



日本の電力部門における 二酸化炭素削減の可能性

- 燃料転換シナリオによる排出削減量の試算

中田真佐美 小田潤一郎 Charles Heaps David von Hippel



日本の電力部門における 二酸化炭素削減の可能性

- 燃料転換シナリオによる排出削減量の
試算

Carbon Dioxide Emissions Reduction Potential in Japan's
Power Sector

- Estimating Carbon Emissions Avoided by a Fuel-Switch Scenario

中田真佐美 小田潤一郎 Charles Heaps David von Hippel

©WWF - World Wide Fund for Nature
2003年10月

要旨

日本のエネルギー転換部門の二酸化炭素（CO₂）排出量は、日本全体のCO₂排出量の30%以上（間接的な排出も含めて）を占めると見積もられている。エネルギー転換部門のCO₂排出量の大半を占める電力部門での削減努力は、日本の気候変動対策の重要な位置を占める。

本報告では、エネルギー供給部門に関する2つのシナリオを設定し、各シナリオにおけるCO₂排出量を定量的に推定し比較することで、日本の電力部門におけるCO₂排出量削減ポテンシャルと、社会全体が負担するコストを明らかにした。2つのシナリオとはBusiness as Usual（BAU）シナリオ（現在の経済トレンドと電力需給トレンドが続いた場合のシナリオ）とPower Switch（PS）シナリオ（電力供給部門において非化石燃料およびCO₂排出の少ない燃料への転換を積極的に進めるとともに、電力需要部門において機器の高効率化をより積極的に行った場合のシナリオ）である。Power Switchシナリオは予測ではなく、「積極的」で「現実的かつ達成可能」なアプローチによる削減ポテンシャルを示すものである。

PSシナリオがBAUシナリオと大きく違っているのは、石炭から天然ガスへの代替をより積極的に行っていること、再生可能エネルギー、ガスのコジェネレーションとLNGのコンバインドサイクル発電の導入を明示的に重要視していること、原子力発電の段階的廃止（いくつかの原子力施設の「早期」引退を伴う）、エネルギー効率改善と省エネルギーのための方策（特に電力消費削減に関する方策）を、家庭部門、業務部門、産業部門といった幅広いエネルギー需要家に対して導入することである。

本報告はこれらの変化により、環境負荷が低減したことを示している。電力部門について見ると、BAUシナリオにおけるCO₂排出量に比べ、PSシナリオの排出量は全体的に見てきわめて低く、2020年におけるPSシナリオのCO₂排出量は、2000年に比べて20%削減される。2020年のBAUシナリオと比較すると、2020年のPSシナリオのCO₂排出量は31%低くなる。日本全体の温室効果ガス排出量について見ると、BAUシナリオに比べてPSシナリオは、2010年にはCO₂換算で9400万トン、2020年には1億9000万トン削減される。2000年から2020年の間に、BAUシナリオに比べてPSシナリオは、CO₂換算で約20億トンの温室効果ガスを削減する。

PSシナリオは、電力供給部門と電力需要部門の全般にわたって、より多くの資本投下が必要となるが、これらの支出のほとんどは、燃料費の節約分で打ち消される。実際、PSシナリオでは将来において多くの設備容量を節約することができるため、まとまった規模の再生可能エネルギーが追加されるが、2000年から2020年における電力部門の資本投下と運転維持費合計は、

BAUシナリオと比べて14兆円削減される。さらに電力以外のエネルギー転換部門における資本投下と運転維持費合計が0.5兆円削減される。需要部門では、エネルギー効率の改善措置と家庭および業務部門へのコジェネレーション、再生可能エネルギー（太陽電池）の導入によって、PSシナリオでは2000年から2020年の間に約20兆円の追加的な資本投下が必要となるが、BAUシナリオに比べて4兆4000億円の輸入燃料への支払が節約できるので、2000年から2020年の間の日本の正味の費用は、BAUシナリオに比べて約1.1兆円しか増加しない。

全体的に見ると、PSシナリオでは、BAUシナリオに比べて、2020年には日本の年間温室効果ガス排出量を31%削減でき、正味の費用増加（追加的投資 - 輸入燃料の支払）は分析対象期間全体で約1.1兆円、1年当たりで570億円になる。温室効果ガス排出量1トン当たりの正味の削減費用を見ると850円になる。この費用はたとえば、電力料金に0.3%の税を20年間上乘せすることとおおよそ等価である。従って、得られる利益に比べるなら、要求される正味の投資額は非常に小さいといえる。

注

本報告書では、適宜ページ内に脚注を設けたが、報告書全体を通して特に注意すべきことをここにまとめる。

- 本文中での「CO₂ 排出量」および「温室効果ガス (GHG) 排出量」という表現の混在について
本報告書の焦点は電力部門からのCO₂ 排出量だが、本文中では、「CO₂ 排出量」と「温室効果ガス (GHG) 排出量」が混在している。これは、CO₂ 以外の温室効果ガスもシナリオの計算に含まれるためである。ただし、値はすべてCO₂ 換算に直しており、全体に占める割合も1%以下となっている。

- CO₂ 排出削減量について

要旨（2ページ）、5.1.1. 温室効果ガス排出量（45ページ）、および図5-2（46ページ）において提示されているCO₂排出削減量（温室効果ガス排出削減量）には、供給側（発電所）からの排出量だけでなく、一部の需要側の排出量も含まれている。

よって、純粹に供給側からの排出量のみを表示した図3-4（25ページ）と図5-1（46ページ）は、図5-2と単純な比較をすることはできない。

目次

要旨	2
1. はじめに	6
1.1. 気候変動と二酸化炭素排出量の関係	6
1.2. 京都議定書と日本の温室効果ガス排出の特徴	8
1.3. 発電部門	10
2. WWFジャパン パワースイッチ・プロジェクト	13
2.1. プロジェクトの概要	13
2.2. 分析手法	13
3. BAUシナリオ	15
3.1. BAUシナリオの設定	15
3.1.1. 電力需要	16
3.1.2. BAUシナリオの電力需要	19
3.1.3. 電力供給部門およびその他のエネルギー転換部門： BAUシナリオ	20
3.1.4. BAUシナリオの結果：電力部門	23
4. PSシナリオ	26
4.1. PSシナリオの設定	26
4.1.1. 需要側のエネルギー効率改善技術（槌屋治紀の分析）	27
4.1.2. 電力部門の設定	29
4.1.3. PSシナリオの結果および考察	42
5. PSシナリオの利点および実現するにあたっての障害	45
5.1. シナリオの比較	45
5.1.1. 温室効果ガス排出量	45
5.1.2. エネルギー・セキュリティと燃料構成	47
5.1.3. BAU、PSシナリオの相対的な利点およびコスト	49
5.2. PSシナリオを実現するにあたっての障害や制約	54
6. 結論	55

謝辞

本分析のレビューをしていただき、大変有益な指摘やコメントをくださった鈴木達治郎、槌屋治紀、飯田哲也各氏に感謝の意を表します。この重要なトピックに関して分析する機会を与えていただくとともに、分析の方向性を与え、分析の進展を見守ってくださった鮎川ゆりか、山岸尚之、Liam Salter、Stephan Singer、Sible Schone、Katherine Silverthorne、Lara Hansen、Mark Kenber各氏およびその他のWWFメンバー各氏に、厚くお礼申し上げます。さらに、David von HippelとCharles Heapsは、本分析の姉妹版に当たるWWFアメリカ・パワースイッチ・プロジェクトの主要メンバーの一人である故Steven Bernow氏を追悼し、本分析を捧げます。Bernow氏は、彼の知性、ユーモア、溢れる好奇心に触れる機会があったすべての人々のよき指導者であり、インスピレーションを与える先導者でした。

1. はじめに

世界の平均気温は、歴史的に見るとここ数十年の間、非常に高い割合で上昇してきたことが、近年の地球規模の気温測定により明らかになった¹。さらに地球大気中に熱を閉じ込めることを促す汚染物質の人為的な排出が、これら地球の気温上昇の少なくとも一つの要因になっていることが、研究によって示唆されている。汚染物質のほとんどは、化石燃料の燃焼によるものである。世界のエネルギーサービス（様々な形態のエネルギーの使用によってもたらされる）に対する需要が増えるに従って、そして非化石エネルギー源への急速な転換がなかったために地球の気温は上昇し、それに付随する影響が今後数十年間でますます深刻になることが予想されている。世界の主要な工業国の一つとして、日本は重要な位置を占めており、また地球温暖化の原因となるガスの累積排出量に関しても、重要な位置を占めている。このことから、いわゆる「温室効果ガス」の排出削減のために積極的な政策を実施することは、他の工業国と同様、日本にとって必須といえる。

本報告は日本の中期的（2000年～2020年）なエネルギー「シナリオ」について、定量的な比較を行うものだが、特に発電部門に焦点を当てている。本報告は、現在の日本経済と発電部門のトレンドが続くとしたBAU（Business As Usual）シナリオと、非化石燃料および二酸化炭素（以下、CO₂）排出の少ない燃料への転換を積極的に進めるとしたPS（Power Switch、パワースイッチ）シナリオに対し、汚染物質の排出量に与える影響、そして日本社会全体の費用を比較している。この比較の目的は、持続可能な環境のために日本の電力部門がどのように変化することが必要で、その変化による影響はどの程度になるのかを明らかにすることである。

¹ Mann, M.E. and Bradley, R.S. and Hughes, M.K., Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium: Inferences, Uncertainties, and Limitations, *Geophysical Research Letters*, Vol. 26, No. 6, p.759, 1999.

1.1. 気候変動と二酸化炭素排出量の関係

全地球の気候と生態系は、大気中のCO₂、メタン、亜酸化窒素、クロロフルオロカーボン類、そしてオゾンの蓄積によって変化してきている。これらのいわゆる温室効果ガス（GHGs）は、化石燃料

の燃焼はもちろん、農業や産業活動、森林破壊を含む様々な人間活動によって排出されている。

「地球温暖化」、「気候変動」、そして「温室効果」はすべて、人間活動によってヒート・トラッピングあるいは「温室効果」ガスが排出されつづけることで人類や生態系にもたらされる脅威を指す共通の言葉である。これらの排出は、大気の組成を過去に例のないほどの速さで変えている。地球の気候システムは複雑であるため、これらの変化による影響を正確に予想することは難しいが、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）によって召集された世界の先駆的科学家が説明しているように、モデル研究によると、大気中のCO₂濃度が産業革命以前の水準の2倍に達すると、地球の平均気温は40年から100年の間に1.4～4.8℃上昇する²。現在の温室効果ガス排出がこのまま続くと、21世紀の中ごろには、大気中のCO₂濃度が産業革命以前に比べて2倍になり、それに付随して大気の温度も上昇するだろう。参考としてあげるなら、地球の平均気温が今日的水準から2℃高い状態にあったことは過去一万年間なく、5℃高い状態は過去300万年間経験したことがない。さらに、単に気候変動のポテンシャルの大きさだけでなく、その変化の速さは人類や生態系が適応するうえで深刻なリスクをもたらし、環境や社会経済に重大な帰結をもたらす可能性がある³。

石炭、石油、天然ガス、バイオマス等、炭素を含むすべての燃料は、燃焼させるとCO₂や他の「温室効果ガス」を大気中に放出する。過去1世紀、化石燃料の燃焼、森林破壊、その他の排出源等から排出される温室効果ガスは、対流圏や低い部分の大気中（地上から10～12km）の温室効果ガス濃度を上昇させ、大気の毛布の実質的な「厚さ」を厚くした。この「厚くなった毛布」は、地球の気候を変化させる引き金になると考えられる。

地球温暖化はさらに大きな二次的影響をもたらす、そのうちいくつかは人類、および我々とともにこの惑星を共有している植物、動物に深刻な影響を与える可能性を持つ。これらの影響には極域の氷が溶けることによる海面の上昇、降水量のパターン変化、植生の変化といったことが含まれる。地球規模でまき起こるこうした影響が、時間的、空間的にどのような結果をもたらすのかについては、厳密なことはいまだにわかっていない。

2 IPCC、第三次評価報告書、2001年

3 ここで展開されている一般的な内容については、たとえばLazarus, M., Hoppel, D.V., Hill, D. and Margolis, R., A Guide to Environmental Analysis for Energy Planners, Stockholm Environment Institute--Boston Center, 1995. をもとにした。気候変動問題やその影響に関する近年の優れた概要についてのより詳しい情報は、下記のウェブサイト(英文)を参照のこと。http://www.gcrio.org/ipcc_docs.html

1.2. 京都議定書と日本の温室効果ガス排出の特徴

「京都議定書」は、人間活動に起因する気候変動に対する国際的取り組みの一里塚であった。これは先進工業国に対して、特定の期間における6種類の温室効果ガスの排出削減量を規定するものである。この議定書は、1997年に日本の京都で開催されたCOP3（国連気候変動枠組条約第3回締結国会議）において採択された。京都議定書は先進工業国（日本を含む）に対して、温室効果ガス排出量を1990年水準から、平均5.2%削減することを要求している。排出削減は2008年から2012年の期間を対象としている。

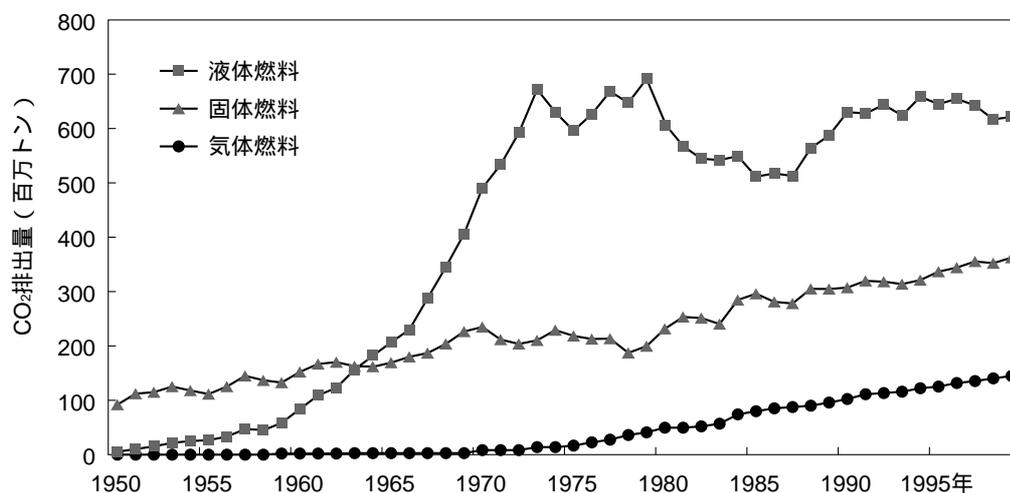
日本は2002年に京都議定書を批准した。議定書の定める期間において、日本は温室効果ガス排出量を1990年水準から6%削減することに同意した。2001年における日本の温室効果ガス排出量はCO₂換算⁴で12.99億トンであり、これは1990年の排出量である12.35億トンからすでに5.2%増加している。日本の温室効果ガス排出量（CO₂換算）のうち90%以上はCO₂である⁵。図1-1は1950年以降の日本における燃料別CO₂排出量の変化を示しており、これによると1970年代および1980年代（部分的に）の間、CO₂排出量は概ね増加しており、また石炭から石油、天然ガスへの燃料転換が行われたことがわかる。図1-2によると、2000年における主要なCO₂排出源は、発電部門を含むエネルギー産業部門（31%）、その他の産業部門（33%）、そして運輸部門（21%）となっている⁶。

