的な熱供給システムに利用できる。廃材や端材からつくられる木質ペレットは、天然ガスや石油の代わりに、たとえば一戸建て住居の暖房や給湯に利用できる。

図36 風力発電機（水平軸型）の概要



1. ブレード
2. 可動ピッチ
3. ナセル
4. ローター軸
5. 風向・風速計
6. 発電機
7. 制御装置
8. 昇降装置

図37 バイオマス技術の一例



1. 加熱混合槽
2. 発酵槽
3. バイオガス貯留槽
4. 燃焼機関
5. 発電機
6. 発酵残渣処理槽

バイオマス技術

バイオマスのエネルギー変換技術は多岐にわたるが、熱変換法と生物化学的変換法に大別できる。前者はバイオマスを熱分解やガス化を経由して固体、液体、気体にし、直接燃焼する。後者は、嫌気消化や発酵といったプロセスにより、固体バイオマスを液体または気体に分解したうえで燃料として利用する。

熱変換法

●**直接燃焼**：バイオマスをエネルギーへ変換する技術のなかで、もっとも一般的なのが直接燃焼である。熱利用と発電としての利用では、世界全体で9割以上をこの技術が占める。燃焼炉には、固定床式、流動床式、噴流床式がある。固定床式は、グレイト式のように火格子の下から空気が入り^{*}、床の上に投入されたバイオマス燃料を乾燥、ガス化、炭化して燃やす。これによって生成された可燃性ガスは通常、別の区域に送られ、そこでまた燃やされる。流動床式は、燃焼炉の底部から空気を吹き込んで炉内を沸騰した液体のようにし、粒子や気泡を高速で旋回させる。噴流床式は、燃焼炉内に微粉体燃料を高圧空気とともに投入する。木屑やおが屑のように粉碎できる燃料に適した技術。

※訳注：上向通風と下向通風がある

- ガス化**：従来型技術より超高効率なガス化システムをはじめ、先進的なエネルギー変換技術においてバイオマス燃料の利用が増えている。ガス化とは、バイオマスを低酸素または無酸素状態で高温にし、低発熱量ガスを生成する熱化学プロセスである。生成ガスは、発電用のガスタービンや燃焼機関を駆動させる燃料として用いられる。また、直接燃焼と蒸気サイクルによる動力生産に比べ、排ガスを低減することもできる。
- 熱分解**：空気を断った高温状態にバイオマスを置いて熱分解するプロセス。熱分解によって気体（バイオガス）、液体（バイオオイル）、固体（チャー）が生成される。その比率は燃料の特性、熱分解の方法、そして温度や圧力といった反応パラメータによって変わり、温度が低下するにつれ固体状・液体状の生成物が増え、上昇するにつれバイオガスが増える。

生物化学的変換法

食品廃棄物や農業廃棄物、スラリなど、含水率の高いバイオマス原料に適したプロセス。

- 嫌気性消化**：嫌気性消化とは、無酸素環境下で細菌が有機廃棄物を分解することをいう。このプロセスで発生する典型的なバイオガスは、メタン65%、二酸化炭素35%からなる。この精製ガスは、熱供給や発電に利用することができる。
- 発酵**：発酵とは、糖質の含有率が高い植物を微生物の働きによって分解し、エタノールとメタノールを生成する過程のこと。最終生成物は乗り物の燃焼燃料として利用できる。

バイオマス発電所は普通、最大でも出力15メガワットだが、投入燃料の一部に微粉炭などの化石燃料を混ぜれば出力400メガワットの大型プラントも可能である。バイオマス燃料を使った世界最大のプラントは、フィンランドのピエタルサーリにある。2001年に設置されたこの工業用コジェネレーションプラントは、蒸気（熱出力100メガワット）と電力（電気出力240メガワット）を地元の林業用に生産するとともに、近くの町に熱を供給している。ボイラは循環流動床式で、燃料に樹皮、木屑、残端材、工業用バイオ燃料、ピート（泥炭）を使って蒸気を生産するように設計されている。

グリーンピース・オランダ委託による報告書（2005年）は、残端材からつくった木質ペレットを燃料に使う出力1000メガワットの流動床式バイオマス火力発電プラントが、技術的に実現可能だと結論づけている¹⁶。

参照

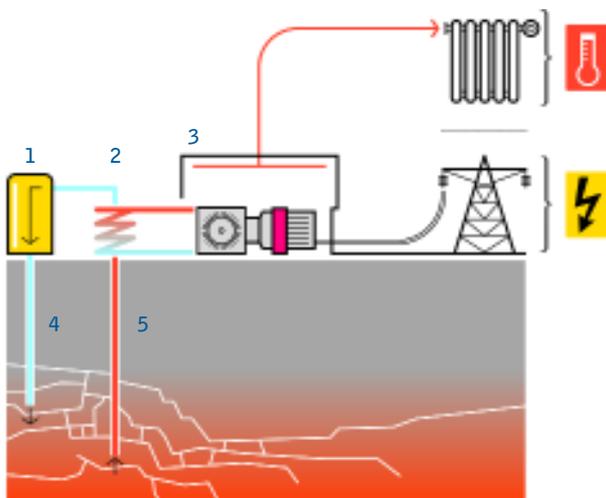
16) OPPORTUNITIES FOR 1,000 MWE BIOMASS-FIRED POWER PLANT IN THE NETHERLANDS*, GREENPEACE NETHERLANDS, MARCH 2005

地熱エネルギー

地熱エネルギーは地球の地殻深くから発生する熱である。たいていの地域では、熱は地表面に達するまでにほとんど拡散してしまう。しかし米国西部、東ヨーロッパ中央部、西ヨーロッパ、アイスランド、アジア、ニュージーランドなどでは、その地質構造により、地表面の比較的浅いところに地熱資源が溜まっている。それらは低温（90℃以下）、中温（90～150℃）、高温（150℃以上）に分けられ、温度によって利用方法が違ってくる。高温はもっぱら発電に使われる。現在、世界の地熱発電設備容量の合計はおよそ8000メガワットだ。低・中温度の利用は、直接利用とヒートポンプに分けられる。

地熱発電所は、地下に生成された天然の熱を使って水または有機媒体を蒸気にし、その蒸気でタービンを駆動させて発電する。ニュージーランドやアイスランドでは、何十年も前からこの技術が広く利用されてきた。ドイツでは、かなりの深度まで掘削しないと利用可能な温度に達しないため、地熱発電は試験的な段階でしかない。熱プラントは高温を必要とせず、温水が直接利用される。

図38 地熱発電技術の一例



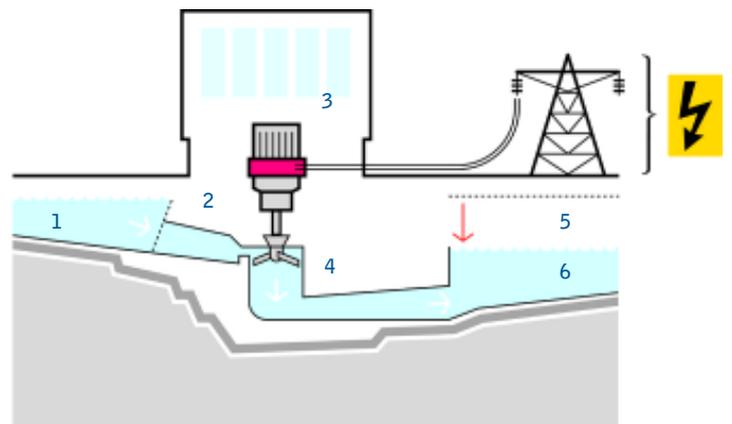
1. ポンプ
2. 熱交換器
3. タービン・発電機
4. 還元井
5. 蒸気井

水力

水が発電に利用されるようになってから、ほぼ一世紀がたった。今日、世界の電力のおよそ5分の1が水力で発電されている。しかし、コンクリート製のダムや広大な貯水湖を必要とする大型水力発電所は、居住可能な土地を水没させるなど、しばしば環境に悪影響をおよぼし、持続可能な技術とはいえない。小型の「流れ込み式」発電所は、河川を流れる水の一部をそのまま使ってタービンを駆動するため、環境を損なわずに発電することができる。

水力発電の主な要件は、人工的に水頭をつくり、そこから水が導水路または導水管でタービンまで運ばれ、再び川へと流れるようにすることだ。小型水力発電はたいてい「流れ込み式」なので、大量の水を貯めるための大型ダムや貯水湖を建設する必要はない。タービンはペルトン式に代表されるインパルス（衝撃）型と、フランシス式とカプラン式に代表される反動型に大別できる。衝撃型は、羽根に向けられて噴射されたジェット水が、流れを反対に転回させることで、水から運動エネルギーを取り出すように設計されている。この技術は水頭の位置は高いが、流量が少ない場合に適している。反動型は、水に満たされた状態で運転し、流体力学という「揚力」を発生させ、その反動で羽根車を駆動させる。これは水頭の位置が比較的低く、流量が中程度から大きい場合に適している。

図39 水力発電技術の一例



1. 導水路
2. スクリーン
3. 発電機
4. タービン
5. 水頭
6. 放水路

海洋エネルギー

潮汐力

潮の干満の差が少なくとも5メートルある河口または湾口をダムやバラージ（堰）で仕切ること、潮汐力は動力として利用できる。満ち潮のときは、堰の水門を開放して海水を内側に導入して蓄え、その後、水門を閉鎖する。潮が引きはじめると、海水は導水路を通過してタービンへと運ばれ、発電する。潮流バラージは、フランス、カナダ、中国でいくつかの河口に設置されている。しかし、この技術はコスト低下の見込みが小さく、また河口に生息する生物におよぼす影響など、環境面での問題ともあいまって、あまり普及していない。

波力および潮流力

波力発電は、寄せ波と構造物の相互作用により、波エネルギーを水流、空気流、あるいは機械的エネルギーとして取り出し、電気に変換する。構造物を係留する浮体式と、海底床や沿岸に直接設置する固定式がある。電気は柔軟性のあるケーブルで海底へ、それから海中ケーブルを伝わって陸上へと送られる。

波力変換装置は、100～500キロワットの小型発電機ユニット群で構成することもできるし、波エネルギーを機械的エネルギーあるいは水流エネルギーにする装置を相互連結したモジュール形式なら、出力2000～2万キロワットの大型タービンを駆動させることもできる。この技術の費用対効果を良くするには波が高いほうが有利だが、そうした波は沿岸から遠く離れたところで発生するため、海中ケーブルの敷設コストが高くなる。変換装置もまた、かなりのスペースを占める。波力発電の利点は、風力発電に比べて供給量が予測しやすいこと、そして視界をあまり邪魔しない海洋に設置できることだ。

いまのところ、波力変換技術の商業化で大きくリードしているものはない。さまざまな技術のプロトタイプ（原型）が海洋に設置され、試験運転中である。ハワイでは出力50キロワットの浮遊ブイ型波力発電装置パワーブイが、スコットランドでは半潜水型で円筒形をした同750キロワットの波力発電装置ペラムスを数珠繋ぎにしたものが、イングランド南西部では同300キロワットの水中潮流タービンが、スコットランドのアイラ島では、やはり潮流を利用する海底据付式の発電装置スティンレイと、同500キロワットの波力発電機が海岸線で運転中である。これら波力・潮流発電技術の大半は英国で開発されてきた。

エネルギー効率の向上

エネルギー効率の向上は多くの場合、複合的効果を生む。たとえば高効率の洗濯機や食器洗浄機は、節電だけでなく節水にもなる。また、一般に快適性も増す。たとえば高断熱住宅は、冬はより暖かく、夏はより涼しく感じられ、より健康的な生活を送れるだろう。エネルギー消費効率に優れた冷蔵庫は、低騒音で、内側に霜がついたり外側が結露したりせず、おそらく長持ちするだろう。照明効率を高めれば、適光適所の明るさが得られるだろう。エネルギー効率の向上とは、まさに「ロス少なくて効多し」である。