4 温室効果ガスインベントリオフィス、<http://www-gio.nies.go.jp/>

5 本報告では、二酸化炭素を全分子量すなわちCO₂の重量で示している。また、二酸化炭素排出量は「カーボン重量」で示されることもある。1,000トンのCO₂は、 $1,000 \times 12$ （炭素の原子量）/ 44 （CO₂の分子量）つまり273トンの炭素と同量である。

6 気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）に基づくデータを示した。UNFCCCの用いている定義、計算方法、パラメータは、日本政府の用いているものと若干異なる。

図1-1：1950年から2000年における日本の燃料種別CO₂排出量の推移⁸



2000年時点で日本は世界第4位のCO₂排出国であり、日本より多く出している国はアメリカ、中国、そしてロシアのみである。人口当たりの排出量で比較すると、2000年時点で日本は37位で、1人当たり約9.35トンのCO₂を排出している⁷。

日本政府による「地球温暖化対策推進大綱」によると、日本経済の各部門や特定の温室効果ガス排出源、吸収源に対して定めた1990年比の目標伸び率は、エネルギーからのCO₂(0%)、非エネルギーからのCO₂・メタン・亜酸化窒素(-0.5%)、革新的な技術発展と国民のさらなる努力(-2%)、HFCs・PFCs・およびSF₆(+2%)、吸収源(-3.9%)となっている。全体の削減目標に対し不足している分(1.6%)は排出量取引、クリーン開発メカニズム(CDM)、共同実施(JI)等、京都メカニズムによって認められる削減量によって補われる¹⁰。このプランは、すべての部門における省エネ努力やエネルギー効率改善のための技術の適用により、日本のCO₂排出量が削減されうること示唆している。実際、WWFアメリカやWWF-EU政策オフィスによって報告された、温室効果ガス削減ポテンシャルの分析は、エネルギー変換部門がもっとも効率的に温室効果ガス排出を削減できることを示している。しかしながら、日本のエネルギー利用効率がすでに比較的高い水準にある(参考として、2000年における日本の国民1人当たりの年間電力消費量は8.3MWhであるのに対して、アメリカでは13.8MWhとなっている¹¹)ことを考えると、エネルギー効率改善や省エネルギーを進めるだけでは、京都議定書に定められた削減目標を達成できないことが予想される。

7 次のウェブサイト(英文)を参照のこと。http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/tre_coun.htm

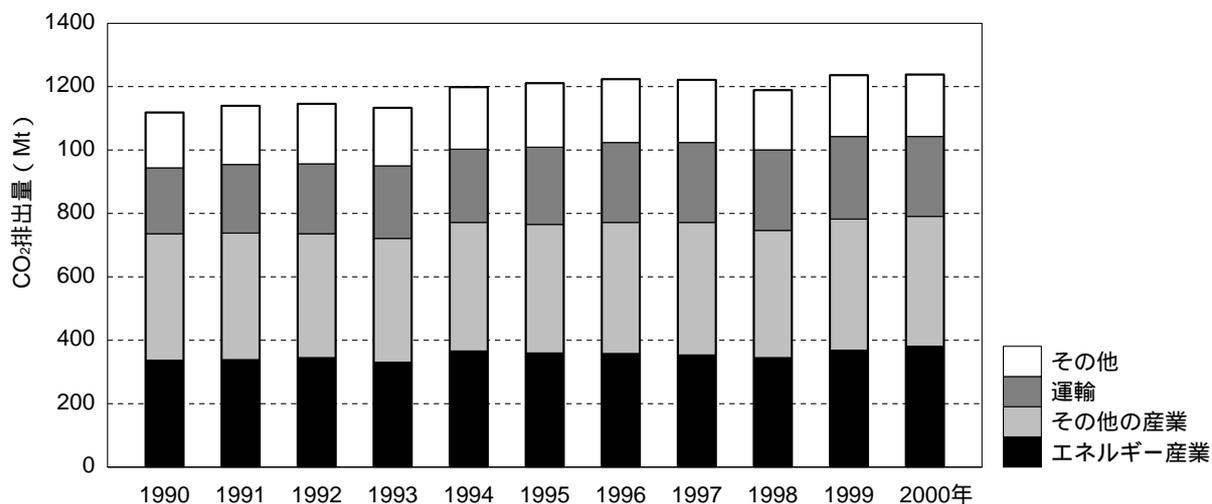
8 Marland, G. and Boden, T., *Historical CO₂ Emissions in Japan by Fuel, 1970 to 2000*, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory.

9 UNFCCC Greenhouse Gases Inventory Data Base, <http://ghg.unfccc.int>

10 日本政府、地球温暖化対策推進大綱、2002年3月 http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/2002/0319ondanka_s.html を参照のこと。

11 国際エネルギー機関、<http://www.iea.org>

図1-2：1990年から2000年における日本の部門別CO₂排出量⁹



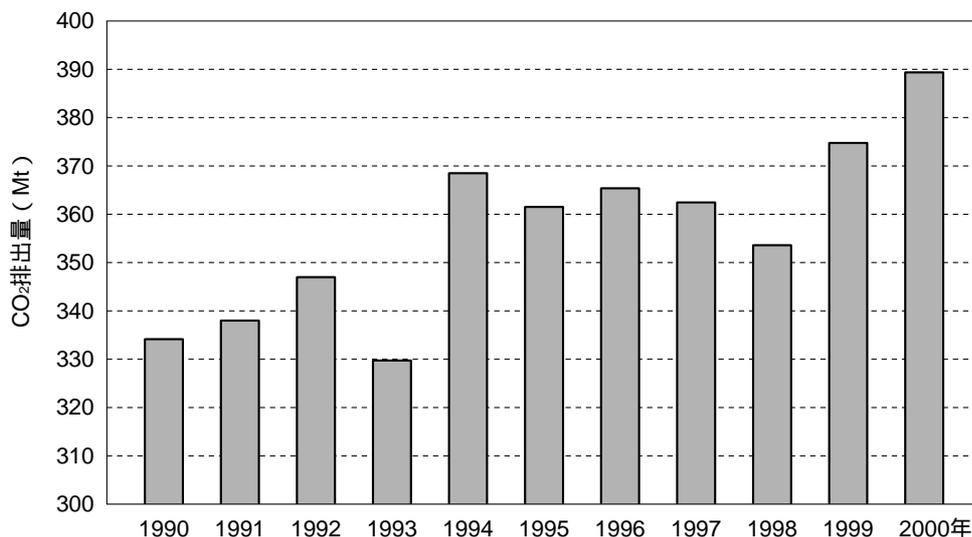
1.3. 発電部門

エネルギー転換部門に関連するCO₂排出量のみで、日本全体のCO₂排出量の30%以上（間接的な排出も含めて）になる。ゆえに、発電部門（エネルギー転換部門の排出量の大半を占める）における温室効果ガス削減に関する方策は、日本の気候変動対策の重要な位置を占める。従って、日本の発電部門は、よりCO₂排出量の少ない燃料やエネルギー源へ変更していく必要がある。図1-3にあるように、日本の発電部門からのCO₂排出は、1990年から2000年の間で16.5%増加した。これは、日本の発電量が増加したためで（1990年から2000年の間で27.8%の増加）、火力発電所の発電量の割合はやや減っているにもかかわらず、このような増加となった。図1-4は、1990年から2000年の間に燃料別発電量の割合がどのように変化したかを示している。

最新の長期エネルギー需給見通しによると、温室効果ガス削減のために、日本政府が現在考えている発電部門の燃料転換策としては、原子力発電の大幅な利用拡大、熱変換効率の高い技術を用いた石炭火力プラントの利用増加、天然ガス利用の増加と発電時のガス燃焼技術の改善、そして再生可能な燃料および資源を用いた発電のための様々な技術導入等がある。これらの方策の中で、政府の、あるいはそれに準ずる研究グループが最も注目しているのは、原子力発電

12 日本エネルギー経済研究所、計量分析部編、エネルギー・経済統計要覧、省エネルギーセンター発行、2002年版、2002年2月

図1-3：日本の発電部門からのCO₂排出量の推移¹²



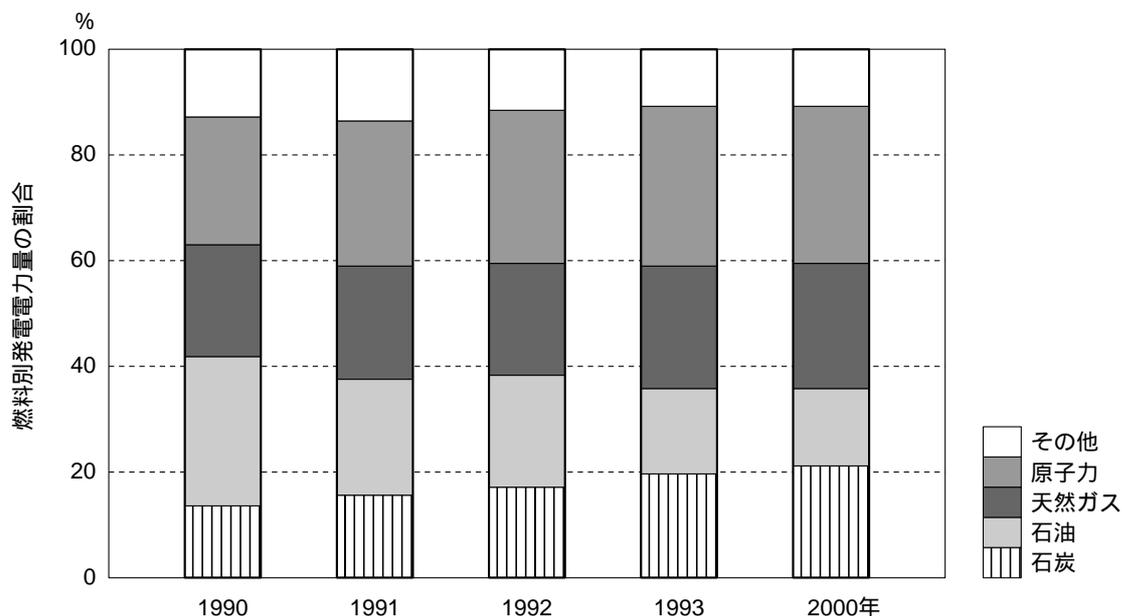
の増加によるCO₂排出削減ポテンシャルである。

経済産業省による最新の長期エネルギー需給見通しは、2010年までの日本のGDP成長率を年2%と想定している¹⁴。このGDP想定は、エネルギー消費量の増加、原子力や化石燃料（特に石炭）の利用促進の必要性、そして再生可能エネルギー利用の適度な増加を意味している。経済産業省の見通しでは、日本の一次エネルギー消費量に占める石油の割合は、1999年の52%から2010年には45%に減少しているが、石炭および原子力の一次エネルギー換算量は（新しい石炭および原子力のプラントを建てることは日本では極めて困難な状況にあるにもかかわらず）増加している。経済産業省の「基準ケース」では、2010年における、再生可能エネルギーを含む非在来型のエネルギー（新エネルギー）の一次エネルギー消費量に占める割合は1.6%にとどまっております、「目標ケース」では3%に増加する。他の機関による（政府のエネルギー見通しに沿った）CO₂排出削減シナリオはすべて、京都議定書で定められた温室効果ガス排出削減目標を（国内対策のみで）遵守することは難しいだろうとの結論に達している。

上であげた困難な状況に加えて、地球規模で進展しているエネルギー市場の自由化は、日本のCO₂排出削減の目標達成に向けた行動に、マイナスの影響を与えるかもしれない。日本国内には化石燃料資源がほとんど存在しない。日本は国内のすべてのエネルギー市場に対して強く規制をかけており、エネルギー政策としてエネルギーの安定供給の維持を非常に重要視している。政府は多額のエネルギー

- 13 経済産業省資源エネルギー庁長官官房総合政策課編、日本エネルギー経済研究所計量分析部協力、総合エネルギー統計、平成13年版、2002年7月
- 14 経済産業省総合資源エネルギー調査会総合部会/需給部会、今後のエネルギー政策について、2001年7月

図1-4：1990年から2000年における日本の発電量の内訳¹³



補助金を使うことで、日本のエネルギー市場を競争によるリスクから守り、エネルギー政策に関する権力を中央に集中させてきた。しかしながら、グローバルなエネルギー市場自由化の流れは避けられない。経済産業省は、日本の国内エネルギー市場はある程度、完全に公正な競争を取り入れて、市場自由化を促進する必要があることを理解している。近年、日本の国民はエネルギー（特に原子力発電）の真のコスト（社会的コストや環境コストも含む）を認識し、施設建設への風当たりが強くなっていることもあって、リスクが高く、硬直的で、大規模で、集中型であるとのイメージがある発電システムへの民間投資はより少なくなっている。結果として、経済産業省によるプロジェクトのタイムスケールで原子力発電所の増設が進まなければ、京都議定書に定められた日本のCO₂排出削減目標を達成することは、ますます困難になる。

市場の自由化は日本における発電用の石炭使用量を増加させるだろう。事実、経済産業省は、石炭使用量が増大することを予測している。自由化された競争市場のもとでは、電気事業者は原子力発電所のようなリスクの高い投資を避け、効率の改善や、石炭のように安価な化石燃料の使用によるコストの削減に取り組むだろう。世界全体の石炭資源量は他の化石燃料に比べて大きく、多くの輸出国から安定した供給が得られる。競争的な環境下では（そして、環境負荷の低い電源を選択する追加的インセンティブがない状況では）、コスト削減のために、電気事業の意思決定者は、コストの高い水力や他の再生可能エネルギーによる発電設備を避けるだろう。またエネルギー価格が低いと、エネルギー効率改善あるいは省エネルギーの経済的魅力が低下してしまう。これら2つの要因により、日本の発電部門からのCO₂排出量は増加するだろう。政府の行っている政策と異なった政策がとられないと、市場自由化によって政府は環境問題に対するコントロールパワーが小さくなる可能性がある。

2. WWFジャパン パワースイッチ・プロジェクト

2.1. プロジェクトの概要

WWFは、2003年にパワースイッチ！キャンペーンを発足させた。このキャンペーンでWWFは、主要な温室効果ガス排出源である発電部門が、大幅な排出量削減にむけて行動し、石炭火力発電所ではなくクリーンな電力に速やかに移行するよう求めている。

WWFはこのキャンペーンを実行するにあたって、日本の発電部門におけるCO₂排出量削減の最大ポテンシャルを調査すべく、そして日本の公式のエネルギー需給見通しとは異なる、達成可能で現実的なもう一つのパワースイッチ・シナリオをつくりあげるべく、日本のパワースイッチ・エネルギー・シナリオ・プロジェクトを立ち上げた。

この研究の主要な目的は、達成可能な「パワースイッチ」提案を日本の意思決定者に対し説明し、理解してもらうことにある。この研究は、日本の発電部門あるいは政府における政策決定者に影響を与え、また国民が「Business as Usual」に代わる、より効果的で実現可能性の高いCO₂排出削減の選択肢が存在すると認識することにもつながるだろう。このような認識が広まり、現在の政策や方策の変更を望む声が高まることも、本プロジェクトの一つの目的である。また以前に、WWFジャパンによって以下の研究が行われた：榎屋治紀、『温暖化問題解決のためのWWFシナリオ - 2010年、2020年に向けての指標 - 』¹⁵、環境エネルギー政策研究所、『日本での「2010年自然エネルギー10%」の可能性について』¹⁶。本プロジェクトはこれらの研究成果を取り入れている。

2.2. 分析手法

日本のエネルギー部門のモデル化、およびパワースイッチ（PS）シナリオにおける発電部門の分析に関して、ソフトウェアLEAP

¹⁵ 榎屋治紀、温暖化問題解決のためのWWFシナリオ - 2010年、2020年に向けての指標 -、システム技術研究所、WWFジャパン委託、2001年7月

¹⁶ 環境エネルギー政策研究所、日本での「2010年自然エネルギー10%」の可能性について、WWFジャパン委託、2003年3月

(Long-range Energy-environment Alternatives Planning) を用いた。LEAPはストックホルム環境研究所のポストン・センターで開発された、シナリオベースのエネルギー・環境モデルである。LEAPのシナリオは、ある地域もしくはある経済圏において、将来の人口や経済成長、技術、物価、そして他のパラメータを変化させた場合、エネルギーの消費、転換、生産がどのようになるかを包括的に計算するソフトウェアである。データ構造は柔軟性が高く、LEAPは技術的な仕様や利用者側が与える詳細な設定を反映させて分析することができる。LEAPは最適化モデルではなく、むしろ利用者が現在および将来のエネルギー需給について設定（つまりエネルギーと環境に関するシナリオを設定）し、これらシナリオが特定の基準（コスト、燃料の多様性、環境制約）をどの程度満たしているかを評価する（需要側由来の）「ボトムアップ」モデルである。また、LEAPの詳細なデータベースに対し入力データを整理し、記録し、あるいは異なるエネルギーシナリオの分析を行うためにMS Excelのような他のソフトウェアも用いた。

プロジェクトチームは、エネルギー需給に関するデータを、概してエネルギー転換部門、その中でも特に発電部門に関するデータに重点をおいて、可能な限り収集し整理した。また、エネルギー需要に影響を与える活動データ（産業の生産量、人口、輸送インフラ、農産物、そしてこれらと同様にエネルギー需要の「駆動体となる」他の項目について、過去、現在、そして利用可能であれば将来予測のデータ）を集めた。次に「基準年」（すべてのデータが利用可能であった年のうち、最も新しい年 = 2000年）のエネルギー需給状況、BAUエネルギーシナリオ（日本の政府系機関による既存の予測に基づいている）そして日本の発電部門がCO₂排出量削減のための対策を積極的に行った場合のPSシナリオを、定量的に記述した。ただし、PSシナリオは予測ではなく、日本が実現可能なエネルギーシナリオのひとつに過ぎないということに注意されたい。日本のLEAPモデルのために用意した基準年および複数の予測に関するデータの多くを、Excelのワークブックのかたちで本分析の附録とした¹⁷。

LEAPを用いてBAUおよびPSシナリオをシミュレーションすると、それぞれの温室効果ガスの（そして他の汚染物質の）排出量が計算され、（各技術や燃料に関するコストデータを入力していれば）2つのシナリオのコスト比較も行うことができる。これらのシナリオの定式化、そしてシナリオ結果の要約については、本分析の3章および4章に示した。

17 附録はWWFジャパンのウェブサイトから入手可能。
<http://www.wwf.or.jp/climate/powerswitch/psjpn03.htm>

3. BAUシナリオ

3.1. BAUシナリオの設定

BAUシナリオは、仮に現在のエネルギー政策やエネルギー需給トレンドが今後も継続した場合に考えられるエネルギー需給パスを表現している。本報告では、経済産業省や日本エネルギー経済研究所が発表しているBAUシナリオの概要にできるだけ近いBAUシナリオを作成した。分析対象期間を20年とし、エネルギーデータが相互に検証可能でかつ最近の年である2000年を基準年とした。基準年におけるエネルギーデータは複数の文献から参照することができるが、本報告では基本的に日本エネルギー経済研究所『エネルギー・経済統計要覧』¹⁸と経済産業省『総合エネルギー統計』¹⁹のデータを用いた。BAUシナリオにおける仮定やエネルギーデータの予測は、経済産業省および日本エネルギー経済研究所の文献²⁰を参考にした。2010年までの予測や政策に関しては、経済産業省の文献を参考にした²¹。

経済産業省、日本エネルギー経済研究所はともに、「基準」シナリオと「目標」シナリオの概要をまとめている。本分析では、これらの「基準」シナリオを若干修正し、将来のトレンドを分析するための「BAUケース」とした。また、「目標」シナリオは、本報告独自の仮定はもとより、環境エネルギー政策研究所の分析²²、地球温暖化問題解決のためのWWFシナリオ²³、WWF ジャパンや他の研究機関の分析を融合させ、PSシナリオとした。

BAUシナリオにおける経済や人口構造のトレンドといった全般的な予測に関しては、経済産業省「今後のエネルギー政策について」（長期エネルギー需給見通し）（2001年7月）²⁴を参考にした。経済産業省は数年おきに日本のエネルギー政策を見直しており、2001年のこの見通しは現段階で最新の資料となっている。しかし、この見通しは過去10年もしくはそれ以後の傾向とは相反する予測があるように思われる。問題があると思われる事項は、2020年まで実質経済成長率が2.0%/年になるとしている一方で、エネルギー消費量やCO₂排出量はさほど増加しないとしていること、省エネ

18 日本エネルギー経済研究所
計量分析部編、前掲書。

19 経済産業省資源エネルギー
庁長官官房総合政策課編、
前掲書。

20 伊藤浩吉、わが国の長期エ
ネルギー需給展望 - 環境制
約・市場自由化の下での
2020年までの見通し -、
日本エネルギー経済研究所
第374回定例研究会、2002
年11月

21 本分析では、経済産業省の
最新の予測値を参考にし
た。しかし、この予測値は
現在(2001年、2002年)のト
レンドを反映しておらず、
エネルギー消費量、CO₂排
出量に関して高い伸びを予
想している。現在(2001年、
2002年)のCO₂排出量のト
レンドは、経済産業省のシ
ナリオよりも低いことに注
意する必要がある。また、
経済産業省は近いうちに予
測を見直す予定である。

22 環境エネルギー政策研究
所、前掲書。

23 榎屋治紀、前掲書。

24 経済産業省総合資源エネ
ルギー調査会総合部会/需給
部会、前掲書。

ルギーが飛躍的に加速するとしていること（近年の傾向として、各部門で機器のエネルギー効率が改善されても、省エネルギー効果は限定的である²⁵）、原子力発電所立地の困難性を低く見積もっていること、エネルギー価格が着実に上昇していくと仮定していること、農林水産業、建設業の生産指数が上昇していくとしていることの5点である。日本エネルギー経済研究所は、この経済産業省の見通しをいくつかの点で修正している。たとえば、日本エネルギー経済研究所の報告書では、実質経済成長率に関して2010年までを1.5%/年、その後2020年までを1.1%/年としている。しかし、この成長率も近年の実績値より高い値である（1997年から2002年までの成長率は平均0.7%/年²⁶）。

現状（2001年の成長率0.4%/年、2002年の成長率0.2%/年）をもとに、他の文献²⁷の推定値も参考にしつつ、本報告ではGDP成長率を新たに仮定することにした。本報告では近年の傾向を考慮し2005年までの成長率を0.5%/年、その後2020年まで1.5%/年とすることにした。この場合、2020年のGDP規模は日本エネルギー経済研究所の報告と同程度になる。これより低い成長率を仮定することは、エネルギー消費量を低く見積もることにつながるため、この程度の成長率を仮定することにし、また同時にGDP成長率以外の経済パラメータについても、日本エネルギー経済研究所の予測と同様の設定を行った。

3.1.1. 電力需要

BAUシナリオの電力需要に関しては、近年の電力消費傾向が継続し、急進的な省エネルギー政策が施行されず、大幅な政策の変更は行われず、ということ仮定した。個々の電気機器の効率は上昇するが、同時に、使用時間の増大、保有数の増大、機器の大型化等が進むため、結果的に電力消費量は増加していくことになる。このような傾向は、エネルギー価格が急落した1986年から続いている。

25 省エネルギーセンター、
<http://www.eccj.or.jp>

26 内閣府経済社会総合研究所、国民経済計算（SNA）、
<http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/menu.html>

27 伊藤浩吉、前掲書。
服部恒明、他、2025年までの経済社会・エネルギーの長期展望、電力中央研究所、Y99018、2000年5月

家庭部門

家庭部門における基礎をなすデータは、世帯数である。人口に関してBAUシナリオでは、2007年にピーク（1億2800万人）を迎え、その後徐々に減少していき2020年には1億2400万人となるが、世帯数は2010年まで上昇し、その後は2010年とほぼ同程度の規模（5030万世帯）を保つ。これは、世帯規模（世帯当たりの人数）の

減少傾向が2010年以降も継続すると仮定したことによる。

家庭部門におけるエネルギー効率改善は1990年代とほぼ同様の速度で進むとした。冷蔵庫やテレビは、サイズが大きくなると同時に、世帯当たりの保有数が増大するが、その一方で、技術的な改良が進み、運転時間当たりのエネルギー消費量は減少する。これらの影響を合計すると、冷蔵庫およびテレビの世帯当たり電力消費量は減少することになる。このケースとは逆に、エアコン、ウォッシュレット、食器洗い機・乾燥機、衣類乾燥機、パソコンは保有率の増大が著しいため、機器の効率改善が進むが、世帯当たりの電力消費は増加することになる。結局、世帯当たりの全電力消費量は増大する。

業務部門

産業、運輸、家庭部門と比べ、業務部門は、経済指標、エネルギー消費量ともに最も増加の著しい部門である。卸小売業における床面積の増大、単位床面積当たりのエアコン台数の増大、事務所・ビルにおけるコンピュータやコピー機等のオフィス機器の増大が、業務部門の電力消費量増大をもたらしており、この伸び率は他のどの部門よりも大きい。BAUシナリオでは、2020年までの20年間に40%以上床面積が増大するとした。2020年には、業務部門の床面積が23億5000万m²に達する。年伸び率は1.77%/年である。冷房用および厨房用のエネルギー強度（単位床面積当たりのエネルギー消費量、床面積は卸小売、事務所・ビル等全部門の合計値）は、分析対象期間にわたって上昇するが、暖房用および給湯用のエネルギー強度は低下していく。動力その他（ポンプ、ファン、冷蔵庫、照明等）に関するエネルギー強度は2005年まで増加し、2010年代はほぼ一定であり、その後2020年代は徐々に低下していくとした。

産業部門

産業部門において、製紙・パルプ業および重化学業の生産量（重量ベース）は2000年から2020年を通して増加するが、窯業および鉄鋼業の生産量は徐々に低下する。非鉄金属業、金属機械業の付加価値生産額指数は今後増加し、食品業、繊維業は2005年まで上昇した後、徐々に低下していく。農林水産業、鉱業の生産指数は大幅に低下していくが、建設業は2005年以降微増（0.2%/年）するとした。

産業部門における使用燃料は、石炭、コークス、石油製品（特に重油）から、電力へシフトしてきたが、この傾向が今後も続くとし

た。したがって、産業部門における電力消費量は増加していくことになる。産業部門は他の部門に比べ、エネルギー効率改善、省エネルギーのポテンシャルが高いといえるが、これは、部分的には、経済産業省のエネルギー効率改善に関する政策が、他の部門において同種の政策を導入するよりは、おそらく容易に導入できることによる。加えて、今後20年間は、伝統的な重工業よりもエネルギー集約度が低い産業が、より支配的になっていくことが予想される。歴史的に見ると、1986年まではエネルギー効率が改善され、活動一単位当たりのエネルギー消費量は減少し続けた。1986年以降1997年まではわずかにエネルギー消費量が増大する傾向にあり、1997年以降はほぼ一定である。

BAUシナリオにおける産業部門は、燃料、セクターごとに異なる様相を呈するが、一般的に石炭や重油のエネルギー強度は減少し、都市ガスのエネルギー強度は上昇する。電力のエネルギー強度は、上昇するセクターもあれば減少するセクターもある。

運輸部門

運輸部門の基本的な活動量は、旅客部門だと輸送量（人・km）、貨物部門だと輸送量（トン・km）である。BAUシナリオでは2000年から2020年平均で、旅客部門の輸送量（人・km）は0.8%/年、貨物部門の輸送量（トン・km）は0.5%/年それぞれ増加する。

日本における運輸部門のエネルギー消費量は、1986年までほぼ一定であったが、それ以降増加している。ガソリン乗用車（同排気量）の燃費は向上しているが²⁸、燃料消費を増大させる他の要因が支配的であり²⁹、結果として運輸部門のエネルギー消費量は着実に上昇する傾向にある。

BAUシナリオの旅客部門は、輸送量（人・km）に占める自家用乗用車、航空の割合が2020年まで増加し、船舶、バス、鉄道の割合は減少する。輸送量（人・km）当たりのエネルギー消費量は、エコタイプの自家用車（標準的な自動車と比較し燃費が2倍よい）と航空を除いて増加する。BAUシナリオの貨物部門は、船舶輸送からトラック輸送にシフトしていく。輸送量（トン・km）当たりのエネルギー消費量は、トラック、航空は減少するものの、鉄道、船舶は一定とした。

2000年時点で、運輸部門における電力消費は、ほとんどが鉄道によるものである。鉄道部門においてディーゼル車両から電気車両へ徐々にシフトしているが、同時に輸送量（人・km）当たりのエネルギー消費量もわずかながら上昇する傾向にある（0.5%/年）。

28 日本自動車工業会、<http://www.jama.or.jp/lib/jamagazine/200208/05.html> を参考のこと。

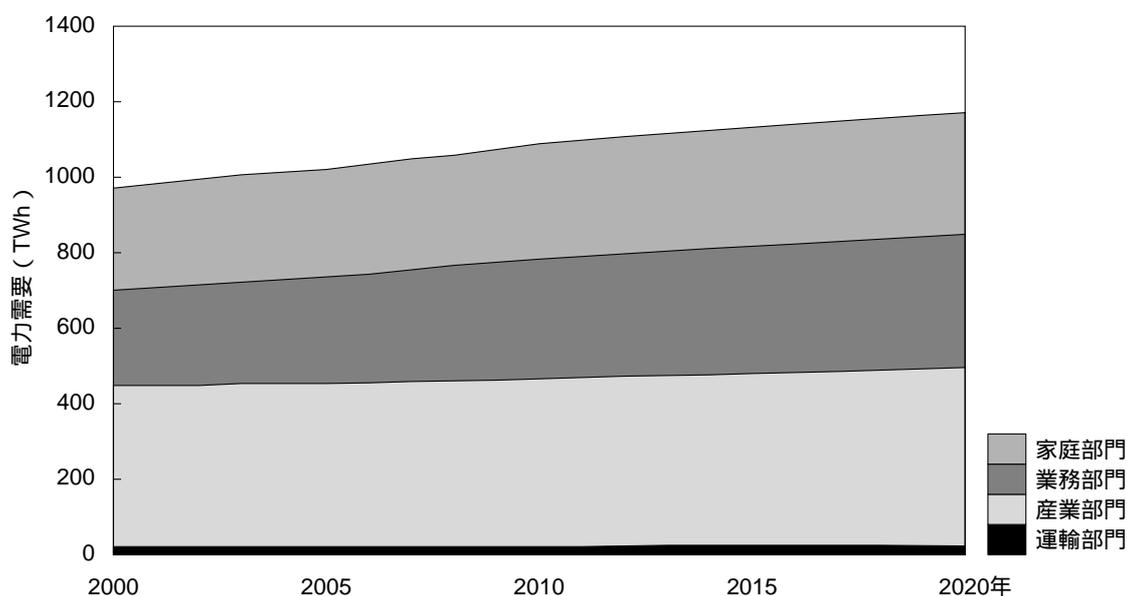
29 燃料消費を増大させる要因として、輸送量（人・km）の増大、自家用車保有数の増大、車両重量および排気量の上昇や車両の大型化（特にSUVの普及）、平均乗車率の低下等があげられる。