エネルギー効率向上のポテンシャルはきわめて大きい。家庭でできる簡単な方法としては、屋根の断熱材を増やしたり、窓に高断熱ガラスを使ったり、古い洗濯機を買い換えるなら省エネ型にしったりといった例がある。いずれの場合もエネルギーを節約し、かつ経済的でもある。しかしこれらは付加的な対策であり、省エネのポテンシャルを最大限に追求するには、対象物全体——たとえば「家丸ごと」、あるいは「車丸ごと」、さらには「運輸システム全体」——を見直さなければ、本質的な効果は見込めない。こうした見直しをやってみると、エネルギーは現在の必要量の、なんと4倍から10倍も削減できることが多いのである。

家を例にとり、建物の外殻全体（屋根から地下室まで）に適切な断熱を施すとしよう。費用は余計にかかるものの、暖房需要が低減されるため、暖房設備への投資を節約できるだろう。これにより、断熱にかかった費用は回収しうる。結果として、断熱を取り入れるだけで、住まいは3割程度のエネルギーしか必要としなくなる。断熱を強化し、換気効率を高めれば、暖房需要は10分の1になる。これは未来の夢の家の話ではない。現にヨーロッパでは、こうした超高効率住宅が順調に伸びており、この10年ほどのあいだに何千戸も建設されている。

次にオフィス为例にとろう。あなたが、あるオフィスの責任者だとする。暑い夏のあいだはスタッフの生産性が下がらないよう、エアコンを使って冷気を送り出す。しかし光熱費があまりにかさむため、優秀なエンジニアに空調効率の向上を依頼しようと考えている。さて、ここで一歩下がり、システム全体を眺めてみよう。建物が太陽熱にさらされてオープンさながらの状態になるのを防ぐ工夫をし、次にオフィスで使うコンピュータやコピー機をエネルギー効率が良いものに、そして照明も電力消費と発熱が少ないタイプに変えてみる。さらに、夜間換気などのパッシブ冷房システムを導入する。おそらくあなたは、もう空調設備はいらないと思うに違いない。そもそも、建物がはじめから省エネタイプに設計・建設されていたなら、エアコンを購入することもなかっただろう。



電力

節電のポテンシャルは大きく、それも比較的短期間で達成しうる。どこの家庭でも、単に待機電力のスイッチを切り、省エネ型の電球に変えるだけで、お金と電気を節約できる。大多数の世帯がこれを実行したなら、いくつかの大型発電プラントの運転をいまずぐ停止できるくらいだ。工場や家庭でできる中期的対策の一例を表13に示す。

表13 節電ポテンシャルの一例

部門	効率化対策	節電率
産業	モーターシステムの効率向上	30～40%
	アルミのリサイクル率向上	35～45%
その他	家庭用電気機器の高効率化	30～80%
	事務機器の高効率化	50～75%
	冷房システムの高効率化	30～60%
	照明の高効率化	30～50%
	待機電力のロス低減	50～70%
	営業時間外の節電	～90%

出所：ECOFYS 2006, GLOBAL ENERGY DEMAND SCENARIOS

暖房

建物からの熱損失は、断熱・保熱工法によって劇的に減らすことができる。それは気候変動を抑止する一助にもなるだろう。断熱・保熱技術は広く普及しており、競争力もある。こうした技術を用いて既設の建物を改修すれば、暖房のエネルギー需要は平均30～50%低減できる。新築なら90～95%も減らすことができる。

建物から損失される熱は、サーモグラフィ写真によって簡単に観測できる。サーモグラフィ・カメラは肉眼では感知できない現象を可視化してくれる。下記の写真を参照されたい。黄色や赤色で表されているところは、建物の表面温度が他より高い部分で、断熱材の隙間やムラから熱が漏れ出し、価値あるエネルギーが失われていることを示す。このエネルギーの無駄使いは環境に対してだけでなく、建物の住人やテナントにとっても余計な光熱費という損害を与えている。建物で断熱性能が低くなる部分は、窓ガラス、窓枠、そして窓の下の薄い壁だ。ここにはたいてい輻射暖房機が設置されるので、最大の断熱が必要な場所である。

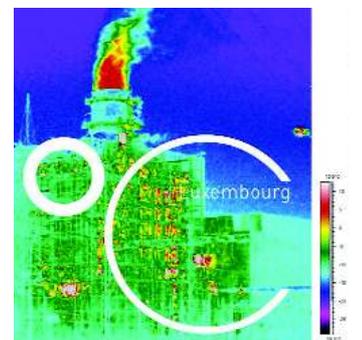
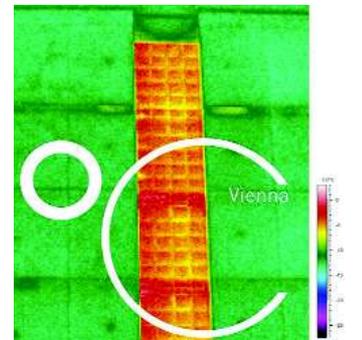


写真1：オーストリア・ウィーンの集合住宅。窓からだけでなく、構造物のヒートブリッジ（熱橋）からも熱エネルギーが損失している。

写真2：ルクセンブルグのガス火力発電所。排ガスのブルームは通常、肉眼では見えない。サーモグラムが煙突から漏出するエネルギーを表している。

エネルギー[r]eボリューションにおけるエネルギー効率

この報告書では、2050年までにエネルギー需要を低減させるため、さまざまなオプションを検討してきた。分析は現時点における最高水準の技術に焦点を当てている。本シナリオでは、エネルギー効率の分野では今後も技術革新が続き、改良が重ねられていくと想定している。表14は、産業、運輸、家庭・サービスの3部門において本シナリオが適用した効率化技術である。そのいくつかについて説明を加える。

表14 エネルギー効率化対策の一例

部門	対策
産業	
全般	高効率モータシステム
全般	熱の有効利用／ピンチテクノロジー解析
全般	プロセス制御の向上
アルミニウム	二次アルミニウムの製造拡大
鉄・鉄鋼	高炉一微粉炭吹き込み炉
鉄・鉄鋼	酸素吹き込み炉（BOF）ガス十熱回収
鉄・鉄鋼	薄スラブ鋳造
化学工業	膜分離プロセス
運輸	
乗用車	高効率乗用車（ハイブリッド燃料）
貨物車	高効率貨物車
バス	高効率バス
その他	
家庭・サービス	高効率電化製品
サービス	高効率冷房装置
家庭・サービス	高効率照明
家庭・サービス	待機時ロスの削減
家庭・サービス	断熱強化
サービス	営業時間外の節電
農業、その他	エネルギー効率の向上

産業部門

産業部門によって消費される電力のおよそ65%は、電動モーターシステムの駆動に使われる。電力は、可変速駆動装置や高効率のモーターを導入したり、効率のよいポンプ、コンプレッサー、ファンを利用したりすることで削減できる。節電ポテンシャルは40%にのぼる。

一次アルミニウムをアルミナ（その原料はボーキサイト）から製造する工程は、きわめてエネルギー集約的である。まず水晶石電解浴にアルミナを溶かす。そこに直流電流を流して電気分解し、アルミニウムに還元する。他にアルミスクラップのリサイクルからも製造でき、これは二次合金と呼ばれる。二次アルミニウムは、電気化学的な還元プロセスではなく地金を再び溶かしてつくるので、エネルギー需要は一次生産の5～10%ですむ。アルミニウムのリサイクル率が、2005年の22%から2050年に60%まで伸びれば、電力消費量は現在より45%節約できるだろう。

運輸部門

ハイブリッド車（電動機／内燃機関）の利用とその他の効率化対策によって、2050年には乗用車のエネルギー消費量を最大80%減らせるだろう。

家庭・サービス部門

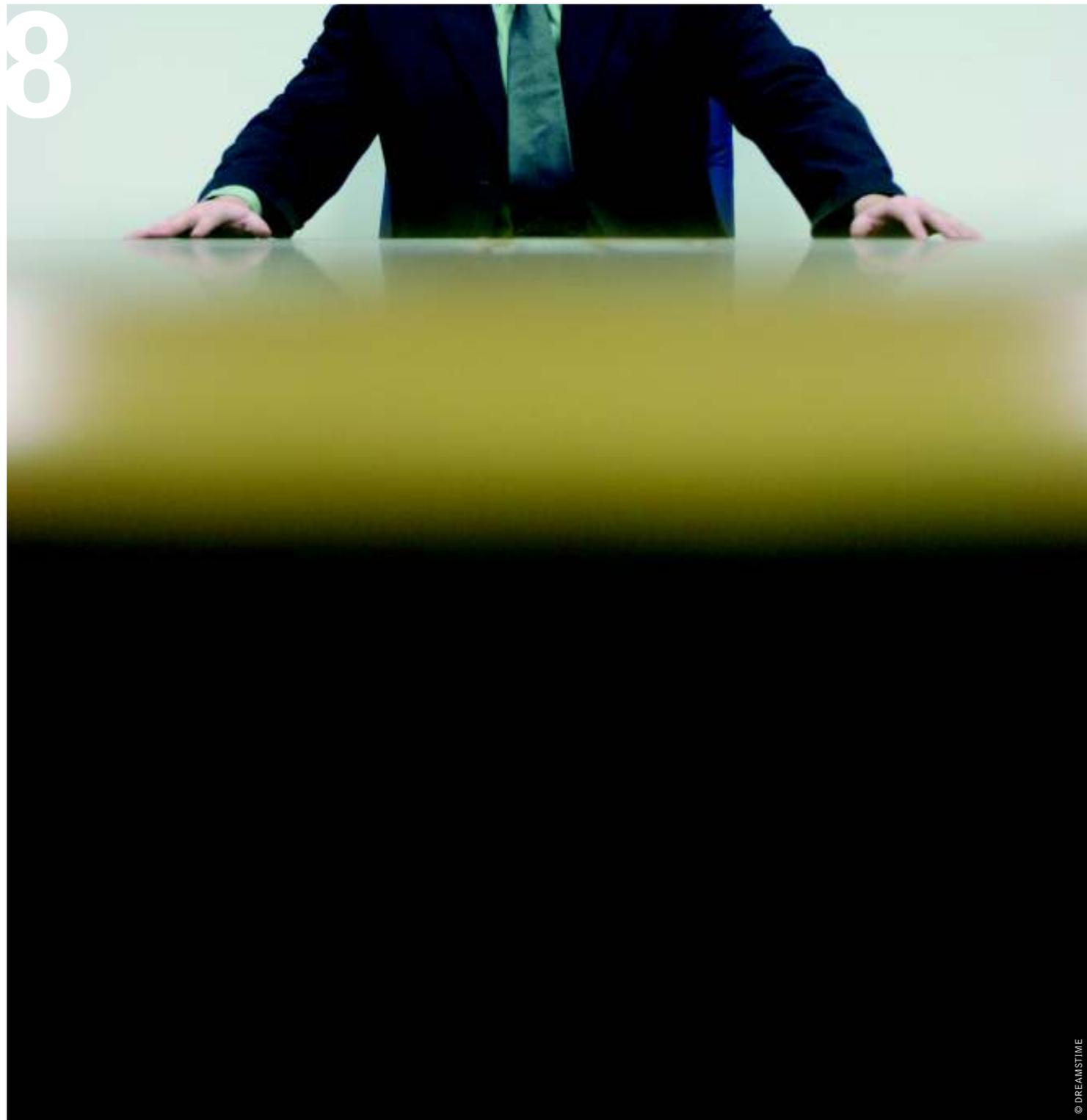
洗濯機、食器洗浄機、テレビ、冷蔵庫といった家電製品のエネルギー消費量は、商品化されている最良の製品を使えば30%、先進的な高性能技術であれば80%減らせるだろう。事務機器によるエネルギー消費量は、電力使用管理とコンピュータシステムによる制御を組み合わせることで、50～75%減らせるだろう。