貨物鉄道の輸送量（トン・km）当たりのエネルギー消費量は一定とした。これらの仮定から、運輸部門における電力消費量はわずかながら増加していく。一方、電気自動車に関する近年の研究開発の進展にもかかわらず、BAUシナリオでは、分析対象期間中の電気自動車の総台数の増加はわずかと見積もられており、結果として、電気自動車の消費電力量はないに等しいとされている。鉄道・道路部門での電力消費に関してこれらを仮定した結果、運輸部門での電力消費量は、（以下において示すように）基準年においてもあまり多くないが、分析期間中、比較的ゆるやかに増加する。

3.1.2. BAUシナリオの電力需要

図3-1は、すでに述べたとおり経済産業省および日本エネルギー経済研究所の文献の値を、LEAPモデルでシミュレートして求めたBAUシナリオにおける電力需要の結果である。BAUシナリオにおける電力需要は、2000年は968TWhだったが、2020年には1168TWhになる。この結果が示していることは、仮に本報告でモデル化したように現在のトレンドが継続する場合、電力消費量は2020年まで平均して0.9%/年で上昇していき、2010年以降の10年間よりも、2010年までの伸び率が高いということになる。部門により活動量の増減が異なることもあり、業務部門の電力消費量は他のどの部門よりも伸び率が大きく（対象期間の平均値1.7%/年）、その後、家庭部門0.9%/年、産業部門0.5%/年、運輸部門0.3%/年と続く。

図 3-1：BAUシナリオにおける電力需要の予測



BAUシナリオでは、他のエネルギー源と比較し電力需要の伸び率は大きい。全体のエネルギー需要は、対象期間平均で0.56% / 年である。最終需要に占める電力の割合は2000年で22.6%であるが、2020年には24.4%になる。主要なエネルギーで、電力のほかに需要の伸びが著しいのは都市ガスであり、1.8% / 年で上昇していく。

3.1.3. 電力供給部門およびその他のエネルギー転換部門：BAUシナリオ

電力需要およびすでに述べてきた需要部門に加えて、LEAPモデルにより、他のエネルギー転換部門も簡便にはあるがモデル化した。エネルギー転換部門は、自国の、もしくは輸入してきた燃料を最終需要家が使いやすいエネルギーに転換する部門である。個々のエネルギー転換部門は異なる燃料を生成したり、もしくは燃料を輸送したりするために設備の増強や運転を行う必要がある。LEAPによりモデル化したエネルギー転換部門は以下のとおりである。

- 電力の送配電、都市ガスの輸送
- 地域熱供給
- 発電所
- 都市ガス製造
- 石油精製
- コークス製造
- LNG受入設備
- 炭鉱
- 天然ガス生産
- 石油生産

需要部門が要求する燃料を供給できるように、適宜生産規模を拡大していくようにした。本報告は、電力に的をしぼっているため、BAUシナリオにおける発電設備について以下、詳細に説明していく。エネルギー転換部門のモデル化はもちろん、BAUシナリオの電力部門のモデル化に関する詳細な内容は、附録¹⁷を参照のこと。

経済産業省および日本エネルギー経済研究所による仮定

すでに述べたBAUシナリオにおける電力需要をまかなう電力供給シナリオをLEAPモデルでシミュレーションするため、最初に経済産業省の報告書（2010年まで）³⁰および日本エネルギー経済研究所の報告書（2020年まで）³¹のデータを収集した。表3-1は日本

30 経済産業省総合資源エネルギー調査会総合部会 / 需給部会、前掲書。

31 伊藤浩吉、前掲書。

表3-1：電気事業者の発電電力量予測（日本エネルギー経済研究所）

(TWh)	1980	1990	2000	2010	2020
石炭	25 (5%)	75(10%)	170(18%)	213(20%)	246(22%)
LNG	78(15%)	165(22%)	246(26%)	301(29%)	319(28%)
石油	231(45%)	203(27%)	84 (9%)	64 (6%)	50 (4%)
その他	16 (3%)	21 (3%)	23 (2%)	23 (2%)	23 (2%)
原子力	82(16%)	201(27%)	321(34%)	351(34%)	404(35%)
水力、地熱等	86(17%)	87(12%)	90(10%)	95 (9%)	98 (9%)
合計	518	753	936	1047	1139

注：表の数値は四捨五入しているため、合計に誤差が生じている場合がある。詳しい数値については、付録¹⁷を参照のこと。

エネルギー経済研究所が示した電気事業者の燃料別発電電力量の実績および予測である。原子力や再生可能エネルギーによる発電に関する個別政策に対する議論、およびBAUシナリオにおける設定を次に説明していく。

表3-1は電気事業者による発電電力量を示している。電力はそのほかに、自家発電（電気事業者以外）によるものもある。経済産業省は、自家発電の発電電力量増大および設備容量増大の傾向は今後も続くと報告している。2000年における自家発電設備は28GWであり、そのうち石油が18GW、石炭が10GW、都市ゴミ発電（MSW）が1GW、ガス火力が0GWとなっている。2000年の発電電力量は151TWhとなっている。

原子力

原子力開発に関する国策は、電力部門からのCO₂排出量に強い影響を与える。歴史的に見ると、日本の原子力発電所の設備利用率は、80%もしくはそれ以上であった^{32,33}。100万kWクラスの原子力発電所を立地すると、年間6TWhないし8TWhの発電電力量になる。従って、新規の発電所の数により、電力部門の温室効果ガス排出量の見通しがつく。表3-2は、政府および日本エネルギー経済研究所による原子力の設備容量に関する予測を示している。原子力の新規立地に関する議論が今後どのように展開するか不確実性が高く、BAUシナリオにおいてさえも（まして新規立地が加速されているシナリオではなおさら）様々な見通しが成り立ち得る。

原子力発電所の寿命を40年と仮定するならば、いくつかの発電所は2020年までに廃止しなければならないが、本分析では、BAU

32 日本エネルギー経済研究所 計量分析部編、前掲書。

33 設備利用率とは、100%の出力で年間どれだけ運転した発電量であったかという指標である。従って、設備利用率が80%のときは、8760×0.8時間フル稼働した発電量と同等の発電量であったといえる。

表3-2：原子力の設備容量に関するBAU予測

年	2002	2010 (増減基数)	2020 (増減基数)
経済産業省		61.85 GW (+ 13)	
日本エネルギー経済研究所	45.91 GW	51.90 GW (+ 5)	61.50 GW (+ 7)
環境省 ³⁴		53.25 ~ 59.7 GW (+ 7 ~ 13)	

シナリオにおいて、廃棄される原子力発電所はないとした。政府は原子力発電所の稼働期間を60年に延長することが可能であると判断しているようである³⁵。この場合、45.91GWの原子力の設備容量は2020年もしくはそれ以降も維持される（日本の最も古い商業炉は1960年代後半から1970年代初期のころに建設されている）。日本エネルギー経済研究所のBAUシナリオでは、現在建設中の3基と2010年までに新たに2基が立地されるとしている。日本エネルギー経済研究所の予測では、2010年から2020年にさらに7基のプラントが追加され、合計の設備容量が61.50GWになるとしている。経済産業省は、2010年までに10基ないし13基の新規増設を見込んでおり、2010年時点で設備容量は61.85GW（全電源の設備容量に占める割合が23.2%）に達するとしている。本分析では、将来の原子力発電所の設備容量として、日本エネルギー経済研究所の設定を主に用いる。

再生可能エネルギー

このまま原子力発電および火力発電を推進すれば、技術、環境、社会、そして政治的な問題が引き起こされるにもかかわらず、日本の電力部門において、再生可能な燃料もしくは再生可能エネルギーによる技術への転換でCO₂削減を進める可能性は無視されてきた。電力部門の意志決定者の中で、再生可能エネルギー技術に対する信頼感が欠けているのは、再生可能エネルギーベースの発電技術は経済性を伴わず、日本の高い経済成長を支えるほど十分な電力は供給できないといった彼等の信念によるものである。

将来の原子力発電設備容量に関する予測とは対照的に、再生可能エネルギー導入量予測に関しては、違いはあまりない。日本エネルギー経済研究所のエネルギー供給予測は、再生可能エネルギーによる供給が2010年は石油換算で合計400万kl、2020年は500万klであった。経済産業省とNEDOの予測は、ほぼ同じ規模である。表3-3に、日本エネルギー経済研究所のBAUシナリオ³⁶を含めた、再生可能エネルギーベースの設備容量予測をまとめる。

34 環境省地球環境局、温室効果ガス削減技術シナリオ策定調査検討会報告書、2001年3月（<http://www.env.go.jp/earth/report/h12-03/6-1.pdf>より入手可能）

35 原子力発電所は、当初40年間の運転期間を想定し建設されてきたが、原子力発電に関する近年の工学的評価によれば、より長期間にわたって運転が可能とされている。よって、日本の原子力発電所も運転期間が延長されることが予想される。

36 伊藤浩吉、前掲書。

表3-3：再生可能エネルギーによる電源の設備容量予測

設備容量(GW)	1999	2010	2020
太陽光発電	0.21	2.54	3.65
風力発電	0.08	0.78	1.23
MSW ³⁷	0.90	1.75	2.19

他の仮定

コジェネレーションの設備容量は、2010年まで2.3%/年、2010年から2020年まで1.5%/年で増加するとした。日本エネルギー経済研究所および経済産業省は、燃料電池の利用が10.1%/年で増加していくと予測しており、本分析では2020年までこの伸び率で燃料電池の設備容量が増加するとした。

3.1.4. BAUシナリオの結果：電力部門

電力需要が増加することは、発電電力量および設備容量が増加することを意味する。本項では、電力需要量や追加される発電設備、電源構成、発電電力量に関するBAUシナリオの設定、BAUケースにおける電力部門からの温室効果ガス排出量について、以下に説明する。

設備容量および発電量

図3-2は、BAUシナリオにおける電源ごとの設備容量の推移を示している。2000年から2020年の間に追加される新規設備（合計で69GW）のほとんどは、石炭火力、原子力、LNG火力である。2000年から2010年の間で、19GWの石油火力が廃止されるので、実質的な新規追加設備量は50GWである。揚水式水力、再生可能エネルギーを用いた電源も若干追加される。2000年時点における燃料電池の設備容量はたったの12MWであるため、年10%で設備容量が増加するとしても、2020年時点で100MW未満の設備容量しかない。BAUシナリオにおける2020年時点の全設備容量が310GW近くあることを考えると、燃料電池の割合は非常に小さいといえる。

図3-3は、BAUシナリオにおける電源ごとの発電電力量を示している。発電電力量の推移は、それほど大きく変化していないが、石炭火力、LNG火力、原子力の発電電力量の割合は対象期間において増加する。

³⁷ MSW（都市ゴミ発電）は、PSシナリオにおいて再生可能エネルギーに含めないこととした。MSWは、次の章で詳しく議論する。

図3-2：BAUシナリオにおける発電設備容量

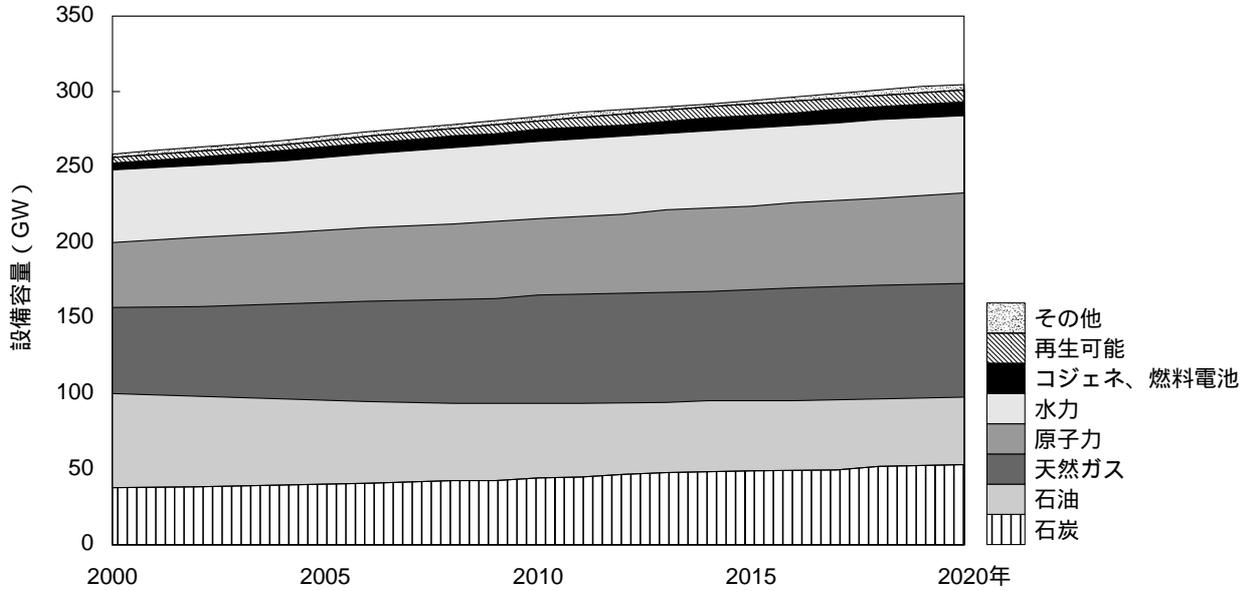
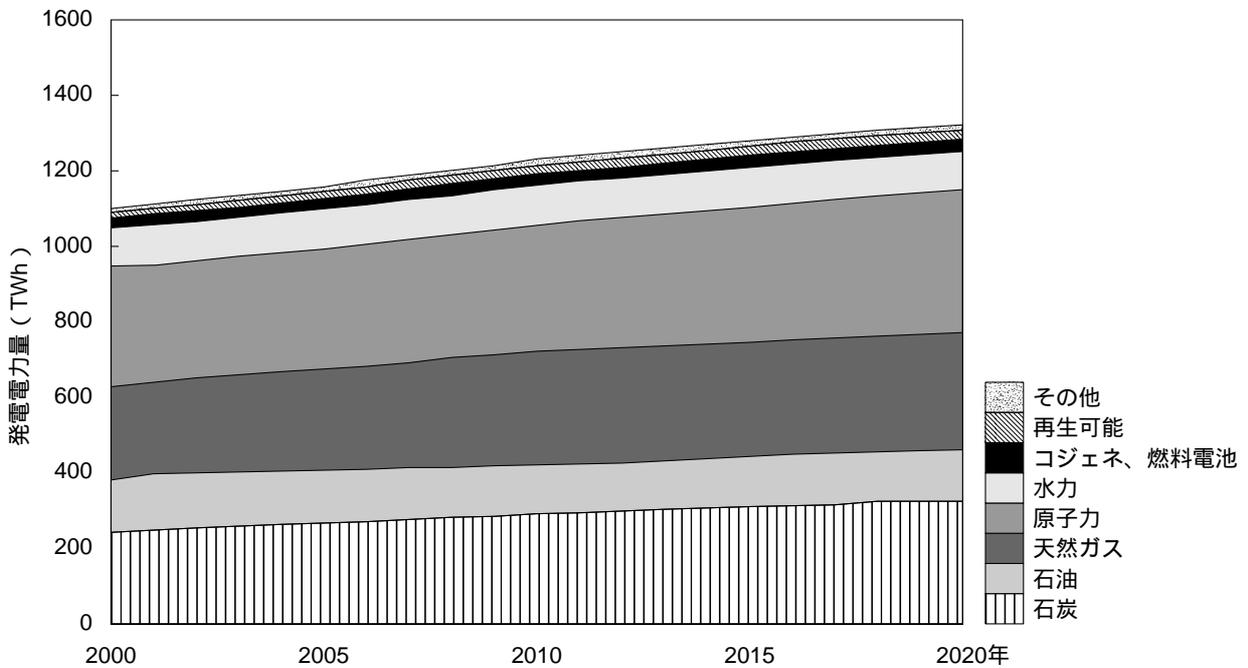


図3-3：BAUシナリオにおける発電電力量



BAUシナリオにおいて、電力需要(および送配電ロス)を賄えるように、2020年に発電電力量は1,320TWhに達し、2000年から2020年までの期間平均で年1.0%の伸び率となる。(すべての燃料を含む)電力部門の一次エネルギー消費量は2000年時点で2,669TWh(9,611PJ)であったが、2020年のBAUシナリオでは、3,430TWh(12,340PJ)になる。2020年の発電用燃料構成は、原子力36%、LNG22%、石炭24%、石油10%、水力・地熱・バイオマス廃棄物等の国内で生産され

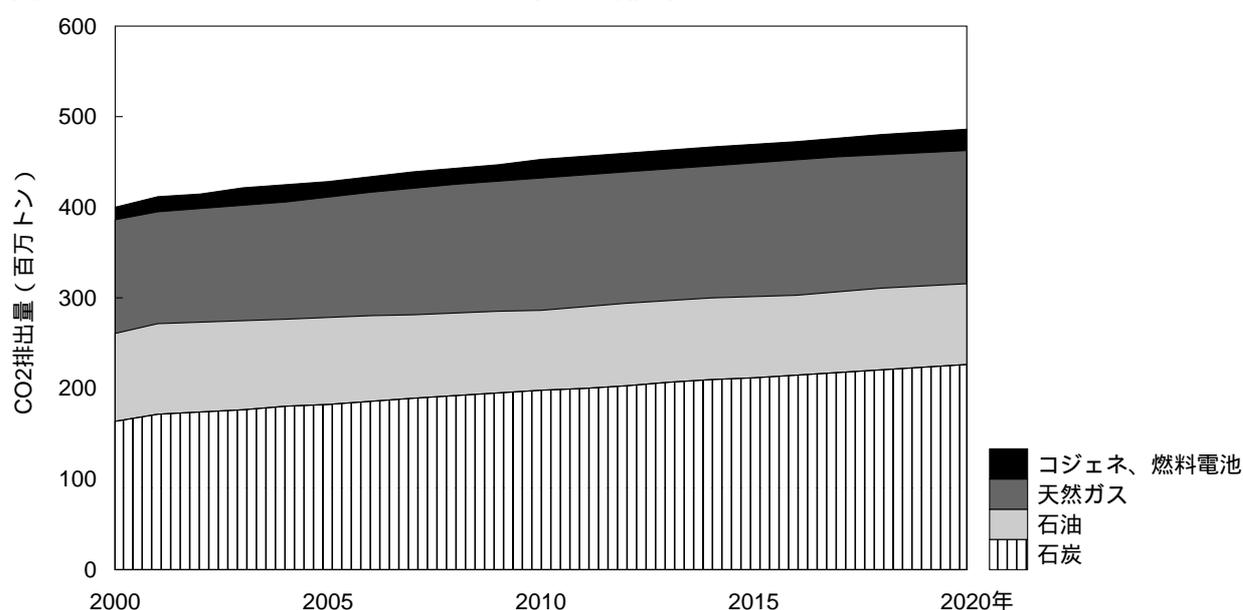
るエネルギーをベースとした電源が8%となる。

温室効果ガス排出量の見通し

2020年の発電部門からの温室効果ガス排出量（CO₂換算）は、図3-4³⁸に示したように2000年比21%増加の480Mt-CO₂となる。2020年において、石炭火力からの発電電力量は発電部門全体の24%でしかないにもかかわらず、発電部門に占める石炭燃焼による温室効果ガス排出量は47%近くになる。

38 温室効果ガス排出量を推定するために用いた、発電部門で使用した燃料に対する係数は、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の排出係数データベースを用いた。日本政府は、総発熱量ベースの単位燃料当たりの発熱量データを用いているため、IPCCの排出係数と異なる係数を用いている。

図3-4：BAUシナリオにおける温室効果ガス排出量



4. PSシナリオ

パワースイッチ（PS）シナリオでは、発電技術や使用燃料を炭素含有量の低い、あるいは炭素を含まない資源に変更するとともに、エネルギー効率の改善や需要側での発電を適したタイミングで積極的に導入することで、日本の温室効果ガス排出量をどの程度削減できるかを示した。

4.1. PSシナリオの設定

PSシナリオがBAUシナリオと大きく違うのは、石炭から天然ガスへの代替をより積極的に行っていること、原子力発電の段階的廃止（いくつかの原子力施設の「早期」引退を伴う）、再生可能エネルギー、ガスのコジェネレーションとLNGのコンバインドサイクル発電の導入を明示的に重要視していること³⁹、エネルギー効率改善と省エネルギーのための方策（特に電力消費量削減に関する方策）を、家庭部門、業務部門、産業部門といった幅広いエネルギー需要家に対して導入していることである。

上にあげた全般的な特徴に加えて、PSシナリオはWWF ジャパンですすでに行われた2つの研究結果（榎屋治紀、温暖化問題解決のためのWWFシナリオ - 2010年、2020年に向けての指標 - ⁴⁰、環境エネルギー政策研究所、日本での「2010年自然エネルギー10%」の可能性について⁴¹）を反映している。榎屋治紀の研究は、需要側にエネルギー効率改善技術を適用した場合のCO₂排出量削減ポテンシャルの見積もりを出している。環境エネルギー政策研究所の研究は、2010年までに再生可能エネルギーの導入量をどの程度進めることができるか評価している。本研究におけるPSシナリオは、両研究の多くの要素を組み入れている。このシナリオの目的は、持続可能で、クリーンかつ、実現可能なシナリオといったWWF ジャパンの観点を融合させ、詳しく説明し、定量化することにある。またこのシナリオは、日本のエネルギー需給の姿を変えようという国民の意思と積極的な政策によって、達成可能であるとWWFは考えている。

³⁹ コンバインドサイクル発電の設備容量は、PSシナリオにおいて「内生的に」計算されており、これはより多くの発電設備容量が必要であれば、LNGのコンバインドサイクル発電の設備容量を増加させるようにLEAPモデルで設定したことによる。

⁴⁰ 榎屋治紀、前掲書。

⁴¹ 環境エネルギー政策研究所、前掲書。

4.1.1. 需要側のエネルギー効率改善技術 (榎屋治紀の分析)

PSシナリオの目的達成のために、我々は一方でエネルギー転換部門、特に発電部門において燃料代替や技術の変化によってどの程度温室効果ガスや他の汚染物質の排出を削減できるかに注目した。発電設備の寿命は非常に長いものの、発電部門からの温室効果ガス排出量を削減するための対策としてポテンシャルが最も大きいのは、省エネルギーやエネルギー効率改善を通して電力需要を低下させることである。1990年から2000年の間に電力消費量が766TWhから978TWhへと27.8%増加し、日本の発電部門からのCO₂排出量は16.5%増加した⁴²。この増加率と国内資源が限られていることを考えると、電力供給部門の変化のみで温室効果ガス排出量を削減するのは難しいと予想される。

実際、他の国においても、省エネルギーによるCO₂およびその他の温室効果ガスの排出量削減ポテンシャルは、非常に大きいことが示されている。アメリカの温室効果ガス排出量削減ポテンシャルに関する研究(WWF US study⁴³)の中でも、2005年以降、エネルギー効率改善の措置が電力需要の増加を完全になくし、発電部門からのCO₂排出量も同様に削減されている。これと同様の方法で、WWF-EU政策オフィスの報告書は、27%の電力需要を削減できることを示している⁴⁴。WWFジャパンもまた、需要サイドにおける省エネルギーの促進やエネルギー効率改善の技術の導入によるCO₂排出量削減ポテンシャルを評価する広範囲にわたる研究を委託した(榎屋治紀による分析、以下榎屋分析)。人口当たりの電力消費量を見ると日本はすでにアメリカの半分であるから⁴⁵、アメリカと比べ日本では、省エネルギーやエネルギー効率の改善はCO₂排出量削減に効果的でないと考える人もいるかもしれないが、榎屋分析は省電力技術を適用することによるCO₂排出量削減は、現在においても重要であるということを示している。

榎屋分析において、鍵となるエネルギー効率改善技術は次のようなものである⁴⁶。

- 変電部門：アモルファス型の変電器(改良型の配電用柱状変圧器)
- 産業部門：インバータ駆動のモーター、改良型の工場用変圧器、高効率モーターの導入、高効率な夜光性のライトの導入、LED(発光ダイオード)ライトの導入
- 業務部門：高効率変電器、コージェネ、フィラメントなしの街灯の導入、LED信号機、白熱電球からLEDライトへの取り替え、蛍

42 日本エネルギー経済研究所 計量分析部編、前掲書。

43 Bailie, A., Bernow, S., Castelli, B., Connor, P.O. and Romm, J., The Path to Carbon Dioxide-Free Power: Switching to Clean Energy in the Utility Sector, A study for World Wildlife Fund, prepared by Tellus Institute and The Center for Energy and Climate Solutions, April 2003. この分析結果から、トンCO₂当たり15ドルを上回る設定を行うことなしに、2020年時点で現在の水準よりも、アメリカの排出量を60%削減するポテンシャルがあることが示された。

44 Harmelink, M., Graus, W., Blok, K. and Voogt, M., Low Carbon Electricity Systems - Methodology and Results for the EU, ECOFYS, March 2003.

45 国際エネルギー機関(IEA)によると、日本の1人当たりの電力消費は8.3MWhであるのに対し、アメリカは13.8MWhである(2000年時点)。

46 榎屋治紀の分析は、その分析が行われる以前に行われた研究で扱った対策や技術(たとえばハイブリッドカーの普及、住宅の高気密高断熱化等)に対し、さらに追加可能なエネルギー効率向上技術について着目したものである。従って本分析であげた技術は、以前に行われた研究で扱った対策や技術を含まない。

光灯からLEDライトへの取り替え、LCD（液晶）のパソコンモニタ（ブラウン管モニタと取り替え）、事務所における電気機器の待機電力の削減、IT（情報技術）による紙面文書のデジタル化（紙、印刷機、印刷消耗品の使用削減）、自動販売機のエネルギー効率改善、省エネルギーのエレベータ、ビルディングに対するエネルギーマネジメントシステムの促進

- 家庭部門：液晶テレビ、液晶パソコンモニタ、高性能冷蔵庫、燃料電池コージェネレーション、家電の待機電力の削減

さらにこの技術リストに、本分析では家庭および業務部門の太陽熱温水器の利用を加えた。

加えて、槌屋分析と同様、本分析においても業務部門にガスコージェネ（内燃エンジンと燃焼タービン）、家庭部門にガス燃料電池コージェネレーションを導入した。産業、業務、家庭部門に分散型太陽電池発電も導入した。コージェネと分散型電源は、オンサイトで需要家に電力を供給することで、集中型発電所から消費者に運ぶ場合に発生する送配電ロスを削減することができ、電力会社が供給すべき電力を減少させることになる。

槌屋分析のCO₂排出量削減の研究結果による電力需要減少分を、著者の判断および解釈に基づき推定した。その結果を表4-1にまとめた。

全体として、槌屋分析（そしてすでに述べた需要サイドの追加技術）に含まれていた電力効率の改善、コージェネレーションおよび分散型の発電技術を適用することによって、電力需要は2010年で114TWh、2020年で238TWh削減されると見積もられた⁴⁸。結果として、PSシナリオの正味の電力消費量は2020年で930TWhとなり、

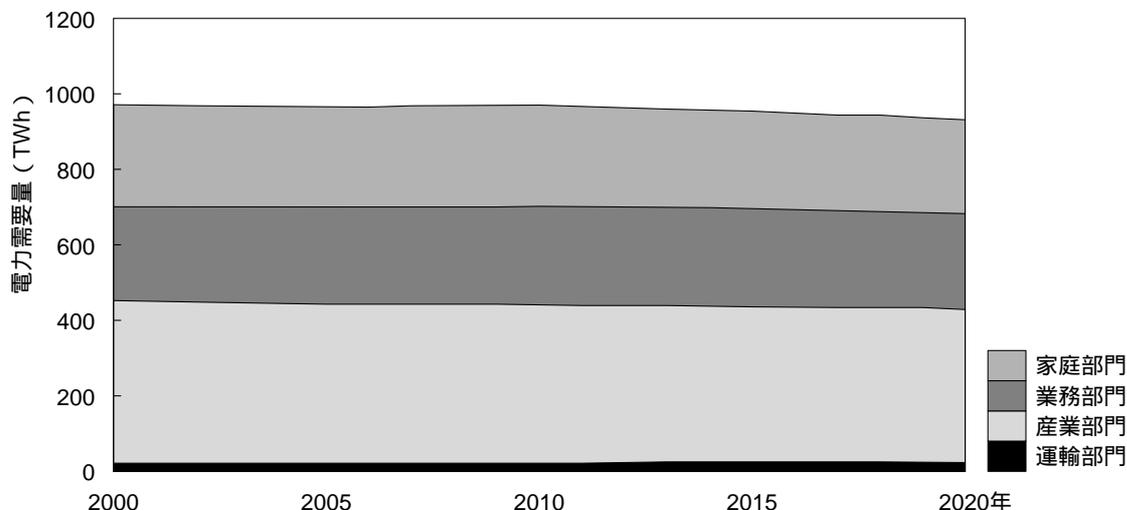
表4-1：エネルギー効率改善技術により削減されるCO₂排出量と電力需要量の見積もり

年 / 部門	CO ₂ 削減量(百万t CO ₂)		電力需要削減量(TWh)	
	2010	2020	2010	2020
エネルギー転換	4.84	9.50	7.0	13.8
産業	20.2	43.1	27.1 ⁴⁷	59.3
運輸	62.0	91.5	0	0
業務	26.7	55.6	46.6	93.9
家庭	21.4	41.1	30.8	58.1
合計	135.1	240.8	111.5	225.1

47 産業部門の推定には、「紙面文書のデジタル化」、「建て替えより修繕を優先した住宅」を通して達成される、製紙パルプ業および窯業土石(セメント)業の電力消費削減分は含まれていない。

48 需要側の電力消費節約に関するこれらの数値は、コージェネや太陽光発電等の分散型電源を含んでいる。ここではBAUシナリオと比較した節約分をあげたため、図4-1の電力需要の低下に比べ、これらの数値が高くなっている。

図4-1：PSシナリオにおける正味の電力需要量



これはBAUシナリオよりも20%低い。2000年の電力需要と比較して、PSシナリオでは2010年まで実質的にはエネルギー需要がまったく増加しておらず、その後2020年までの間に正味の電力需要量は2000年から見て3%減少する。図4-1はPSシナリオにおける正味の電力需要のパターンを示している。アモルファス変電器（改良型の配電用柱状変圧器）の導入によって2010年には約7TWh、2020年には約14TWhがさらに節約される。これらの節約を組み入れると、PSシナリオでは2000年と比べて電力需要が4%以上低下することになる。

槌屋分析も今回のPSシナリオも、エネルギー効率改善による電力需要削減のポテンシャルを使い尽くしていないことに注目する必要がある。たとえば、（モーターおよびモーターシステムの改良以外の）産業におけるプロセスの改善は槌屋分析には含まれておらず、また業務部門のエアコン設備や冷蔵庫設備（自動販売機は除く）の改善も含まれていない。家庭部門においては、高効率のエアコン、住宅の断熱性向上、照明の効率改善等が、槌屋分析にもPSシナリオにも明示的に含まれていない。つまり、上にあげた省エネルギーポテンシャルのほかに、未だ評価に含まれていないエネルギー効率改善ポテンシャルが残されているということである。

4.1.2. 電力部門の設定

発電部門の温室効果ガス排出量削減にとって、需要側のエネルギー効率改善と分散型電源が非常に重要な要素であることは確かだが、特に中期的に見れば、日本では供給側の変化が温室効果ガス排