OECD諸国では、家庭で消費される電力の平均5～13%が、電化製品の待機時に消費されている。現行の電化製品をロスが最小のものに換えることで、待機時の電力消費量は70%削減されるだろう。

省エネ設計と効果的な断熱により、建物の平均的な暖房需要は最大80%節約できるだろう。

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」



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。

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、長く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。

自然エネルギーは、その大きなポテンシャルが解放され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。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）、欧州太陽熱発電産業協会、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年までの成長見通しを報告書にまとめている¹⁷。

参照

17) SOLAR GENERATION (EPIA), CONCENTRATED SOLAR THERMAL POWER - NOW!
(GREENPEACE), WINDFORCE 12 (EWEA), GLOBAL WIND ENERGY OUTLOOK 2006,
GWEC



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¹⁸と推定され、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。2001年、イタリアで開催されたG8において、自然エネルギー・タスクフォースは、「少なからぬ（補助金）のフローを見直し、そのほんの一部でも自然エネルギーに交付するようになれば、社会的・環境的成本を価格に反映させ、新たな社会的目標に一貫性をもたせる契機となる」とし、次のように勧告している。「G8各国は、自然エネルギー技術がより公平かつ公正な市場で競争できるよう、環境に有害なエネルギー技術に対する奨励策と支援策の廃止に向けた措置をとり、外部コストを取り入れた市場ベースのメカニズムを構築し実施すべきである」。

自然エネルギーが特別に取り上げられたのは、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。

エネルギー市場における現在の歪みを排除、あるいは調整するには何をなすべきか、以下に詳しく述べる。

1. 「歪み」の除去

エネルギー生産によって社会がこうむる全コストを価格に反映する仕組みが、市場には存在しない。これが、自然エネルギーがそのポテンシャルを十分に発揮できない主な障壁となっている。発電事業の特徴は、過去一世紀以上にわたり国家の独占事業であったことだ。生産設備容量の増強は国策であり、税金または電気料金、あるいはその両方が投入されてきた。このような措置は、多くの国々が電力市場の自由化をさらに進展させようとしているなか、風力をはじめとする新しい発電技術に対しては、もはや適応されえない。そのため、既存技術と比べて新技術は競争面で不利となる。この状況に対策を講じる必要がある。

社会的・環境的成本の内部化

在来型エネルギーの生産コストには、健康被害、水銀汚染や酸性雨をはじめとする局所的・地域的な環境悪化、気候変動による地球規模の影響などのコストが含まれていない。それらのコストは社会が支払っている。こうした隠れたコストの代表例が、原子力災害保険である。原子力による被害は、原子力発電事業者が負担するには巨額すぎるという理由で免責されている。たとえば米国のプライス＝アンダーソン法は、国内の事故に際し、一基あたり9800万ドル、または一基あたり年間わずか1500万ドルを保障の上限とし、残りは業界のプールから最大100億ドル、あとは納税者が負担すると規定している¹⁹。環境に対する損害は、汚染者が第一次の負担者でなければならない。これをエネルギー生産にあてはめると、次のように言い換えられよう。すなわち、エネルギー生産は原則として汚染を発生させてはならず、したがってその予防についてはエネルギー生産者に責任がある。汚染を引き起こした場合、それによって社会全体がこうむった損害と同額を、生産者は支払うべきだ。しかし、発電による環境への影響を定量化するのは難しいかもしれない。極地の氷が溶け、その結果として南太平洋の島民たちが故郷を失った場合、あるいは温暖化によって健康や人命が奪われた場合、その額をどう見積もればいいのか。

欧州委員会委託の意欲的なプロジェクト『ExternE』は、環境コストを含む真の発電コストの定量化に取り組んできた。それによると、環境と健康に対する損害という形で外部コストを計算し、それを発電コストに計上すると、石炭あるいは石油による発電コストは2倍に、ガスは3割増しになると見積もられる。これらの環境に与える外部コストが、そのインパクトに応じて発電事業者に課税されるようになると、多くの自然エネルギー源はどんな支援も必要となくなるだろう。同時に、化石燃料と原子力に対する直接的・間接的な補助金が撤廃されれば、自然エネルギー発電に対する優遇策は大幅に縮小されるか、無用となるだろう。

参照

18) UNDP REPORT

19) [HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/PRICE-ANDERSON NUCLEAR INDUSTRIES INDEMNITY ACT](http://en.wikipedia.org/wiki/Price-Anderson_Nuclear_Industries_Indemnity_Act)

「汚染者負担」原則の導入

他の補助金も同じだが、市場が真に競争的であるためには、エネルギー価格に外部コストが織り込まなければならない。そのためには、排出者に応分の負担を課す「汚染者負担」原則の適用、あるいは非排出者に適切な補償を適用することが政府に求められる。より公正な競争を世界の電力市場で実現するうえで不可欠なのは、発電源に汚染者負担税を課すことだ。さもなければ、それと同額を自然エネルギーに補償するか、自然エネルギーを環境関連のエネルギー税の対象から外すことである。

2. 電力市場改革

自然エネルギー技術は、他のエネルギー源と同程度に研究開発費と補助金が割り当てられ、そして電力価格に外部コストが反映されていれば、とくに市場競争力を獲得していただろう。市場が新しい自然エネルギー技術を本格的に受け入れるようになるには、次にあげるような電力部門の抜本的な改革が必要である。

電力事業の参入規制の撤廃

多くの国々において自然エネルギー事業が直面するもっとも厄介な障壁のひとつは、複雑な許認可手続きと官僚的なハードルである。すべての所管官庁は、事業認可のプロセスを透明にし、そのうえで自然エネルギー事業を優先すべきだ。それには、政府は許認可手続きにかかわるガイドラインを明確に定め、自然エネルギーを促進するための法制を強化し、同事業の許認可手続きの合理化をはからなければならない。

OECD諸国の多くでは、短期的・長期的な電力余剰が自然エネルギーの導入を阻む大きな障壁となっている。というのも、自然エネルギー発電設備を新設し、その減価償却に資金を費やすより、既設発電所で石炭や天然ガスを限界費用で燃やすほうが安くつくからだ。そのため、新式の火力発電プラントと十分に競合できる技術が存在しても、なかなか導入されないのである。状況が新規設備へ投資したほうが有利になるまでは、自然エネルギーが公正に競争できるような支援策が要るだろう。

その他の障壁としては、自然エネルギー導入促進のための国・地域・地方レベルでの長期計画の欠如、電源計画の欠如、送電網の整備と運営の欠如、市場の透明性と安定性の欠如、長期的な研究・開発資金の欠如、水力発電を規制する枠組みの欠如、そして系列企業による送電網の占有などがある。

より具体的には、たとえば洋上風力発電所や集光型太陽熱発電所(CSP)といった大規模な自然エネルギー設備に対する送電網は、まったく整備されていないし、陸上でも自然エネルギー源に対する送電網は限られているか、存在しない。電力会社は分散型発電システムの経済的メリットに対する認識に欠け、系統連系にあたっては自然エネルギーの特性にそぐわない不利な条件を課す。

こうした自然エネルギーに対する市場の障壁をなくすには、以下のような改革が必要である。

- 設置計画手続きおよび許認可システムの円滑な流れと統一化、統合ネットワーク計画*

※訳注：需要と供給の両面を見て、環境面も含めて最小コストとなるネットワーク利用の統合的な計画

- 公正かつ透明な価格による系統連系の公平化、自然エネルギーに不利な接続条件と配電料金の是正
- 分散型発電の利点に対する認識の向上と、奨励策をとる公正かつ透明な価格設定
- 電力会社を発電会社と送配電会社に分割
- 送電網整備・増強コストの負担は、個別の自然エネルギー事業者ではなく、送電網管理事業者が負担し、利用者全体で負担
- 発電燃料構成の表示義務化、各燃料が環境へ与える影響についての情報開示
- 最終消費者による電源選択の自由化

送電網への優先接続

送電網への接続、送電、および費用分担に関する規則は、概して適正を欠いている。なかでも費用分担と送電料金については、もっと明確な規定が必要だ。そして、自然エネルギー発電事業者には送電網への優先接続が保証されるべきである。自然エネルギーが有する環境メリットは公共財であるのに対し、送電線の運営は自然独占である。したがって、送電網の拡張あるいは強化が必要な場合、そのコストは送電網管理事業者が負担したうえで、すべての電力消費者によって分担されるべきである。

自然エネルギー普及のための支援メカニズム

ここでは自然エネルギーを普及させるための支援メカニズムと、その運用実績について概要を述べる。電力市場の欠陥を是正するうえで、普及支援は次善策でしかない。しかし、最善策である「汚染者負担」原則は短期間には適用されえないので、政治がとるべき現実的な施策は支援メカニズムとなる。

自然エネルギー電力の導入を促す奨励策は、「固定価格制度」と「固定枠制度」に大別できる。熱利用についての奨励策もあるが、残念ながら電力利用に比べて実績はまだ浅い。「固定価格制度」は、自然エネルギーで発電された電力の買取価格(またはプレミアム)を政府が定め、導入量については市場に任せるといふもの。「固定枠制度」(米国では「再生可能エネルギー・ポートフォリオ基準」と呼ばれる)は、自然エネルギーで発電された電力の導入割合を政府が定め、価格決定は市場に委ねる。既存の電力事業者は環境コストを負担していないし、その設備は減価償却がすすんでいたり、補助金が支払われたりしている。これらの影響から市場を保護するのが支援制度である。その狙いは、自然エネルギーの技術向上とコスト低下を促すことで、在来型電力源と競合できるようにすることにある。

価格ベースと割当ベースとの主要な違いは、後者が電力事業者間に



競争を取り入れようとしている点だ。しかし電力生産コストの低下をもたらす最大のファクターは、メーカー間の技術競争であり、それは政府が買取価格を定めようが、導入割当を定めようが、いつでも存在する。現在、ヨーロッパの風力発電事業者に支払われている価格は、固定枠制を導入した国々（英国、ベルギー、イタリア）の方が、固定価格（あるいはプレミアム価格）制を導入した国々（ドイツ、スペイン、デンマーク）よりも高い。

固定価格制度

固定価格制度には、投資補助金、固定価格買取制、固定プレミアム制、優遇税制などがある。

投資補助金は普通、発電設備の定格電力（キロワット）に応じて支払われる資金援助をさす。これは一般的に、出力ではなく設置設備の規模に対する支援であることから、効果的な技術開発にはつながらない。そのため世界の趨勢ではないが、他のインセンティブと組み合わせれば効果を生じうる。

固定価格買取制（Fixed Feed-in Tariffs : FIT）は、ヨーロッパで広く採用されている制度。ドイツ、スペイン、デンマークなどで風力発電の拡大に著しい成果をあげ、その効果は実証済みである。FITでは、発電事業者が送電網に供給する電力（キロワット時毎）は固定価格で買い取られる。ドイツではそれぞれの技術の相対的な成熟度に応じて買取価格を設定し、その後、技術進歩によるコスト低下を反映して、価格は前年より引き下げられていく。この制度にともなう追加費用は、電力消費者あるいは納税者が負担する。

主なメリットは、運営がシンプルなこと、そして計画をたてやすいことだ。FITは正式な電力購入契約とは別だが、通例、配電事業者は自然エネルギーで発電された電力をすべて買い取ることが義務づけられている。ドイツでは、固定価格での買い上げを20年間保証することで、政治による制度変更のリスクを小さくしている。主なデメリットは、買取価格にエネルギー生産コストの変動を反映させるのが、上げるにせよ下げるにせよ容易ではないことだ。