出削減に著しく効果があるということが、本研究の大きな柱である。本報告書では、PSシナリオにおける供給サイドの中心となるいくつかの要素について以下議論する。これらには、発電向け燃料としての脱石炭および脱石油、再生可能エネルギー設備の積極的導入、原子力発電所の段階的廃止、ガス発電プラントの利用増加と効率改善、分散電源とコージェネレーションの利用拡大（上記に加えて）等が含まれる。

石炭の燃料転換

石炭火力発電所は日本で利用可能な発電オプションの中で、最も炭素集約的な（発電1 kWh当たりのCO₂排出量の高い）電源である。BAUシナリオでは2020年において、石炭火力発電所の発電量シェアは24%でしかないにもかかわらず、電力部門からのCO₂排出量に占める石炭火力のシェアは47%にものぼる。石炭から天然ガスや他のよりクリーンな燃料に代替すること、汚染物質を（相対的に）多く排出し熱効率の低い石炭火力発電所から、熱効率が高くよりクリーンな発電所に移行することは、電力部門の温室効果ガス排出量を大きく削減するためには必要不可欠である。しかしながら、最近の電力部門における石炭使用のトレンドはこれと逆行するものである。近年、石炭需要が増加するとともに国内の炭鉱業が徐々に廃業していったため、日本の石炭輸入量は急激に増加し、過去10年間の間に50%増加した（図4-2）。日本が輸入した石炭の大部分はエネルギー転換部門、特に発電に用いられている。2000年の時点で、日本は1.49億トンの石炭を輸入し、1.30億トンがエネルギー転換部門に使用され、そのうち6760万トン（全輸入量の45%）が発電に用いられている。2000年の国内石炭生産量は日本の全石炭消費量の2%である⁴⁹。

歴史的に見て、日本のエネルギー政策の優先事項は、経済が必要とするエネルギーの安定供給を維持することであった。日本のようなエネルギー資源輸入国の場合、エネルギーの安定供給という見地からは、石炭は魅力的な天然資源であるといえる。地球全体の埋蔵量という点で石炭は最も豊富に存在する化石燃料であり、全世界の埋蔵量のほとんどが政治的に不安定な中東地域に存在する原油とは違って、石炭を日本に輸出する国は政治的に安定している。2000年に関していえば、日本が輸入した石炭の60%はオーストラリア産であり、次に中国、インドネシアと続く⁵¹。

自国のエネルギーセキュリティの観点からいえば、日本は水素や

49 日本エネルギー経済研究所
計量分析部編、前掲書。

50 石炭エネルギーセンター、
<http://www.jcoal.or.jp/graph/graphjp04.html>

51 石炭エネルギーセンター、
前掲書。

図4-2：1905年から2000年における日本の石炭輸入量⁵⁰



他の再生可能エネルギーのような国内で生産されたエネルギー資源に依存することが理想であるが、石炭が豊富に存在するため、そして国内で生産されるエネルギーを利用する費用よりも輸入の価格の方が低いため、(外部性を含まないという意味で)純粋に経済学的な観点からは石炭が優位に立つことになる。

しかし、PSシナリオでは石炭火力の設備容量、そして電力部門における石炭使用量を大幅に削減する。電力部門からのCO₂排出量を大きく削減するためには、電力部門の石炭使用量を削減する必要がある。もし、BAUシナリオのように、石炭火力発電を増設すれば、日本は京都議定書の削減目標を達成することは非常に困難になる。電力部門における石炭使用量を削減すれば、他の重大な大気汚染物質の排出量も削減することにつながる。日本の発電における石炭依存を低下させれば、エネルギーセキュリティの観点からも有益となり得る。というのは、石炭使用量を削減すれば、再生可能エネルギーのような国内で生産したエネルギー資源を使うインセンティブが増すからである。

BAUシナリオに対し、石炭火力発電所からのCO₂排出量を削減し新たな石炭火力発電所を建設しないとするPSシナリオでは、現存の発電所を引退させるか、現存の発電所をコンバインドサイクルで運転できるようにリパワリングするか、嚴重な大気汚染排出制御技術を備えた高効率の発電所を新たに建設するかという選択肢が存在する。

既存電源の廃棄とリパワリング

古い石炭火力発電所を使って発電するのは概して非効率である。新型の効率の高い発電所と比べて、単位発電量当たりのCO₂排出量は大きい。新しいプラントと比べるなら、古い発電所はリパワリングするかまたは設備を刷新しない限り、粒子状物質を含む他の大気汚染物質を多く排出してしまう。一般に、リパワリングとは発電容量の増加や効率改善のために新しい発電システムを既存の蒸気発電システム(石炭、石油、天然ガス火力)に統合することである⁵²。典型的なリパワリングはガスタービンを加え、さらに(あるいは)古いボイラーユニットに流動床方式を導入する。これらの改良は、熱効率を14から28%、発電の出力を20から40%向上させ、また、大気汚染物質の排出量も削減する(しかし多くの場合、固体の廃棄物を増加させる)⁵³。リパワリングは現存の設備に対して行うものなので、新しいプラントを建設するよりも短い時間で完成させることができる。加えて、発電所を囲む電力伝送ラインのようなインフラがすでに存在しており、さらに、(環境アセスメント等の規制に対して)設備の設置が認められている、送電線や燃料搬送用通路が確立されているといった価値を持っている。結果としてリパワリングは、新しい大規模発電施設を建設する際に、しばしば直面する立地という厳しい問題を避けて通ることができる。

しかし、日本でリパワリングを行う際(特に石炭火力発電所に対して行う場合)には、費用の高さが大きな問題となる。石炭火力発電所を通常型コンバインドサイクル発電(Fully Fired Combined Cycle)に改造する場合、1kWのガスタービン当たり25万円、熱回収蒸気発電型コンバインドサイクル発電(Heat Recovery Steam Generator Combined Cycle)にリパワリングするにはkW当たり15万から20万円の費用が必要になると見積もられている^{54,55}。

日本にはLNG火力発電所をリパワリングしたケースはいくつかあるが、石炭あるいは石油火力発電所をリパワリングしたケースはまだない。日本における石炭火力発電所のリパワリングは、好まれるオプションではないようだ。第1に、多くのリパワリングでは(たとえば)石炭火力流動床ガス火力のガスタービンではなく、燃焼ガスタービンユニットを追加することになり、リパワリングした石炭火力発電は天然ガス火力を追加し効率を上昇させたシステムとなる。第2に、日本の環境省は、リパワリング設備を施設内に設置するだけの十分なスペースを持った発電所のみ、リパワリングを追加したときのポテンシャルを評価している⁵⁶。リパワリングの費用を考慮しなければ、環境省は既存の石油火力発電所に10GW、天然ガス火

52 環境省地球環境局、温室効果ガス削減技術シナリオ策定調査検討会報告書(平成12年度)、2001年3月(<http://www.env.go.jp/earth/report/h12-03/>にて入手可能)

53 たとえば次の資料を参考にせよ。

USDOE, FBC Repowering Project Overview.

54 環境省地球環境局、前掲書。

55 USDOEのレポートによれば、日本におけるリパワリングのコストは、アメリカのおよそ2倍である。

56 環境省地球環境局、前掲書。

力発電所に8GWの追加的リパワリングポテンシャルがそれぞれあると見積もっているが、石炭火力発電所に対するリパワリングの例は示されていない。第3に、リパワリングの費用は高く、また効率が悪く、比較的古い発電所から行われるため、新規の天然ガス火力発電に比べると、経済的、あるいは環境上の対抗力を持っていない。リパワリングをした発電所の単位発電量当たりのCO₂排出量は、(リパワリングした後の容量で考えて)同じ水準の設備容量を持つ発電所の平均値(古いものから新しいものまで含めた平均)よりも小さいとは必ずしもいえない。第4に、どのシナリオで考えても、日本の電力需要量が今後急激に伸びるとは思えないので、リパワリングによって発電容量を増やす必要があまりない。最後に重要な点は、日本や他の地域で新しい技術が発展していることである。加圧流動床コンバインドサイクル発電(Pressurized Fluidized Bed Combustion)、改良型ガス化コンバインドサイクル発電(Gasification Combined Cycle, Advanced Turbines)、傍熱燃焼高効率発電(Indirectly Fired High Performance Power Systems)といった、経済効率や容量に関してリパワリングよりも大きな利益をもたらす高度な方法がすでに出てきている⁵⁷。

以上のことを考えて、PSシナリオは石炭火力発電所について、リパワリングを選択肢として考えなかった。PSシナリオでは古い石炭火力発電所は引退する。合計で24GWの容量の石炭火力発電所が2020年までに引退し、そのうち3分の2は2010年から2020年の間に引退する。この引退の割合は、それぞれの石炭火力発電所が40年の寿命に達したときに引退した場合の割合とおおよそ一致しており、つまり2020年には日本で運転している石炭火力発電所は1990年以降に建てられた、比較的高効率でクリーンな発電所であるということになる。およそ1970年から1990年の間の過去30年間、石炭火力発電所の容量は大雑把にいて年間平均1GWくらいずつ増加してきており⁵⁸、PSシナリオにおける石炭火力発電所の引退も、古い発電所が建設された速度と同様の速度で起こる。石炭火力発電所の引退が加速する結果、石炭火力発電所の効率は上昇し(全体の平均が2000年には40%であったのが、2010年には41%、2020年には43%になる) 二酸化硫黄除去率は脱硫装置によって90%に上昇する⁵⁹。PSシナリオでは従来型の石炭火力発電所の追加はない。

高効率発電技術

IGCC(Integrated Gasification Combined Cycle)や加圧流動床コンバインドサイクル発電(Pressurized Fluidized Bed Combustion)とい

57 次の文献を参照。佐藤幹夫、犬丸淳、石炭ガス化複合発電の実現に向けて - 実証機関発の支援と将来への研究展開 -、電中研レビュー No.44、電力中央研究所、2001年10月。(<http://criepi.denken.or.jp/jpn/PR/Review/No44/> を参照のこと)

58 経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部編、電力需給の概要、2003年3月、および、地球環境と大気汚染を考える全国市民会議(CASA、<http://www.netplus.ne.jp/casa/index2.html>)を参考にした。

59 ここで示された熱効率は、発電所が自己消費する電力を考慮する前の効率であり、実際に計算する際は、自己消費する電力割合(所内率)およそ6%を考慮する必要がある。また次に示す文献は、2000年時点で石炭火力36GWのうち、20GWを超える設備容量に対し、脱硫装置が備わっているとされている。Rubin, E.S., Taylor, M.R., Yeh, S. and Hounshell, D.A., *Experience Curves For Environmental Technology And Their Relationship To Government Actions*, Sixth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (第6回温室効果ガス制御技術国際会議), 2000.

った石炭火力発電システムに関して、日本および海外で熱心に研究開発が行われてきた。これらのシステムは熱効率が高いので、発電1 kWh当たりのCO₂排出量が標準の石炭火力発電所よりも少ない。LEAPにおいて石炭火力発電所のエネルギー効率をモデル化する際には、BAUシナリオでは2020年まで石炭火力発電所の平均効率が40%のままであるとし、PSシナリオでは上で述べたように年が経つにつれて若干上昇するとした。新型の石炭火力の熱効率は、2020年には45%から50%に達するだろう。

しかし、日本でこれらの技術がCO₂排出量の削減にとって今後20年の間に重要な役割を果たすことはないだろう。これらの革新的技術はまだ試験段階であり、現在いくつかの試験プラントが運転されているところである。高い資本コストも、これらの技術が近い将来に広く使われることはないと考えられる理由の一つである。加えて、これらの技術は標準的な石炭火力発電所と比べて、硫黄酸化物や窒素酸化物といった汚染物質を削減するという直接的な便益はある一方、クリーンな燃料に代替する場合に比べれば、それほどCO₂排出を効果的に減少させるわけではない⁶⁰。コスト面および技術面で不確実であるので、これらのタイプの発電所はBAUシナリオにおいて新設しないとされた。PSシナリオでは、需要側の対策とCO₂排出に対する考慮から、石炭火力の設備容量を追加する必要がなく、また望ましくもない。

石油火力

BAUシナリオでは、石油火力の設備容量を減少させた。石油火力の設備容量は2000年時点で63.95GWであったが、古い発電所が引退するため、2010年まで年2.8%の割合で減少し、その後は年1%の割合で減少する。PSシナリオは、それよりも幾分急速に石油火力の設備容量が減少することを想定しており、2010年以降は年2.5%の割合で設備容量が減少していく。両シナリオにおいて、重油によって発電する蒸気タービン設備容量は2000年水準の0.72GWのまま維持されるとした。軽油の内燃力コージェネプラントの発電容量は、PSシナリオでは日本エネルギー経済研究所のコージェネ予測に従って、2010年までは年間6.2%の割合で増加し、2010年から2020年の期間は年1.5%の割合で増加するとした。PSシナリオにおける軽油の内燃力コージェネの伸び率は、2000年から2010年の間はBAUシナリオ（2.3%/年）の倍以上である。

⁶⁰ 発電所で排出されるCO₂を回収するいくつかの方法（CO₂を炭素もしくは他の化学形態で捕獲、保存する）は研究開発が進んでおり、また同時に議論の対象となっている。これらの技術は、発電所のエネルギー効率を低下させ、それ故にコスト高になることが予想されるため、本分析ではこれらのCO₂回収技術を考慮しない。

再生可能エネルギーによる電源立地の加速

コンバインドサイクルガス発電のような新型の発電技術が改良されれば、資本コストが低下して、将来、再生可能エネルギーが「クリーン技術」として経済的に競争力を持つことがより難しくなるという意見もある。しかしながら、化石燃料の価格に関する不確実性の高さ、国内資源および再生可能エネルギーによる供給増大が、環境上あるいはエネルギーセキュリティ上の便益をもたらすことを考えるなら、風力、太陽熱、太陽光電池、地熱、中小水力、持続的に収穫可能なバイオマスといった資源を新規あるいは既存の発電プラントにおいて用いることが、CO₂排出量を削減するうえで極めて重要であろう。地域に雇用の機会を生み出すことや、再生可能エネルギー技術の環境上あるいはエネルギーセキュリティ上の便益を考えるなら、「市場競争力」という狭い見地のみから「再生可能エネルギー」を判断することは間違いである。

環境エネルギー政策研究所の分析

WWFジャパンは、日本が2010年までに一次エネルギーとして導入および使用できる再生可能エネルギーの量に関する評価および分析を、環境エネルギー政策研究所(ISEP)に委託した⁶¹。環境エネルギー政策研究所の飯田哲也を中心とする研究グループは、もし日本が再生可能エネルギーを導入する代替政策・手段をとれば、2010年の日本における再生可能エネルギーのポテンシャルは、一次エネルギー消費量の10%になると見積もった⁶²。環境エネルギー政策研究所分析では、「再生可能エネルギー」は風力、PV、地熱、小規模水力(<10MW)、都市ごみ(MSW)を除くバイオマス燃料による発電、そして黒液(製紙パルプ業における副産物)を指す。環境エネルギー政策研究所の研究では、都市ごみは焼却時にダイオキシンを始めとする有毒ガスを発生する可能性のある、プラスチックボトルのような石油由来の製品を含んでいるので、再生可能エネルギーからは除外される。環境エネルギー政策研究所は、日本の再生可能エネルギーのポテンシャルも見積もっており、その結果を表4-2にまとめた。

環境エネルギー政策研究所は、(ポテンシャルについては見積もっているが)再生可能エネルギーからどの程度実際に発電されるかは明確に示していない。従って、PSシナリオのために著者はRPS制度を適用し、導入目標値を全発電量のうち、2000年は11.2%⁶⁴か