固定プレミアム制は、「環境ボーナス」制とも呼ばれ、電力の基本卸価格に固定プレミアム金が増加される仕組みになっている。投資する側にとってみると、電力価格は絶えず変動しているため、キロワット時あたりの受け取り価格は、固定買取価格制に比べて予測しにくい。市場の観点からは、関係者は価格シグナルに反応するだろうから、固定プレミアム制はおおむね電力市場に組み込みやすいとされる。このシステムで成功した国としてはスペインが知られている。

優遇税制は、米国とカナダの場合、発電された電力（キロワット時あたり）に応じて税額が控除される。米国では連邦政府の生産税控除（PTC）により、キロワット時あたり約1.8セントが控除され、それが市場を牽引してきた。控除額は毎年、インフレ調整される。

固定枠制度

これまでに2つのタイプが導入されてきた。入札制度とグリーン電力証書である。

入札制度は、特定の事業の建設・運営にあたる契約、あるいは国や州が定めた自然エネルギーの導入割当を、競争入札にかけもの。いくつかのファクターが考慮されるが、十中八九、最安値での落札となる。同制度はアイルランド、フランス、英国、デンマーク、中国で風力発電の促進に用いられてきた。

この制度のマイナス面は、投資者が契約を落札しようと採算度外視の安値で入札し、事業が計画倒れになりかねないことである。たとえば、英国の非化石燃料引取義務（Non-Fossil Fuel Obligation : NFFO）のもとで落札された契約の多くは、未着手のままに終わった。結局、NFFOは打ち切りとなったが、北海での沖合石油・ガス採掘事業のように契約が長期にわたり、計画内容に合意があって、それに見合う最低入札額が提示されるなど、適切な制度設計がなされたなら、競争入札は大規模事業に対しては効果があるだろう。

取引可能なグリーン電力証書（Tradable Green Certificate : TGC）制度とは、自然エネルギー発電事業者が生産した電力に対し、「グリーン電力証書」が発行されるもの。電気そのものの価値に付加された環境価値が証書化され、証書は市場取引の対象となる。TGCは、法的義務のある導入割当との組み合わせで運用されることが多い。割当増しに応じて、電力会社は自然エネルギー電力の購入割合を増やすことになる。この制度を採用しているのは、ヨーロッパでは英国、スウェーデン、イタリアなど。米国では自然エネルギー割当基準（Renewable Portfolio Standard : RPS）と呼ばれ、多くの州が導入している。

グリーン電力証書制度は、証書の取引価格がデیلیベースで変動するため、長期的な証書（および電力）契約を扱う市場が創設されない、投資する側にとっては固定入札価格に比べてリスクが高い。そうした市場は、いまのところ存在しない。この制度の仕組みはまた、他のメカニズムより資金の流れが複雑である。

ここにあげた奨励策のうち、もっともよく機能するのはどれか。これまでの実績から明らかになっているのは、固定価格とプレミアムを取り入れて設計された制度は、効果的に機能しやすいということだ。ただし、これらを採用すれば必ず成功するという保証はない。支援メカニズムを導入したほぼすべての国が、ある時点において固定価格買取制を用いたが、自然エネルギー発電の伸長につながらなかったケースもある。つまり、支援メカニズムを他の措置と組み合わせながらどう設計するかが、成否を決めるといえよう。

多くの支援メカニズムのうち、たとえばグリーン電力証書のよう、より複雑な制度はまだ試行段階にあって、拙速な判断をくだすべきではない。どのような政策が投資を呼び込み、設備容量の増大をもたらさうのか——最終的な結論を出すには、さらなる時間と経験が必要だ。また、どのような政策を採用するかは、それぞれの国の文化や歴史、自然エネルギーの発展状況、そして自然エネルギーに対する政治意思にもよる。

付属資料

世界の地域別エネルギー・シナリオ

OECD北米

エネルギー需要の見通し

人口：北米のOECD加盟国の人口は、現在の4億2500万人から2050年までに5億8500万人に増える。

GDP：購買力平価（PPP）換算の国内総生産（GDP）は年平均2.1%で伸びると予想され、2050年までに5倍となる。一人あたりGDPは世界平均のほぼ3倍と、世界最高水準を維持する。

エネルギー原単位：レファレンス・シナリオでは、エネルギー原単位は年1.1%で低下し、2003年から2050年にかけて、単位あたりGDPの最終エネルギー需要は約40%低減する。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、エネルギー原単位は70%低下する。

最終エネルギー需要：レファレンス・シナリオでは、エネルギー需要は現在の年7万ペタジュールから2050年には11万4000ペタジュールに増大する。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは消費量は着実に減少し続け、2050年には年5万6000ペタジュールと、レファレンス・シナリオにおける消費見通しの半分となる。

電力需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、効率向上により、電力需要は2050年までにおよそ年3400テラワット時となる。レファレンス・シナリオと比べ、年4400テラワット時を発電せずにする。

熱需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、効率向上によって熱需要が急減し、レファレンス・シナリオと比べて年1万5000ペタジュールを消費せずにする。

エネルギー供給の見通し

一次エネルギー供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギー源がまかなう一次エネルギー需要は、現在の6%から2050年までにほぼ50%になる。

発電：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、電力供給における自然エネルギーのシェアは、現在の16%から2050年までに80%になる。自然エネルギーの発電設備容量は、現在の出力195ギガワットから1150ギガワットに増え、同年までに発電量は年2万3700テラワット時になる。

熱供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、熱供給における自然エネルギーのシェアは、現在の9%から2050年までに60%になる。コージェネレーション（熱電併給）のシェアは20%以上になる。

二酸化炭素排出量の見通し

レファレンス・シナリオでは、二酸化炭素排出量は2050年までに40%増える。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、66億トンから18億トンに減る。一人あたり排出量は、年15.6トンから3.0トンに減る。

発電コストの見通し

エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギーの成長により発電コストが上昇し、レファレンス・シナリオに比べて、2020年にキロワット時あたりおよそ0.4セント、2050年には最大で同1.8セント高くなる。

中南米

エネルギー需要の見通し

人口：中南米における人口の伸びは、他の開発途上地域に比べて緩慢で、2050年までに6億3000万人となる。

GDP：PPP換算の国内総生産は年平均2.9%で伸びると予想され、2050年までに4倍となる。一人あたりGDPは欧州や北米の3分の1と、依然として世界平均を下回る。

エネルギー原単位：レファレンス・シナリオでは、エネルギー原単位は年0.4%低下し、2003年から2050年にかけて、単位GDPあたりの最終エネルギー需要は約20%減る。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、エネルギー原単位は50%以上低下する。

最終エネルギー需要：レファレンス・シナリオでは、エネルギー需要は現在の年1万4000ペタジュールから、2050年には3倍に増えて年4万5000ペタジュールになる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは需要の伸びは緩慢で、2050年にはレファレンス・シナリオの消費見通しの半分をやや上回る年2万5000ペタジュールとなる。

電力需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、効率向上によって電力需要は2050年までにおよそ年1900テラワット時になり、レファレンス・シナリオと比べて年1400テラワット時を発電せずにする。

熱需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、熱需要はおおむね横這いとなる。レファレンス・シナリオに比べ、効率向上によってさらに年6800ペタジュールを消費せずにする。

エネルギー供給の見通し

一次エネルギー供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギー源がまかなう一次エネルギー需要は現在の27%から2050年までに65%となる。

発電：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、電力供給における自然エネルギーのシェアは、現在の70%から2050年までに90%となる。自然エネルギーの発電設備容量は、現在の出力130ギガワットから660ギガワットに増え、発電量は同年までに年2070テラワット時になる。

熱供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、熱供給における自然エネルギーのシェアは、現在の36%から2050年までに約70%となる。

二酸化炭素排出量の見通し

レファレンス・シナリオでは、二酸化炭素排出量は2050年までに4倍に増える。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、8億トンから4億4000万トンに減る。一人あたり排出量は年1.8トンから0.7トンに減る。今日、電力部門は最大の排出源になっているが、2050年にはその寄与は総排出量の15%以下になる。

発電コストの見通し

エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギーの成長によって発電コストが低下し、レファレンス・シナリオに比べて2020年にキロワット時あたりおよそ1.5セント、2050年までに最大で同3.5セント低くなる。



OECD欧州

エネルギー需要の見通し

人口：欧州のOECD加盟国の人口は、2030年あたりにピークを迎えてほぼ5億5000万人になり、以降は減少に転じて2050年までに5億1000万人に減る。

GDP：PPP換算の国内総生産は年平均1.7%で伸びると予想され、2050年までに3倍になる。一人あたりGDPは世界平均の2倍以上と、世界最高水準を維持する。

エネルギー原単位：レファレンス・シナリオでは、エネルギー原単位は年1.1%で低下し、2003年から2050年にかけて、単位あたりGDPの最終エネルギー需要は約40%減少する。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、エネルギー原単位はほぼ75%低下する。

最終エネルギー需要：レファレンス・シナリオでは、エネルギー需要は現在の年5万ペタジュールから、2050年には30%増えて年6万8000ペタジュールになる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは着実に減少し、2050年には4万1000ペタジュールと、レファレンス・シナリオにおける消費見通しの3分の2となる。

電力需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、電力需要は2040年まで増えてから減少に転じ、2050年までにおよそ年3300テラワット時になると予想される。レファレンス・シナリオに比べ、効率向上によって1100テラワット時を発電せずにすむ。

熱需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは熱需要はほぼ半減し、レファレンス・シナリオと比べて効率向上により年1万3000ペタジュールを消費せずにすむ。

エネルギー供給の見通し

一次エネルギー供給：エネルギー・エネルギー[r]eポリューションでは、自然エネルギー源がまかなう一次エネルギー需要は現在の7%から2050年までに50%に増える。

発電：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、電力供給における自然エネルギーのシェアは、現在の18%から2050年までに80%となる。自然エネルギーの発電設備容量は、現在の出力160ギガワットから865ギガワットに増え、発電量は同年までに年2500テラワット時になる。

熱供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、熱供給における自然エネルギーのシェアは現在の10%から2050年までに50%に増える。コージェネレーション（熱電併給）のシェアは20%以上となる。

二酸化炭素排出量の見通し

レファレンス・シナリオでは、二酸化炭素排出量は2050年までに3分の1増える。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、39億トンから12億トンに減る。一人あたり排出量は年7.4トンから2.3トンに減る。

発電コストの見通し

エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギーの成長によって発電コストが上昇し、レファレンス・シナリオに比べ、2010年から2030年にかけてキロワット時あたりおよそ0.5セント高くなる。その後、二酸化炭素排出原単位の低下によってコストは低下しはじめ、2050年までにレファレンス・シナリオのそれよりキロワット時あたり0.7セント低くなる。

アフリカ

エネルギー需要の見通し

人口：アフリカの人口は2050年までに3倍に増え、18億4000万人になる。

GDP：PPP換算の国内総生産は年平均3.6%で伸びると予想され、2050年までに5倍に増える。一人あたりGDPは、欧州あるいは北米と比べ依然として10分の1となる。

エネルギー原単位：レファレンス・シナリオでは、エネルギー原単位は年1%で低下し、2003年から2050年にかけて単位GDPあたりの最終エネルギー需要は約40%減る。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、エネルギー原単位はさらに低下する。

最終エネルギー需要：レファレンス・シナリオでは、エネルギー需要は現在の年1万7000ペタジュールから、2050年には3倍増えて年5万4000ペタジュールになる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは需要の伸びははるかに緩慢で、2050年までに3万5000ペタジュールと現在より倍増するが、レファレンス・シナリオにおける消費見通しより3分の1少なくなる。

電力需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、効率向上によって電力需要は2050年までにおよそ年2000テラワット時になり、レファレンス・シナリオと比べて年1100テラワット時を発電せずにすむ。

熱需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは熱需要は低減し、レファレンス・シナリオと比べ、て効率向上により年8600ペタジュールを消費せずにすむ。

エネルギー供給の見通し

一次エネルギー供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギー源がまかなう一次エネルギー需要は現在の47%から2050年までに60%となる。

発電：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、電力供給における自然エネルギーのシェアは、現在の17%から2050年までに55%となる。自然エネルギーの発電設備容量は、現在の出力25ギガワットから480ギガワットに増え、発電量は同年までに年1500テラワット時になる。

熱供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、熱供給における自然エネルギーのシェアは現在の78%から2050年までに88%となる。伝統的バイオマスは効率の良い新しい技術に取って代わられる。

二酸化炭素排出量の見通し

レファレンス・シナリオでは、二酸化炭素排出量は2050年までに「5倍」となる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、2003年の7億5000万トンから2050年までに11億トンと60%の増加に抑えられる。一人あたり排出量は、年0.9トンから0.6トンに減る。電力部門は2050年においても最大の排出源だが、最大の削減が見込まれるのも同部門である。

発電コストの見通し

エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギーの成長によって発電コストが低下し、レファレンス・シナリオに比べて2020年にキロワット時あたりおよそ2セント、2050年までに同約3セント低くなる。

付属資料 - つづき

世界の地域別エネルギー・シナリオ

中東

エネルギー需要の見通し

人口：中東の人口は2050年までに倍増し、3億5000万人になる。
GDP：PPP換算の国内総生産は年平均2.6%で伸びると予想され、2050年までに4倍となる。一人あたりGDPは、依然として欧州あるいは北米の5分の1である。

エネルギー原単位：レファレンス・シナリオでは、エネルギー原単位は年0.9%低下し、2003年から2050年にかけて単位あたりGDPの最終エネルギー需要は約50%減少する。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、エネルギー原単位はほぼ60%低下する。

最終エネルギー需要：レファレンス・シナリオでは、エネルギー需要は現在の年1万1000ペタジュールから、2050年には2倍以上増えて年2万5000ペタジュールになる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは需要の伸びは緩慢で、2050年には1万5000ペタジュールと現在より3分の1増えるが、レファレンス・シナリオにおける消費見通しより40%少ない。

電力需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、効率向上によって電力需要は2050年までにおよそ年1000テラワット時になり、レファレンス・シナリオと比べて年500テラワット時を発電せずにすむ。

熱需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは熱需要は低減し、レファレンス・シナリオと比べ、て効率向上により年4700ペタジュールを消費せずにすむ。

エネルギー供給の見通し

一次エネルギー供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギー源がまかなう一次エネルギー需要は現在の1%から2050年までに50%となる。

発電：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、電力供給における自然エネルギーのシェアは現在の3%から2050年までに86%となる。自然エネルギーの発電設備容量は、現在の出力7ギガワットから450ギガワットに増え、発電量は同年までに年1400テラワット時になる。

熱供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、熱供給における自然エネルギーのシェアは現在の1%から2050年までに67%となる。

二酸化炭素排出量の見通し

レファレンス・シナリオでは二酸化炭素排出量は倍増するが、エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、2003年レベルの10億トンから2050年までに4億8000万トンに減少する。一人あたり排出量は、年5.5トンから1.4トンに減る。今日、電力部門は最大の排出源だが、2050年には総排出量に占める割合が5分の1になる。

発電コストの見通し

エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギーの成長によって発電コストが低下し、レファレンス・シナリオに比べて2020年にキロワット時あたりおよそ1セント、2050年に同約9セント低くなる。

市場経済移行国

エネルギー需要の見通し

人口：市場経済移行国の人口は現在の3億4500万人から、2050年までに2億8500万人に減る。

GDP：PPP換算の国内総生産は年平均3.2%で伸びると予想され、2050年までに5倍に増える。一人あたりGDPは、欧州あるいは北米のおよそ半分となる。

エネルギー原単位：レファレンス・シナリオでは、エネルギー原単位は年1.8%で低下し、2003年から2050年にかけて、単位あたりGDPの最終エネルギー需要は約60%減少する。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、エネルギー原単位はほぼ80%低下する。

最終エネルギー需要：レファレンス・シナリオでは、エネルギー需要は現在の年2万7000ペタジュールから、2050年には2倍以上増えて、年5万1000ペタジュールになる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、需要は現在のまま2050年まで横這いになると予想され、レファレンス・シナリオにおける消費見通しより50%少なくなる。

電力需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、効率向上によって電力需要は2050年までにおよそ年1900テラワット時になり、レファレンス・シナリオと比べて年640テラワット時を発電せずにすむ。

熱需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは熱需要は低減し、レファレンス・シナリオと比べて、効率向上により年1万3600ペタジュールを消費せずにすむ。

エネルギー供給の見通し

一次エネルギー供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギー源がまかなう一次エネルギー需要は現在の4%から2050年までに60%となる。

発電：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、電力供給における自然エネルギーのシェアは現在の18%から2050年までに80%となる。自然エネルギーの発電設備容量は、現在の出力90ギガワットから635ギガワットに増え、発電量は同年までに年1900テラワット時になる。

熱供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、熱供給における自然エネルギーのシェアは現在の3%から2050年までに60%となる。コージェネレーション（熱電併給）のシェアは20%以上になる。

二酸化炭素排出量の見通し

レファレンス・シナリオでは、二酸化炭素排出量は2050年までに3分の1増える。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、2003年レベルの27億トンから2050年までに7億トンに減少する。一人あたり排出量は年7.8トンから2.5トンに減る。電力部門は2050年において総排出量の30%を占めるが、運輸部門が最大となり、それに次ぐ。

発電コストの見通し

エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギーの成長によって発電コストが低下し、レファレンス・シナリオに比べて2050年にキロワット時あたり約1.8セント低くなる。



南アジア

エネルギー需要の見通し

人口：南アジアの人口は2050年までに22億人に増えると予想され、世界人口の25%を占める。

GDP：PPP換算の国内総生産は年平均3.9%で伸びると予想され、2050年までに6倍となる。一人あたりGDPは、依然として欧州あるいは北米の20%である。

エネルギー原単位：レファレンス・シナリオでは、エネルギー原単位は年2%低下し、2003年から2050年にかけて、単位あたりGDPの最終エネルギー需要は約40%減少する。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、エネルギー原単位はほぼ80%低下する。

最終エネルギー需要：レファレンス・シナリオでは、エネルギー需要は現在の年1万9000ペタジュールから、2050年には2倍以上増えて、年4万7000ペタジュールになる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは需要の伸びは緩慢で、2050年には2万9000ペタジュールと現在より50%増えるが、レファレンス・シナリオにおける消費見通しより40%少ない。

電力需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、効率向上によって電力需要は2050年までにおよそ年2400テラワット時になり、レファレンス・シナリオと比べて年1000テラワット時を発電せずにすむ。

熱需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは熱需要は低減し、レファレンス・シナリオと比べ、効率向上により年1万ペタジュールを消費せずにすむ。

エネルギー供給の見通し

一次エネルギー供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギー源がまかなう一次エネルギー需要は、現在の40%から2050年までに50%となる。

発電：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、電力供給における自然エネルギーのシェアは現在の15%から2050年までに60%となる。自然エネルギーの発電設備容量は、現在の出力31ギガワットから600ギガワットに増え、発電量は同年までに年1700テラワット時になる。

熱供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、熱供給における自然エネルギーのシェアは2050年までに70%となるが、この比率は現在と変わらない。伝統的バイオマスは急速に効率の良い技術、とくに太陽熱集熱器と地熱エネルギーに取って代わられる。

二酸化炭素排出量の見通し

レファレンス・シナリオでは、二酸化炭素排出量は2050年までに4倍に増える。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、2003年レベルの10億トンのまま横這いとなる。一人あたり排出量は微減し、年0.8トンから0.5トンになる。総排出量に占める電力部門のシェアは小さくはなるものの、2050年でもその寄与は50%と最大である。

発電コストの見通し

エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギーの成長によって発電コストが低下し、レファレンス・シナリオに比べて2020年からキロワット時あたりおよそ1セント低下し、2050年には同2セントになる。

東アジア

エネルギー需要の見通し

人口：東アジア人口の増加は2040年以降は横這いとなり、2050年までに8億人となる。

GDP：PPP換算の国内総生産は年平均3.2%で伸びると予想され、2050年までに4.5倍に増える。一人あたりGDPは、依然として欧州あるいは北米のほぼ4分の1である。

エネルギー原単位：レファレンス・シナリオでは、エネルギー原単位は年1.1%で低下し、2003年から2050年にかけて、単位あたりGDPの最終エネルギー需要は約40%減少する。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、エネルギー原単位はほぼ70%低下する。

最終エネルギー需要：レファレンス・シナリオでは、エネルギー需要は現在の年1万5000ペタジュールから、2050年には2倍以上増えて、年3万9000ペタジュールになる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは需要は着実に伸び、2050年には2万3000ペタジュールと現在より50%増えるが、レファレンス・シナリオにおける消費見通しより40%少ない。

電力需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、効率向上によって電力需要は2050年までにおよそ年1800テラワット時になり、レファレンス・シナリオと比べて年1000テラワット時を発電せずにすむ。

熱需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは熱需要は低減し、レファレンス・シナリオと比べて、効率向上により年5000ペタジュールを消費せずにすむ。

エネルギー供給の見通し

一次エネルギー供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギー源がまかなう一次エネルギー需要は現在の23%から2050年までにほぼ半分となる。

発電：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、電力供給における自然エネルギーのシェアは現在の14%から2050年までに70%となる。自然エネルギーの発電設備容量は、現在の出力29ギガワットから560ギガワットに増え、発電量は同年までに年1600テラワット時になる。

熱供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、熱供給における自然エネルギーのシェアは現在の50%から2050年までに80%となる。

二酸化炭素排出量の見通し

レファレンス・シナリオでは、二酸化炭素排出量は2050年までに4倍増える。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、2003年レベルの10億トンから2050年までに8億3000万トンに減る。一人あたり排出量は微減し、年1.7トンから0.9トンに減る。今日、電力部門は最大の排出源だが、2050年における寄与は30%以下となる。

発電コストの見通し

エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギーの成長によって発電コストが低下し、レファレンス・シナリオに比べて2020年からキロワット時あたりおよそ1・5セント低くなり、2050年には同約3セントとなる。

付属資料 - つづき

世界の地域別エネルギー・シナリオ

中国

エネルギー需要の見通し

人口：中国の人口は2030年あたりにピークを迎えて14億6000万人となり、以降は減少に転じて2050年までに14億人になる。

GDP：PPP換算の国内総生産の成長率は世界最高で、年平均4.1%で伸びると予想され、2050年までに7倍となる。一人あたりGDPは、依然として欧州あるいは北米のおよそ半分である。

エネルギー原単位：レファレンス・シナリオでは、エネルギー原単位は年2.3%で低下し、2003年から2050年にかけて、単位GDPあたりの最終エネルギー需要は約65%減る。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、エネルギー原単位はほぼ80%減る。

最終エネルギー需要：レファレンス・シナリオでは、エネルギー需要は現在の年3万5000ペタジュールから、2050年には2倍以上増えて年8万1000ペタジュールになる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、需要は着実に伸びていき、2050年までに5万3000ペタジュールと現在より50%増えるが、レファレンス・シナリオにおける消費見通しより3分の1少ない。

電力需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、効率向上によって電力需要は2050年までにおよそ年6300テラワット時になり、レファレンス・シナリオと比べて年1200テラワット時を発電せずにすむ。

熱需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは熱需要は低減し、レファレンス・シナリオと比べ、効率向上により年1万2500ペタジュールを消費せずにすむ。

エネルギー供給の見通し

一次エネルギー供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギー源がまかなう一次エネルギー需要は現在の20%から2050年までに33%となる。