61 環境エネルギー政策研究所、前掲書。

62 環境エネルギー政策研究所の分析に基づき、WWFジャパンは2002年に開催された「持続可能な発展のための世界サミット(国連主催)」で、2010年時点における日本の一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合として、10%の数値目標が可能であると発表した。

63 単位をPJからTWhへ変換し、また数値の端数を四捨五入した。

64 本分析は、揚水式を除く全水力、風力、太陽熱、太陽光、黒液を含むバイオマスを「再生可能」エネルギーとみなした。これは環境エネルギー政策研究所の定義と若干異なる。また2000年における再生可能エネルギーによる発電の多く(80%)は、既存の水力発電所によるものである。

表4-2：日本の再生可能エネルギー資源⁶³

地域	風力	太陽電池	バイオマス	地熱および 小規模水力
北海道	11.80	5.34	3.54	8.59
東北	4.17	10.99	6.51	17.98
関東	4.43	25.66	6.26	8.02
北陸	1.05	2.89	0.86	9.84
中部	1.53	10.83	2.36	20.93
関西	0.35	9.49	1.88	5.18
中国	1.52	6.40	2.32	5.27
四国	3.11	3.40	1.18	3.54
九州	2.43	11.61	4.24	9.26
計	30.30	86.60	29.13	88.60

単位：TWh

注：表の数値は四捨五入しているため、合計に誤差が生じている場合がある。詳しい数値については、付録¹⁷を参照のこと。

ら始め、2010年には13.5%、2020年には18.1%とすることにした。RPSは現在いくつかの国で利用あるいは企図されている政策で、全発電量のうち、再生可能エネルギーで賄わなければならない発電量の割合を制定している。RPSの目的は、再生可能エネルギー技術を発電部門にいち早く普及させることである。PSシナリオでは、需要側で分散型太陽光発電システムの導入を想定したことにより、全再生可能エネルギーによる発電量を押し上げることとなり、2010年は全発電電力量の13.9%、2020年は18.9%を担うことになった⁶⁵。

PSシナリオの発電部門は、伊藤浩吉（日本エネルギー経済研究所）⁶⁶の「環境対策強化ケース」をもとにしており、この引用文献には再生可能エネルギーの発電容量も含まれている。PSシナリオは、2010年および2020年時点の供給側太陽光発電システムの設備容量に関して、伊藤浩吉の数字を用いた（需要側も含む追加的な太陽光発電システムに関しては、榎屋分析におけるシナリオも参考にした）。しかし、最近の世界規模の風力発電建設ブーム、および海上風力発電技術の改善を反映して、PSシナリオは2010年以降、伊藤浩吉の環境対策強化ケースの設備容量よりも、さらに多い設備容量を想定した（全体で11.5GW）。本分析では、環境エネルギー政策研究所によって見積もられた再生可能エネルギー利用量のポテンシャルをもとに、PSシナリオの再生可能エネルギーの発電電力量を計算したが、太陽光発電と風力の比率に関して表4-2のデータを環境エネルギー政策研究所分析結果とは変えてある。

65 この計算では、需要側供給側両方の発電電力量をカウントした。従って、発電電力量には需要側（業務部門、家庭部門）におけるガスコジェネの発電量も含んでいる。

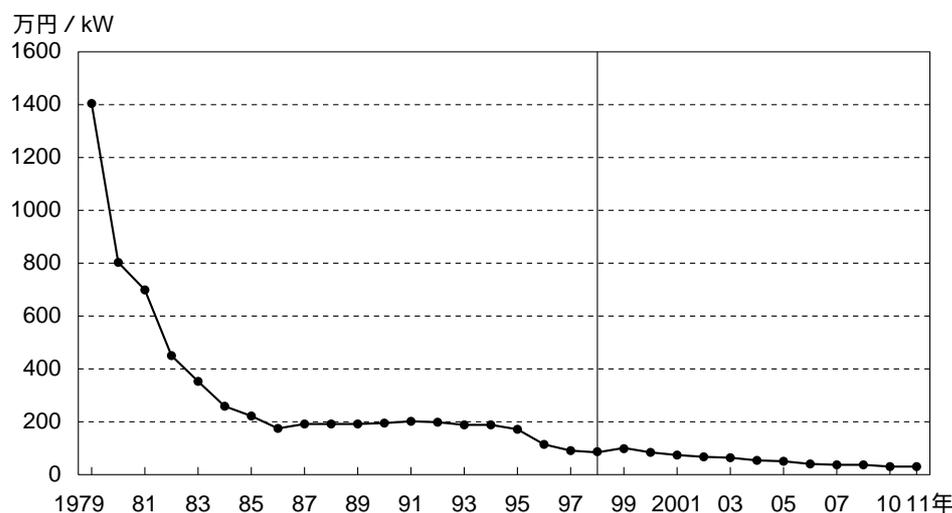
66 伊藤浩吉、前掲書。

都市ごみは、プラスチックのような石油由来の製品を含んでいて、完全に再生可能資源に由来しているわけではないので、PSシナリオではこれらを再生可能エネルギーからは除外してある。伊藤浩吉の「環境対策強化ケース」は、都市ごみ発電の容量を勘案しているが、本分析は都市ごみを再生可能エネルギーに含めない。WWFや他の主要な再生可能エネルギー支持団体は、都市ごみを再生可能エネルギーとは見なしていない。それは、第1に、都市ごみは、プラスチックや金属、灰分のような多くの再生不可能な成分を含んでいる。第2に、都市ごみは燃焼によって有害ガスを発生し、しかもそれらのガスは、現時点で最も高性能の汚染物質除去装置を用いても必ずしも取り除けるわけではない。事実、経済産業省の基準ケースで、都市ごみ発電は再生可能エネルギーとして扱われているが、2002年から試行されたRPS法では、工業的な廃棄物の大部分が再生可能エネルギーから除外され、都市ごみの有機的なバイオマスの成分のみが再生可能エネルギーとしてカウントされている。政府は3年後の2006年に都市ごみの位置づけを見直す予定である。

太陽光発電技術

日本では太陽光発電システムの全発電容量が1996年の55MWから1999年の209MWと、ここ数年の間に4倍に増えた。日本政府は長年にわたって、太陽光発電に関する産業に研究開発のための財政的支援をしてきた。太陽光発電技術に関する研究開発は進展しているにもかかわらず、国内市場において太陽光発電は（産業界が期待するほどの）強い競争力を持っているわけではない。

図4-3：太陽光発電システムの資本コスト推移とその予測
（環境エネルギー政策研究所）



太陽光発電システムがより広く受け入れられるようになるうえで、最も障害となっているのは、高い資本コストである。環境エネルギー政策研究所は1998年時点で90万円/kWであった太陽光発電システムのコストが2010年には30万円/kWまで低下すると予測している。図4-3に、環境エネルギー政策研究所が太陽光発電システムの資本コストを過去から将来にわたって見積もったトレンドを示す。

風力発電のポテンシャル

風力発電は商業的な成功という意味で、最も有望な再生可能エネルギーである。日本で風力発電が商業的に成功するうえで最もネックとなっているのは、資本コストや技術的成熟度ではなく、エネルギー政策や電力系統に関連した問題であろう。

その他の再生可能エネルギー

在来型の水力発電や地熱発電の設備容量は現在の水準にとどまると推測しており、その理由としては、日本はすでに水力、地熱資源をほとんど実用的な意味で最大限開発していることがあげられる。そして、これらの資源に関してさらに開発することは政治的に難しいという理由もある。製紙パルプ製造プロセスで発生する副産物（「廃液」や「黒液」等）、下水や家畜糞尿を処理することで発生する消化ガス、産業からの廃物等のほとんどのバイオマス燃料を用いた発電の設備容量は、現状と同様であろう。農地で成長したバイオマス（主に現有の農業廃棄物）を含む、その他のバイオマスによる発電の設備容量は、2010年の1GWから2015年には2GW、2020年には4GWになるとした。

原子力の段階的廃止

日本の温室効果ガス排出量削減のための技術オプションの中で、原子力発電は最も重要であると考えられる政策立案者が日本には多い。国際社会は原子力エネルギーが地球温暖化の解決策になり得るのかどうかについて、いまだに議論しているが、日本はCO₂排出量削減に役立つだけでなく、クリーンなエネルギー源であるとして原子力を強く促進している。政府は、原子力発電に大きく依存せずに、京都議定書の目標を達成することは不可能であると考えている。原子力発電の発展は、温室効果ガス排出量削減の便益に加えて、日本のエネルギー・セキュリティを強化するうえで鍵となると考えられている。日本のエネルギー・セキュリティと気候変動防止の2つに関する政策は、ほとんど原子力発電の発展のみに依存する傾向がある。

しかしながら、最近の原子力発電所の運転停止は日本国民に原子力へ依存することへの疑問の念を抱かせた。日本が、新規の原子力発電所の立地、そして放射性廃棄物の廃棄・隔離に関する技術的および社会的問題を解決することなく、原子力発電の設備容量を大きく増やすことがはたして可能かという点について、長く議論されている。しかし近年、原子力の安全性の論点だけでなく、エネルギーセキュリティやエネルギー源の多様性という論点について認識し情報を得るようになった国民が増えてきた。東京電力は1980年代後半から原子力発電所の安全記録を捏造したケースがあったことを認め、2003年4月に保安検査のためにすべての原子炉の停止に追い込まれた。検査の期間、東京電力は、17.38GW、同社の全発電容量の約30%を停止せざるを得なかった。東京電力は、検査プログラムをできる限り早く実行することを約束したが、2003年夏期に電力供給不足が起こることが危惧され、「エネルギー危機」が叫ばれた。日本国民はエネルギー・セキュリティや地球温暖化問題に取り組むためには、原子力以外の代替エネルギー源を緊急に開発することが必要なのではないかと認識するようになった。

原子力開発に関する問題が多いことを考慮し、PSシナリオでは、原子力発電は緩やかに段階的廃止をすとした。このことは、化石燃料やウランのような非再生可能エネルギーの使用量が「ついには」0まで削減されるということをも意味する（化石燃料と原子力のフェーズアウト）。PSシナリオは、原子力の段階的廃止への道程のスタート地点といえる。PSシナリオでは、原子力発電所の運転期間を40年と考え、2020年までには現存する原子力発電所のうち設備容量10GW分が引退する（その多くは2010年以降に引退）。これは1970年代およびそれ以前に建設された発電所で、2020年までに引退することになる。PSシナリオの20年間の間に追加される原子力発電所は、現在着工中のものと着工準備中にある発電所（合計で6.9GW⁶⁷）のみである。

天然ガス火力

天然ガスは燃焼時で比較すると、化石燃料の中で最もクリーンであり、過去20年間の間に世界の多くの地域で用量が飛躍的に増加した。将来のガス供給および価格に関して不確実性が高いものの、欧米では発電における天然ガスへの依存度が急激に高まっている。日本の発電部門もLNG使用量を拡大する方向にシフトしてきている。

日本で天然ガスの利用を著しく拡大するには、いくつかの障害がある。たとえば、

67 この6.9GWは次の設備容量の合計である。女川3号機（BWR、825 MW）：2002年1月運転開始、浜岡5号機（ABWR、1,380 MW）：着工中、東通（東北電力）1号機（BWR、1,100 MW）：着工中、志賀1号機（ABWR、1,358 MW）：着工中、泊3号機（PWR、912 MW）：着工準備中、島根3号機（ABWR、1,373 MW）：着工準備中。以上、2003年10月現在。

- 輸入LNG（液化天然ガス）は、他のエネルギー（特に石炭）と比べて費用が高いこと。
- LNG輸入ターミナルの不足、そしてより問題となる可能性があるのが、ガス会社の営業地域間をつなぐ天然ガス輸送・流通システムが不足していること。
- 日本のガス小売価格が高いこと。2000年の日本のガス価格は、産業用ガスで107キロカロリー当たり450ドル、家庭用で107キロカロリー当たり1300ドルであった。これらの価格はアメリカでの価格（産業用が170ドル、住宅用が300ドル）の数倍であり、他のOECD諸国と比べても2倍以上である⁶⁸。ガスの供給が需要に追いつかない（もしくはコスト高になる）とすると、最近の急激なガス需要の高まりはガス価格を上昇させ、他の燃料に対するガスの競争力に深刻なマイナスの影響を与えるであろう。もし日本でのガス価格が高い状態でありつづけるならば（そしてより不安定な状態になる可能性があるならば）、再生可能エネルギーを含む他のエネルギーが経済的に魅力のある選択肢になり、消費者や政策立案者を、これらのオプションを模索する方向へと駆り立てるだろう。

少なくとも今後20年間、天然ガスはCO₂排出量削減にとって重要な役割を演じることになると思われるが、原子力や他の化石燃料と同様に天然ガスも、気候変動問題解決のための手段としては暫定的なものではないということ認識すべきである。長期的に見ると、再生可能エネルギーをベースとするクリーンなエネルギー技術を用いた新しい発電や、水素等クリーンな燃料の導入に向かってシフトすることが必要であろう。天然ガスは、化石燃料から水素へのシフトの初期においては、水素製造の原料となり得るので、移行期の燃料として使われる可能性があるが、究極的には、一次エネルギー資源に関して化石燃料からバイオマスや他の再生可能エネルギーへほぼ完全に転換するべきである。

PSシナリオにおいて、再生可能エネルギーによる電力源はもちろん、コンバインドサイクルのLNG火力やガスコジェネレーションも、2020年までは石炭火力、石油火力、原子力の発電容量減少分を補うために使用される。PSシナリオでは、既存の蒸気タービンLNG火力発電所の一部（約56GWのうち19GW）は引退するか、リパワリングを通じてコンバインドサイクルに転換し、新規ガス火力発電所（コジェネや燃料電池発電所以外）は、輸入（大部分は）天然ガス資源を経済的に、そして汚染物質の排出を最小限に留める

68 ガス価格に関しては、次のUSDOE/EIA（アメリカエネルギー省エネルギー情報局）のウェブサイト（英文）を参考にせよ。<http://www.eia.doe.gov/emeu/international/ngasprih.html> および <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/ngasprii.html>

ために、高効率のコンバインドサイクル発電所にするとした。

コジェネと他の分散電源

コジェネは、発電と同時に生産される蒸気（温水の場合もある）と電力の両方を用いるシステムであり、総合効率が倍になり得る。コジェネは、電力とともに供給される熱を効率よく配達し、利用することができるような場合に有効であり、このことからコジェネは通常、熱需要がある地域の近隣に位置していなければならない。日本では、産業プロセスに必要な熱や業務部門の暖房、給湯用の熱を含め、大部分の熱はボイラーで重油や他の石油製品（産業部門の一部では固体廃棄物や石炭も用いられている）を燃焼することで供給されている。この需要の一部に対してコジェネレーションで供給することができれば、全体の温室効果ガス排出量の削減量は大きなものになるだろう。

加えて、コジェネレーションシステムは電力と熱が消費される商業地域や産業地域の近くに立地することが一般的であり、コジェネレーションや他の分散型発電システムを導入すればするほど、電力伝送および配電の必要が少なくなり、伝送および配電の損失は少なくなる。これによって、必要な正味の発電電力量は削減される。

現時点で日本の電力の2%弱がコジェネレーションシステムによって生産されているが、この割合は急激に伸びると期待されている。伊藤浩吉（日本エネルギー経済研究所）の対策強化ケース⁶⁹では、2010年までのコジェネの設備容量の伸び率は年間6.2%とされており、2010年から2020年の間は1.5%となっている（産業部門、業務部門の合計）。PSシナリオでは、供給部門（エネルギー転換部門）において、比較的大規模なコジェネレーションシステム（ガスまたはディーゼルエンジン、ガスタービン等）が同様の水準で伸びると設定している。需要部門では、コジェネレーション電力供給部門で設計したコジェネレーションシステムからの熱供給が、産業部門で重油によって供給されるであろう（そしてBAUシナリオでは実際に供給されている）熱、業務部門で暖房や給湯のために使用される石油製品にとって変わるだろう。