発電：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、電力供給における自然エネルギーのシェアは現在の15%から2050年までに50%となる。自然エネルギーの発電設備容量は、現在の出力84ギガワットから1300ギガワットに増え、発電量は同年までに年4000テラワット時になる。

熱供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、熱供給における自然エネルギーのシェアは現在の35%から2050年までに43%となる。コージェネレーション（熱電併給）のシェアは30%以上となる。

二酸化炭素排出量の見通し

レファレンス・シナリオでは、二酸化炭素排出量は2050年までに3倍となる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、2003年レベルの33億トンのまま横這いとなる。一人あたり排出量は微減し、年2.5トンから2.3トンとなる。電力供給の増大により、電力部門は最大の排出源であり続け、2050年には総排出量の50%を占める。

発電コストの見通し

エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギーの成長による発電コストの上昇はほとんどなく、2050年までにレファレンス・シナリオよりキロワット時あたりほぼ1セント低くなる。

太平洋OECD圏

エネルギー需要の見通し

人口：太平洋のOECD加盟国の人口は、2020年にピークを迎えて約2億人となり、以降は減少に転じて2050年には1億8000万人になる。

GDP：PPP換算の国内総生産は年平均1.8%で伸びると予想され、2050年までに5倍に増える。一人あたりGDPの成長は著しく、2050年までに世界経済をリードする。

エネルギー原単位：レファレンス・シナリオではエネルギー原単位は年1.0%で低下し、2003年から2050年にかけて、単位GDPあたりの最終エネルギー需要は約40%減る。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、エネルギー原単位は75%減る。

最終エネルギー需要：レファレンス・シナリオでは、エネルギー需要は現在の年2万1000ペタジュールから、2050年には40%以上増えて年3万ペタジュールになる。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、需要は2010年にピークを迎え、以降は減少に転じて、2050年までに1万7300ペタジュールと現在の85%となる。これはレファレンス・シナリオにおける消費見通しより40%少ない。

電力需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、効率向上によって電力需要は2050年までにおよそ年1600テラワット時になり、レファレンス・シナリオと比べて年800テラワット時を発電せずにすむ。

熱需要：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは熱需要は急減し、レファレンス・シナリオと比べ、効率向上により年4900ペタジュールを消費せずにすむ。

エネルギー供給の見通し

一次エネルギー供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギー源がまかなう一次エネルギー需要は現在の3%から2050年までに全体の3分の1となる。

発電：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、電力供給における自然エネルギーのシェアは現在の10%から2050年までに70%となる。自然エネルギーの発電設備容量は現在の出力60ギガワットから410ギガワットに増え、発電量は同年までに年1130テラワット時になる。

熱供給：エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、熱供給における自然エネルギーのシェアは現在の4%から2050年までに60%となる。

二酸化炭素排出量の見通し

レファレンス・シナリオでは、二酸化炭素排出量は2050年までに20%増える。エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは19億トンから7億トンに減る。一人あたり排出量は年9.4トンから3.8トンに減る。

発電コストの見通し

エネルギー[r]eポリューション・シナリオでは、自然エネルギーの成長によって2030年まで発電コストが上昇するが、2050年までにレファレンス・シナリオよりキロワット時あたり1セント低くなる。



2006年10月、バンコクの近郊ノンタブリー県を襲った洪水は、同県チャオプラヤー川の中にあるクレット島を呑み込んだ。写真はボートで移動する住民たち。すでに科学者たちは、これまで以上に気候変動による異常気象の発生が多くなると警告していた。

レファレンス・シナリオ

表15 発電

テラワット時/年	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
発電プラント	14,988	18,170	23,451	29,000	35,377	43,426
石炭	5,451	6,554	8,644	11,148	14,530	19,214
褐炭	572	615	656	705	752	821
天然ガス	2,380	3,273	5,396	7,507	9,736	12,475
石油	1,031	1,073	1,128	1,070	1,026	1,011
原子力	2,641	2,984	2,975	2,867	2,797	2,730
バイオマス	137	189	243	316	384	432
水力	2,659	3,148	3,714	4,199	4,591	4,872
風力	64	237	535	918	1,174	1,370
太陽光	1	9	30	73	108	139
地熱	53	85	113	160	210	257
太陽熱	1	4	13	31	61	98
海洋エネルギー	1	1	4	6	8	9
コージェネレーション (熱電併給)	1,674	1,860	2,167	2,589	2,868	3,074
石炭	390	440	519	691	800	880
褐炭	142	132	115	103	91	78
天然ガス	915	1,007	1,195	1,415	1,561	1,662
石油	134	133	126	101	78	65
バイオマス	91	142	204	268	324	368
地熱	1	7	9	11	15	21
コージェネレーション 熱電併給事業者 自家発電	1,215 459	1,279 581	1,348 819	1,450 1,139	1,500 1,367	1,578 1,497
総発電量	16,662	20,030	25,617	31,589	38,245	46,501
化石燃料	11,015	13,226	17,778	22,714	28,574	36,206
石炭	5,841	6,993	9,163	11,839	15,329	20,094
褐炭	714	746	771	808	843	899
天然ガス	3,295	4,280	6,591	8,922	11,297	14,137
石油	1,165	1,206	1,254	1,172	1,104	1,076
原子力	2,641	2,984	2,975	2,867	2,797	2,730
自然エネルギー (RES)	3,007	3,821	4,864	5,981	6,875	7,564
水力	2,659	3,148	3,714	4,199	4,591	4,872
風力	64	237	535	918	1,174	1,370
太陽光	1	9	30	73	108	139
バイオマス	228	331	447	584	708	800
地熱	54	92	122	170	226	278
太陽熱	1	4	13	31	61	98
海洋エネルギー	1	1	4	6	8	9
輸入	557	598	630	620	580	530
輸入RES	79	87	95	98	94	86
輸出	558	583	611	609	566	528
送電ロス	1,520	1,852	2,370	2,952	3,609	4,467
自家発自家消費電力量	1,467	1,625	1,988	2,366	2,698	3,028
最終エネルギー消費量 (電力)	13,675	16,568	21,279	26,282	31,951	39,008
出力変動型RES (太陽光、風力、海洋)	65	247	569	997	1,289	1,517
出力変動型RESのシェア	0.4%	1.2%	2.2%	3.2%	3.4%	3.3%
RESのシェア	18%	19.1%	19.0%	18.9%	18.0%	16.3%

表17 一次エネルギー変換

	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
石炭 (100万トン)	5,367	5,499	6,006	6,884	7,916	9,356
原油 (100万バレル)	24,089	28,887	33,720	37,784	41,841	46,407
天然ガス (109m³)	2453.4	2666.9	3255.0	3839.5	4369.3	4986.1
変換係数						
石炭	23.03	kJ/t				
褐炭	8.45	kJ/t				
石油	6.12	GJ/barrel				
天然ガス	38000.00	kJ/m³				

表16 発電設備容量

ギガワット	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
発電プラント	3,152	3,888	5,046	6,252	7,463	8,973
石炭	902	1,091	1,452	1,871	2,440	3,212
褐炭	73	80	86	94	103	115
天然ガス	626	857	1,327	1,775	2,205	2,735
石油	414	451	489	502	495	511
原子力	347	392	391	377	370	365
バイオマス	20	28	35	46	55	61
水力	728	857	999	1,118	1,213	1,280
風力	30	108	218	375	449	525
太陽光	1	6	22	55	81	104
地熱	10	16	22	30	40	49
太陽熱	0	1	2	4	8	13
海洋エネルギー	0	0	2	3	4	4
コージェネレーション (熱電併給)	581	598	678	777	840	899
石炭	163	171	174	210	239	264
褐炭	65	56	42	30	26	23
天然ガス	244	266	355	443	485	519
石油	80	67	61	42	29	24
バイオマス	28	36	45	50	57	64
地熱	0	1	2	2	3	4
コージェネレーション 熱電併給事業者 自家発電	465 117	465 132	498 180	531 247	553 287	585 314
総発電容量	3,733	4,485	5,724	7,029	8,303	9,872
化石燃料	2,570	3,039	3,986	4,969	6,023	7,403
石炭	1,066	1,262	1,626	2,082	2,679	3,477
褐炭	139	136	128	125	129	137
天然ガス	871	1,123	1,682	2,218	2,690	3,254
石油	494	518	550	545	524	535
原子力	346.7	392.1	391.0	377.5	369.8	364.6
自然エネルギー (RES)	817	1,054	1,347	1,683	1,910	2,105
水力	728	857	999	1,118	1,213	1,280
風力	30	108	218	375	449	525
太陽光	1	6	22	55	81	104
バイオマス	48	64.5	80.0	95.2	111.9	125.4
地熱	10	18	23	33	43	53
太陽熱	0	1	2	4	8	13
海洋エネルギー	0	0	2	3	4	4
出力変動型RES (太陽光、風力、海洋)	31.1	114.4	242.5	432.1	533.8	633.5
出力変動型RESのシェア	0.8%	2.6%	4.2%	6.1%	6.4%	6.4%
RESのシェア	21.9%	23.5%	23.5%	23.9%	23.0%	21.3%

表18 一次エネルギー需要

ペタジュール/年	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
合計	435,118	487,635	563,236	638,789	715,803	807,747
化石燃料	348,558	391,127	456,328	523,527	592,155	676,274
石炭	98,797	105,077	119,291	139,346	162,956	195,453
褐炭	9,106	7,915	6,981	7,041	7,097	7,341
天然ガス	93,230	101,344	123,691	145,903	166,033	189,471
原油	147,425	176,791	206,365	231,237	256,069	284,010
原子力	28,805	32,554	32,463	31,281	30,509	29,785
自然エネルギー	57,755	63,954	74,445	83,981	93,139	101,687
水力	9,572	11,332	13,369	15,115	16,528	17,537
風力	231	853	1,926	3,305	4,225	4,931
太陽光・熱	162	386	694	1,243	1,769	2,265
バイオマス	46,454	49,715	56,490	61,861	67,591	73,371
地熱	1,336	1,668	1,967	2,457	3,026	3,582
海洋エネルギー	2	4	14	21	28	32
RESのシェア	13.3%	13.1%	13.2%	13.1%	13.0%	12.6%

レファレンス・シナリオ

表19 熱供給

ベタジュール/年	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
地域熱供給プラント	2,765	4,029	6,522	7,667	8,417	9,139
化石燃料	2,622	3,659	5,450	5,828	5,960	6,191
バイオマス	141	365	1,060	1,823	2,437	2,922
太陽熱集熱器	0	1	4	7	10	16
地熱	2	5	8	9	10	11
コジェネレーションによる熱供給	13,471	11,731	10,671	11,024	11,097	11,416
化石燃料	12,846	10,870	9,606	9,841	9,883	10,106
バイオマス	617	812	1,004	1,108	1,118	1,184
地熱	8	49	61	75	96	126
直接利用¹⁾	116,034	128,577	145,486	160,437	173,029	184,893
化石燃料	82,523	93,492	106,318	118,467	127,775	136,018
バイオマス	33,222	34,572	38,409	40,831	43,757	47,057
太陽熱温水システム	158	340	535	861	1,151	1,400
地熱	131	173	224	278	346	418
総熱供給量¹⁾	132,271	144,337	162,678	179,129	192,544	205,448
化石燃料	97,992	108,021	121,373	134,135	143,618	152,315
バイオマス	33,979	35,749	40,473	43,762	47,312	51,163
太陽熱温水システム	158	341	539	869	1,161	1,415
地熱	142	226	293	363	453	556
RESのシェア (RES電力を含む)	26%	25%	25%	25%	25%	26%

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	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
火力発電所	8,185	9,321	11,484	13,652	16,204	19,859
石炭	5,491	6,270	7,676	9,232	11,248	14,143
褐炭	709	685	644	671	688	729
天然ガス	1,208	1,567	2,345	2,985	3,548	4,289
石油	777	799	820	763	720	698
コジェネレーション (熱電併給)	2,374	1,794	1,367	1,445	1,541	1,607
石炭	784	595	472	570	638	691
褐炭	302	194	131	111	100	86
天然ガス	1,149	891	674	698	753	790
石油	139	114	90	67	49	40
電力・蒸気生産による 排出量	10,559	11,115	12,851	15,097	17,745	21,466
石炭	6,276	6,865	8,148	9,802	11,886	14,834
褐炭	1,011	879	775	782	788	815
天然ガス	2,356	2,458	3,019	3,683	4,302	5,079
石油・ディーゼル	916	914	909	830	769	738
部門別排出量	23,124	26,604	29,913	34,545	39,401	45,489
2000年レベル比	100%	111%	129%	149%	170%	197%
産業	3,738	4,188	4,736	5,290	5,726	6,087
家庭・サービス	3,257	3,666	4,123	4,602	4,881	5,085
運輸	5,635	6,582	8,085	9,546	11,096	12,925
電力・蒸気生産	10,198	10,790	12,453	14,590	17,181	20,872
地域熱供給	296	379	515	517	518	520
人口(100万人) 一人あたり排出量(トン/人)	6,310	6,849	7,562	8,139	8,594	8,888
	3.7	3.7	4.0	4.2	4.6	5.1

代替シナリオ

表21 発電

テラワット時/年	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
発電プラント	14,989	15,264	17,560	19,805	22,694	25,909
石炭	5,451	5,226	4,541	3,398	2,937	2,661
褐炭	572	456	266	117	24	0
天然ガス	2,380	3,029	4,191	4,981	4,875	4,580
石油	1,031	693	379	171	55	7
ディーゼル	0	0	0	0	0	0
原子力	2,641	2,094	1,331	65	0	0
バイオマス	137	171	251	340	437	547
水力	2,659	3,127	3,656	4,035	4,402	4,709
風力	64	346	2,327	4,494	5,866	7,149
太陽光	1	28	269	1,003	1,835	2,835
地熱	53	80	124	188	262	338
太陽熱	1	9	196	949	1,891	2,933
海洋エネルギー	1	5	31	64	111	151
熱電供給 (コージェネレーション)	1,674	2,044	2,673	3,487	4,325	5,026
石炭	390	337	218	102	37	34
褐炭	142	124	96	43	11	0
天然ガス	915	1,150	1,475	1,777	2,046	2,195
石油	134	95	49	35	18	14
バイオマス	91	311	750	1,356	1,918	2,395
地熱	1	27	86	174	294	388
コージェネレーション 熱電供給事業者	1,215	1,328	1,473	1,724	2,034	2,324
自家発電	459	716	1,200	1,763	2,290	2,702
総発電量	16,662	17,308	20,234	23,292	27,018	30,935
化石燃料	11,015	11,110	11,215	10,624	10,003	9,491
石炭	5,841	5,563	4,759	3,500	2,974	2,695
褐炭	714	580	362	160	35	0
天然ガス	3,295	4,179	5,666	6,758	6,921	6,775
石油	1,165	788	428	206	73	21
原子力	2,641	2,094	1,331	65	0	0
自然エネルギー (RES)	3,007	4,104	7,688	12,603	17,015	21,444
水力	2,659	3,127	3,656	4,035	4,402	4,709
風力	64	346	2,327	4,494	5,866	7,149
太陽光	1	28	269	1,003	1,835	2,835
バイオマス	228	482	1,000	1,696	2,355	2,942
地熱	54	107	209	362	556	726
太陽熱	1	9	196	949	1,891	2,933
海洋エネルギー	1	5	31	64	111	151
輸入	557	595	620	672	789	1,008
輸入RES	79	65	161	377	630	894
輸出	558	580	618	695	764	997
送電ロス	1,520	1,590	1,827	2,063	2,340	2,665
自家発自家消費電力量	1,467	1,545	1,795	2,017	2,187	2,271
最終エネルギー消費量 (電力)	13,675	14,188	16,614	19,189	22,516	26,009
出力変動型RES (太陽光、風力、海洋)	65	379	2,627	5,561	7,812	10,134
出力変動型RESのシェア	0.4%	2.2%	13%	23.9%	28.9%	32.8%
RESのシェア	18%	23.7%	38%	54.1%	63%	69.3%
節約されたエネルギー (レファレンス・シナリオ比)	0	2,380	4,665	7,093	9,435	13,000

表23 一次エネルギー変換

	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
石炭 (100万トン)	5,368	4,380	3,325	2,343	1,748	1,382
原油 (100万バレル)	24,089	23,543	21,014	18,115	16,149	14,238
天然ガス (109m³)	2453.4	2605.1	2736.2	2816.4	2653.2	2448.8
変換係数						
石炭	23.03	kJ/t				
褐炭	8.45	kJ/t				
石油	6.12	GJ/barrel				
天然ガス	38000.00	kJ/m³				

表22 発電設備容量

ギガワット	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
発電プラント	3,152	3,392	4,481	5,881	7,002	8,329
石炭	902	885	783	590	507	457
褐炭	73	59	35	16	3	0
天然ガス	626	792	1,057	1,269	1,284	1,239
石油	414	304	185	94	30	4
原子力	347	275	175	9	0	0
バイオマス	20	25	36	48	60	75
水力	728	855	994	1,091	1,183	1,257
風力	30	156	950	1,834	2,242	2,731
太陽光	1	23	199	728	1,330	2,033
地熱	10	15	24	36	49	63
太陽熱	0	2	29	138	267	405
海洋エネルギー	0	2	14	28	46	63
熱電供給 (コージェネレーション)	581	626	754	897	1,063	1,209
石炭	163	135	76	33	10	9
褐炭	65	52	34	12	3	0
天然ガス	244	306	433	548	640	690
石油	80	43	19	11	4	3
バイオマス	28	85	176	258	348	430
地熱	0	5	17	35	58	77
コージェネレーション 熱電供給事業者	464	464	499	538	617	689
自家発電	117	162	255	359	445	520
総発電量	3,733	4,018	5,235	6,778	8,064	9,537
化石燃料	2,569	2,574	2,622	2,573	2,481	2,402
石炭	1,066	1,020	859	623	517	466
褐炭	139	111	69	28	6	0
天然ガス	871	1,097	1,490	1,818	1,923	1,929
石油	494	346	204	105	34	7
原子力	346.7	275.2	175.4	9	0	0
自然エネルギー (RES)	817	1,169	2,438	4,196	5,584	7,135
水力	728	855	994	1,091	1,183	1,257
風力	30	156	950	1,834	2,242	2,731
太陽光	1	23	199	728	1,330	2,033
バイオマス	48	110	211	306	408	505
地熱	10	21	41	70	107	140
太陽熱	0	2	29	138	267	405
海洋エネルギー	0	2	14	28	46	63
出力変動型RES (太陽光、風力、海洋)	31.1	181.1	1,162.2	2,590.2	3,617.5	4,828.1
出力変動型RESのシェア	0.8%	4.5%	22.2%	38.2%	44.9%	50.6%
RESのシェア	21.9%	29.1%	46.6%	61.9%	69.2%	74.8%

表24 一次エネルギー需要

ペタジュール/年	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
総計	435,116	428,049	421,446	414,573	420,512	421,904
化石燃料	348,558	333,205	303,439	269,418	239,370	212,011
石炭	98,797	83,902	67,550	50,124	39,409	31,822
褐炭	9,106	6,224	3,308	1,406	308	0
天然ガス	93,230	98,994	103,975	107,023	100,822	93,055
原油	147,425	144,085	128,606	110,865	98,832	87,135
原子力	28,805	22,844	14,520	709	0	0
自然エネルギー資源	57,755	72,000	103,487	144,446	181,142	209,893
水力	9,572	11,255	13,160	14,524	15,846	16,951
風力	231	1,246	8,377	16,178	21,118	25,735
太陽光・熱	162	1,743	6,916	17,909	30,231	42,284
バイオマス	46,454	54,704	68,467	84,727	97,679	105,136
地熱	1,336	3,052	6,567	11,108	16,268	19,787
海洋エネルギー	2	18	111	232	398	542
RESのシェア	13.3%	16.8%	24.6%	34.8%	43.1%	49.7%
節約されたエネルギー (レファレンス・シナリオ比)	0	59,263	141,744	224,873	296,208	386,780

代替シナリオ

表25 熱供給

ペタジュール／年

	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
地域熱供給施設	2,766	4,278	5,686	6,678	7,647	7,229
化石燃料	2,623	3,588	3,836	3,260	2,565	1,630
バイオマス	141	385	893	1,498	2,033	2,096
太陽熱温水システム	0	278	758	1,508	2,378	2,725
地熱	2	27	198	412	671	777
コジェネレーションによる熱供給	13,470	12,708	13,303	15,172	16,950	18,884
化石燃料	12,845	10,750	8,966	8,258	8,180	8,367
バイオマス	617	1,717	3,576	5,374	6,250	7,275
地熱	8	241	762	1,540	2,520	3,242
直接利用¹⁾	116,034	111,832	106,796	104,229	100,048	93,333
化石燃料	82,523	75,426	63,791	52,877	42,080	31,330
バイオマス	33,222	34,247	36,708	39,115	39,616	38,666
太陽熱温水システム	158	1,330	4,484	9,374	14,439	18,794
地熱	131	829	1,814	2,863	3,914	4,542
総熱供給量¹⁾	132,271	128,817	125,785	126,079	124,645	119,446
化石燃料	97,992	89,764	76,592	64,395	52,825	41,327
バイオマス	33,979	36,348	41,176	45,987	47,898	48,038
太陽熱温水システム	158	1,608	5,243	10,882	16,817	21,519
地熱	142	1,097	2,774	4,815	7,104	8,562
RESのシェア (RES電力を含む)	26%	30%	39%	49%	58%	65%
節約されたエネルギー (レファレンス・シナリオ比)	0	15,514	36,890	53,048	67,899	86,005

表26 二酸化炭素排出量

100万トン／年

	2003	2010	2020	2030	2040	2050年
火力発電所	8,185	7,471	6,419	5,061	4,170	3,587
石炭	5,492	5,000	4,070	2,851	2,298	1,977
褐炭	709	508	257	110	22	0
天然ガス	1,208	1,453	1,821	1,982	1,812	1,605
石油	777	510	271	118	37	5
コジェネレーション (熱電併給)	2,374	1,697	1,162	1,025	1,034	1,072
石炭	784	453	201	85	26	23
褐炭	302	183	110	46	12	0
天然ガス	1,148	983	818	872	986	1,042
石油	139	79	34	22	10	8
電力・蒸気生産による 排出量	10,559	9,168	7,581	6,086	5,204	4,659
石炭	6,276	5,452	4,271	2,936	2,324	2,000
褐炭	1,011	691	367	156	34	0
天然ガス	2,356	2,436	2,639	2,854	2,797	2,646
石油・ディーゼル	916	589	305	140	48	13
部門別排出量	23,124	21,379	18,798	15,917	13,608	11,594
2000年レベル比	100%	92%	81%	69%	59%	50%
産業	3,738	3,115	2,519	2,161	1,817	1,488
家庭・サービス	3,257	3,118	2,752	2,208	1,636	1,097
運輸	5,635	5,961	5,964	5,552	5,106	4,604
電力・蒸気生産	10,198	8,824	7,187	5,677	4,779	4,217
地域熱供給	296	362	375	319	269	187
人口(100万人)	6,310	6,849	7,562	8,139	8,594	8,888
一人あたり排出量(トン／人)	3.7	3.1	2.5	2.0	1.6	1.3
節約されたエネルギー (レファレンス・シナリオ比)	0	4,224	11,115	18,628	25,794	33,895

日本のエネルギー[r]eボリューション

飯田哲也

環境エネルギー政策研究所 所長

■ 自然エネルギーを封じ込める国策

2008年、日本は温室効果ガスを削減どころか6%以上も増大させたまま、いよいよ京都議定書の約束期間に入った。最大の原因は、エネルギーの構造改革を置き忘れてきたことにある。

日本のエネルギー政策や構造は、世界から取り残された「前近代的な遺物」のようだ。事実上の地域独占かつ垂直統合された電力市場、無用で危険さわまりない穴ヶ所再処理工場の稼働を筆頭とする異常なまでの原子力への傾斜、そして時勢に逆行する石炭火力発電の急増などだ。

それにもかかわらず、1年をかけて追加対策を審議し、2007年12月に答申された政府の「京都議定書目標達成計画」（目達計画）では、炭素税や国内排出量取引の議論を封じ込めたまま、導入は先送りされた。自然エネルギー政策は、実質的に「新エネRPS法」に限られており、しかも目達計画の見直しとは別の場で、しかも目達計画とは無関係に、「2014年までに1.63%」という目標が先に決定された（2007年3月）。温暖化対策としての自然エネルギー政策は、封じ込められた格好だ。

2006年5月に経済産業省が公表した「国家エネルギー戦略」でも、自然エネルギーは異常に軽視されている。原発や省エネなどの中長期の数値目標を強調しながらも、自然エネルギーに関する数値目標は見あたらない。安倍前政権の「美しい星50」には、自然（新）エネルギーの文字すらない。こうして世界の潮流に反し、古い構図の狭間にある日本の自然エネルギー市場は崩落しつつある。

エネルギーの脆弱な日本にとって、自然エネルギーは環境と経済・産業を両立させ、しかもエネルギー安全保障や地域の活性化に貢献するなど、多方面にメリットのある最重要な「国策」である。にもかかわらず、日本は、第8章の「政策提言」で述べられている政策課題がいずれも当てはまる、「エネルギー暗黒列島」となっている。

■ 3つの悲劇

日本は明らかに「自然エネルギー政策後進国」だ。歴史的に見て、日本の自然エネルギー市場には少なくとも3つの悲劇があり、政策の失敗を繰り返している。

第1の悲劇は太陽熱温水利用だ。1980年代初頭の第2次石油ショックの直後に一大ブームとなった太陽熱温水器市場は、そ

の後、石油価格の低落とともに崩壊し、今日では新規設置数よりも撤去数の方が多い状況となっている。訪問販売のスクャンダルなどいくつかの要因があるが、構造的な問題は、日本のエネルギー政策に「温熱政策」、すなわち暖房や給湯などの低温熱利用という構えがないことだ。このため暖房や給湯市場は、電力、ガス、石油の各業界による草刈り場となり、太陽熱温水器市場が入る余地はなかった。

第2の悲劇は風力発電である。日本の風力発電市場は、電力会社が1992年に開始した電気料金と同じ価格による風力発電からの電気の購入によって、市場が離陸し始めた。その後、1998年に電力会社は、購入価格を引き下げる代わりに購入契約期間を15~17年に延長する自主的な措置を公表した。これが、電力会社の思惑に反して日本に風力発電の普及をもたらした。これに慌てた電力会社は、「風力発電が系統に影響がある」という理由を口実にして、北海道電力を皮切りに風力発電の自主総量規制を設けた。これを転機に、日本の風力発電市場は冷え込んだままだ。

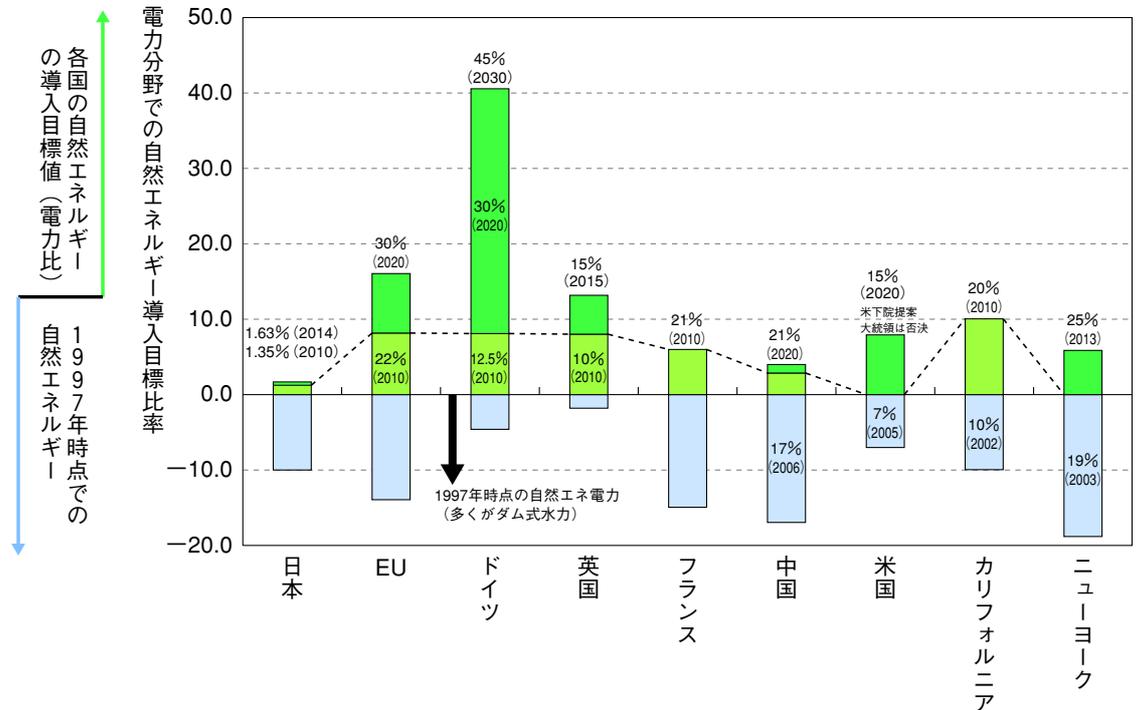
そして、日本の太陽光発電市場が第3の悲劇を迎えつつある。ドイツの市場が急成長し、今や日本の4倍の規模になっている一方で、2005年度で国の補助金が打ち切られた結果、日本の太陽光発電市場は初めて減少に転じた。現在、太陽光発電市場を下支えしているのは、電力会社が1992年から継続している自主的な余剰電力購入メニューのみであり、政策としていびつだ。

■ 東京都のイニシアチブ

大きく立ち後れている国の自然エネルギー政策に対し、一部の地方自治体で新しい挑戦が始まっている。とくに東京都は、これまでも省エネラベルや算定・報告・公表の導入など、地球温暖化対策で国の政策を一步リードしてきたが、これをいっそう加速している。2006年4月に、2020年までにエネルギー利用の20%を自然エネルギーに転換する「再生可能エネルギー戦略」を公表した。さらに、昨年9月には脱温暖化都市モデルの構築を宣言し、2007年3月には500億円の温暖化対策基金を設置するとともに「太陽エネルギー普及会議」を立ち上げ、2007年6月1日には国に先駆けて、温室効果ガス排出規制の義務づけと太陽エネルギー普及の制度化、そして地方環境税の導入などを骨子とする「東京都気候変動対策方針」を発表した。温暖化政策や自然エネルギー制度づくりでも国をリードする姿勢を鮮明

世界各国がめざす自然エネルギーの高い普及目標

政治的な意思にもとづいて高い目標値を掲げ、適切な政策措置を導入すれば、自然エネルギーは確実に普及すると認識が各国に広がっている。2005年11月現在、43カ国、21州（米国、カナダ）が政策的な導入目標を掲げている。



にした東京都は、「日本のカリフォルニア州」の役割を果たしている。

東京都と同様に、自然エネルギー政策を目玉とする地方自治体の環境エネルギー政策がここ数年、相次いでいる。太陽光発電の買い取り価格上乗せ補助（滋賀県、2005年）、太陽光発電トップランナー事業（佐賀県、2006年4月）、新エネルギー提言書（福島県、2006年9月）などである。東京都を筆頭とするこれらの新しい環境エネルギー政策は、まさに日本のエネルギー[r]eボリューションの先駆けといえる。

■ 市民からの変革

また、再生可能なエネルギー未来に向けた市民のイニシアチブもある。一つが、「市民出資の風車」や「市民出資の地域エネルギー事業」など、地域や市民による自然エネルギーのオーナーシップへの取り組みだ。北海道浜頓別町にできた日本初の市民風車「はまかぜちゃん」を皮切りに、すでに11基の市民風車と2カ所の地域エネルギー事業が立ち上がっている。地域の自然エネルギーの恩恵を地域に取り戻す取り組みだ。

もう一つが、ここしばらくで急速に広がってきたグリーン電力である。グリーン電力とは、2001年に東京電力、ソニー、環境エネルギー政策研究所の協働で構築した「グリーン価値」を取引する仕組みである。自然エネルギー政策が充実している欧州では下火だが、市場主導の文化が支配的な米国では活発に取り組まれている。

日本では1億kW時未滿と、新エネRPS法の義務量の1%程度にすぎないが、期待は広がっている。現状では、企業会計で経費として処理できないこと、二酸化炭素の削減価値が制度的に担保されていないなど、制度的には十分に整っていないが、経済産業省も環境省も制度的な支援をするべく法改正の検討を進めている。

グリーン電力は、環境政策の原則である汚染者負担原則（PPP）に沿わないものの、民間企業の温暖化対策として、また一人ひとりが選択できる特徴を活かした広がりのあるツールとして、さらには地方自治体が政策に活用できるツールとして、応用の余地は大きい。坂本龍一氏や小林武史氏などのアーティストやクリエイター、MTV、パタゴニアなど消費者感度の高い企業などでの利用が広がりつつある。また、2007年には東京都がすべての事業所で「5%のグリーン電力利用」を義務づけた。そして再生紙と同じように、地方自治体による公共調達・率先導入から自然エネルギー市場を拡大することを狙った「グリーンエネルギー購入フォーラム」が、東京都、グリーン購入ネットワーク、環境エネルギー政策研究所の協力で、2007年6月に発足している。

人類の歴史は、変革は必ず周縁から始まることを教えてくれる。すなわち、再生可能な未来への変革と脱皮（[r]eボリューション）は、すでに日本でも始まっているのだ。

後記

この報告書の要点は、自然エネルギーの大幅な導入とエネルギー効率の向上で、2050年までに全世界の温室効果ガス排出量を半減（1990年比）させられるということにある。一方、日本政府の掲げる「美しい星」（Cool Earth）ビジョンは、同じく2050年までに世界で半減を打ち出しながら、いつを基準に半減なのかさえ定かでない。また、日本が温暖化対策として進めようとする原子力の拡大や二酸化炭素回収・貯留技術はリスクが大きく、時間もかかりすぎて気候変動の抑止にまにあわない。非現実的なオプションにお金と時間を費やす余裕は、もう残されていないのだ。

日本のような「先進国」は、2050年までに温室効果ガスを80%以上も削減することが求められている。グリーンピース・ジャパンは、この『エネルギー[r]eボリューション』世界シナリオ日本語版のあと、温室効果ガス80%カットの道筋を描き出す日本シナリオの作成に取りかかる。私たち一人ひとりの努力も大切だが、最大の鍵は政治的意思と、経済や法律も含む制度設計（＝社会デザイン）にある。脱温暖化のチャレンジは、やるかやらないかではなく、与えられた時間内に答えを出さなければ地球の生態系と人類文明が危うくなる、究極の宿題といえるだろう。

グリーンピース・ジャパン事務局長 星川 淳

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ポリューション

日本語版制作・発行：2008年1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>

監修・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



一歩小ネエ
にEビーエしホ9[n]



浮氷を照らす太陽の光。ロシア・バイカル湖。