燃料電池はオンサイトのクリーンな発電技術として期待されている。燃料電池やガスタービンと組み合わせた燃料電池の熱効率は非常に高いと見込まれている。PSシナリオでは、電気ガス事業用（あるいは大規模な業務用や産業用）の燃料電池として、2010年に300MW、2020年に2GWの設備容量になると設定した。これらの燃料電池は供給部門としてモデリングしたが、これらは電気ガス事

69 伊藤浩吉、前掲書。

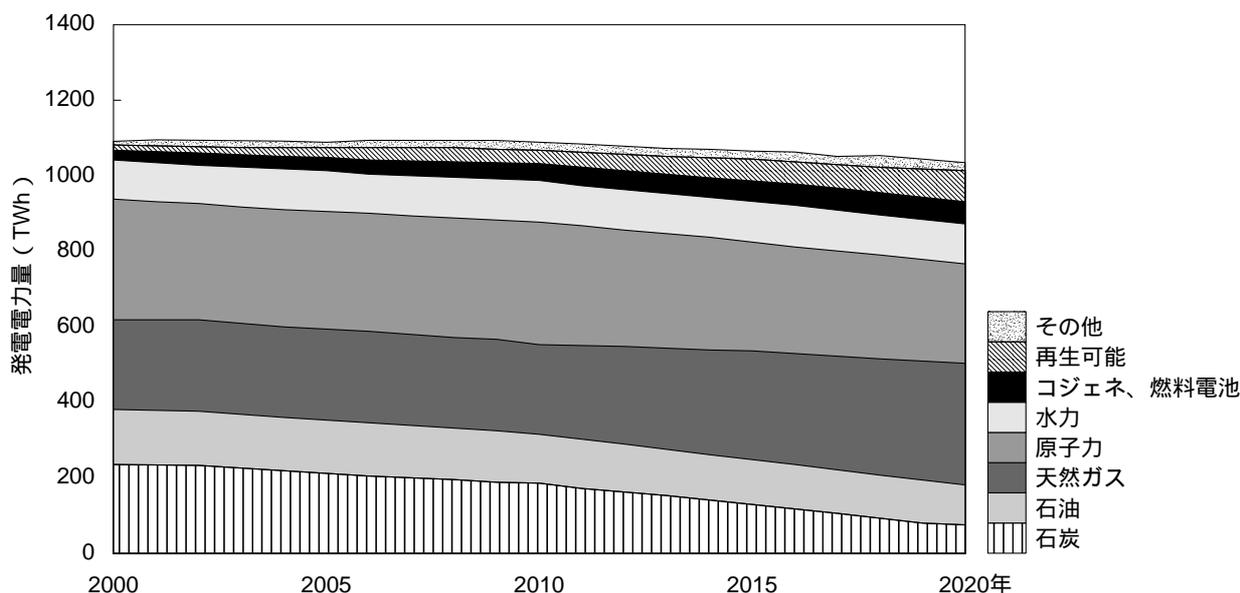
業者にとって信頼性の高い分散型電源システムであり、配電インフラ追加のコストを避けることができるという意味で、重複設備が不要となる設備（dispatchable capacity）とみなすことができよう。これらの設備容量は、伊藤浩吉の燃料電池設備容量の伸び（家庭、業務部門）よりもずっと小さくなっている。伊藤浩吉の対策強化ケースでは、家庭および業務部門用の燃料電池の発電容量は、合計して2010年には2.1GW、2020年には10.1GWになると予測している。NEDOの目標は2010年で2.2GWである。これらの容量は将来の自動車における燃料電池の出力を含んでいない。しかし上述のように、PSシナリオは家庭部門でかなりの数の燃料電池システムが導入されるとしており（榎屋分析の結果に由来）これによって電気事業者の保有すべき送配電設備の必要性が差し引かれる。

70 このように同じ予備率下限の設定を行った理由は、BAUシナリオとPSシナリオを同様の枠組みの中でモデリングするためである。結果的に、両シナリオの予備率は、2020年時点で設定した予備率下限を満たしており、2000年では24%の予備率であったものの、2020年にはおよそ20%の予備率に低下している。BAUシナリオと比較しPSシナリオでは、太陽光発電、風力発電を大幅に導入したが、これらの電源は間欠性電源であるため、電力需要のピークもしくはバックアップ電源としての設備容量の実質的な価値を測定するために、これらの電源のkW価値は火力のkW価値をベースに、割り引いてカウントした。

4.1.3. PSシナリオの結果および考察

これまで述べたような仮定に基づき、LEAPを用いてPSシナリオをシミュレーションした。風力発電、太陽光発電、バイオマス発電、ガスコジェネレーションやLNGコンバインドサイクル発電は「外生的に」（外部から特定して）設備容量を設定し、電源設備の予備率下限を（BAUシナリオと同様に）20%と設定した⁷⁰。図4-4および図4-5に、PSシナリオにおける2000年から2020年の発電電力量と設備容量をそれぞれ燃料別に示す。これらの図の目立った特徴を、BAUシナリオの結果と比較すると、石炭火力の発電量および発電容量がかなり減っており、LNGコンバインドサイクルの発電

図4-4：PSシナリオにおける発電電力量



量が増加し、風力、コジェネレーション、太陽光発電の設備容量および発電量が増加していることがあげられる。図4-6に、図4-4および図4-5に記載したうちの再生可能エネルギーの発電電力量および設備容量を別途再掲した。図4-6から再生可能エネルギーの導入が2010年以降加速し、2000年比で4倍以上になることがわかる。ただし、これらの図には、供給側のデータしか含んでおらず、需要側のデータは含まれていないことに注意が必要である。電気事業者の太陽光発電による16TWhの電力量に加え、これらの図には含まれていないが、家庭、業務、産業部門に設置された太陽光発電で

図4-5：PSシナリオにおける設備容量

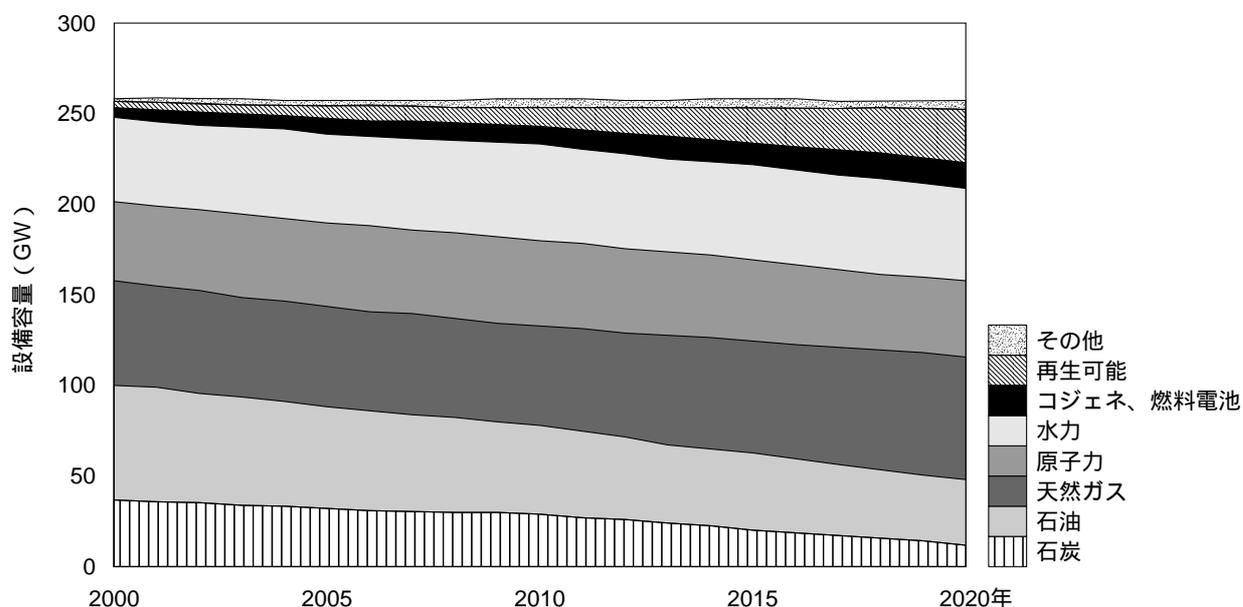
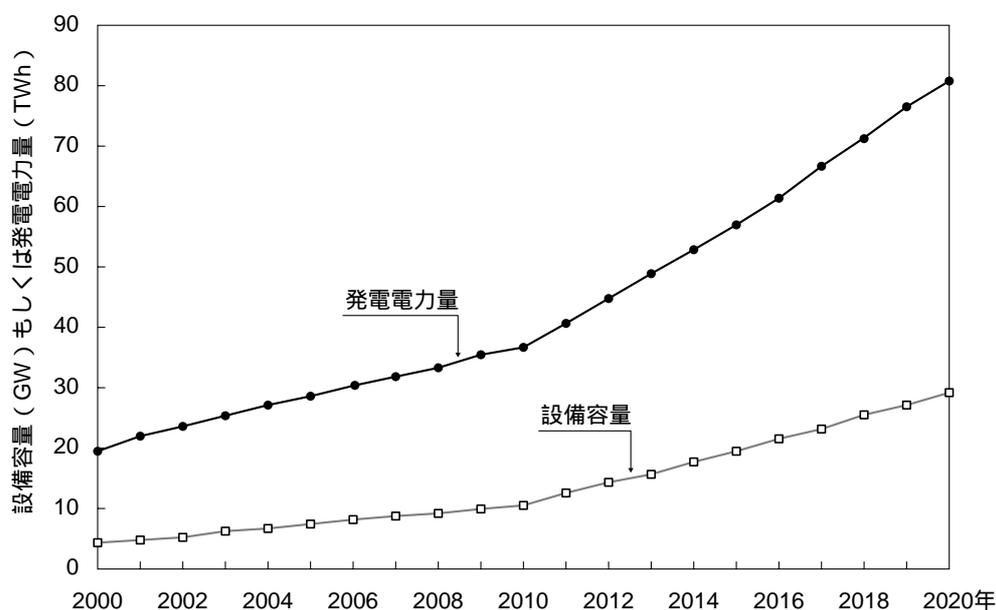


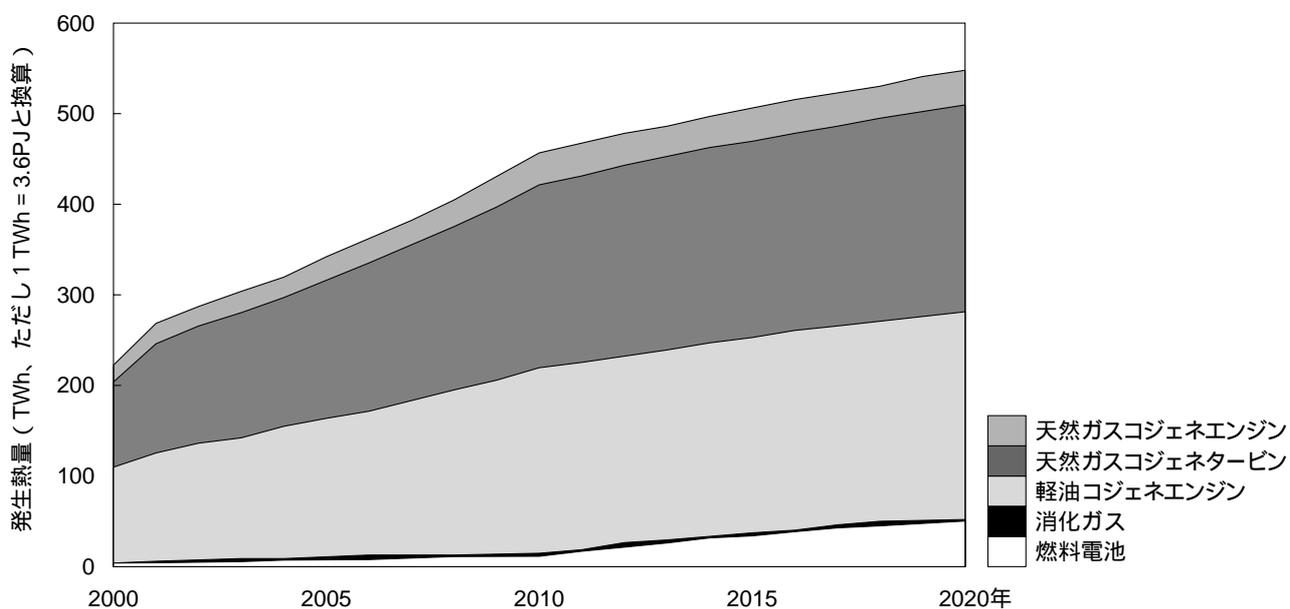
図4-6：PSシナリオにおける再生可能エネルギーの発電電力量および設備容量



22TWh発電しており、需要側（家庭、業務部門）の小規模コジェネレーションシステムで50TWh以上発電している。

図4-7はPSシナリオにおける「供給サイド」のコジェネからの熱供給量を表している。軽油コジェネエンジンおよびガスタービンコジェネが発電部門からの熱供給において支配的である。需要部門のコジェネで供給される熱をカウントすると、全体的には、2020年におけるコジェネレーションからの熱供給量はBAUシナリオに比べて150%多くなっている。

図4-7：PSシナリオにおけるコジェネによる生産熱量（供給側）



5. PSシナリオの利点および 実現するにあたっての障害

すでに述べたようにPSシナリオはBAUシナリオに比べ、いくつかの利点がある。同時に、PSシナリオは日本経済の一部に対しコスト負担を生じさせるものであり、またPSシナリオを実現するにあたって無視することができない障害がある。PSシナリオを実現するにあたっての政策的手段および政策アプローチについて、以下で議論する。

5.1. シナリオの比較

BAUシナリオとPSシナリオは、すでに述べたように2020年時点におけるエネルギー供給および需要という面で明らかに異なるが、温室効果ガス排出量、エネルギーセキュリティ、燃料構成、経済的な収入やコスト負担といった面でも異なる。それぞれの項目について、以下BAUシナリオとPSシナリオを比較していく。

5.1.1. 温室効果ガス排出量

PSシナリオにおける電力部門からのCO₂換算温室効果ガス排出量の推移を図5-1に示す。BAUシナリオの排出量(図3-4)と比較すると、明らかに排出量が低く、2020年時点でPSシナリオはBAUシナリオに比べ31%低くなっている。またPSシナリオの排出量は、2000年比で20%減少する。図5-2は、両ケースにおける温室効果ガス排出量を全期間にわたって比較した図である⁷¹。両ケースにおける大きな違いは、石炭火力から排出される温室効果ガスであり、石油火力から排出される温室効果ガスの差はほとんどなく、LNG火力からの差も若干PSシナリオの方が低いだけである(ガスを燃料とするコジェネ等を含む、すべてのタイプのガス火力からの排出量は、2020年のBAUケースに比べ1%低い)。

電力部門からの排出量の違いに加えて、BAUケース、PSケースでは需要側の排出量も異なる。産業部門と業務部門におけるコジェ

71 これまでの図表は、電力供給側から排出される温室効果ガスのみを表してきたが、この図5-2は一部需要側から排出される温室効果ガスも含まれている。図5-2により初めて、需要側対策(コジェネ、太陽電池、太陽光発電)も含めた正味の温室効果ガス排出量をシナリオ比較することができるとなる。

図5-1：PSシナリオにおける電力部門からの温室効果ガス排出量

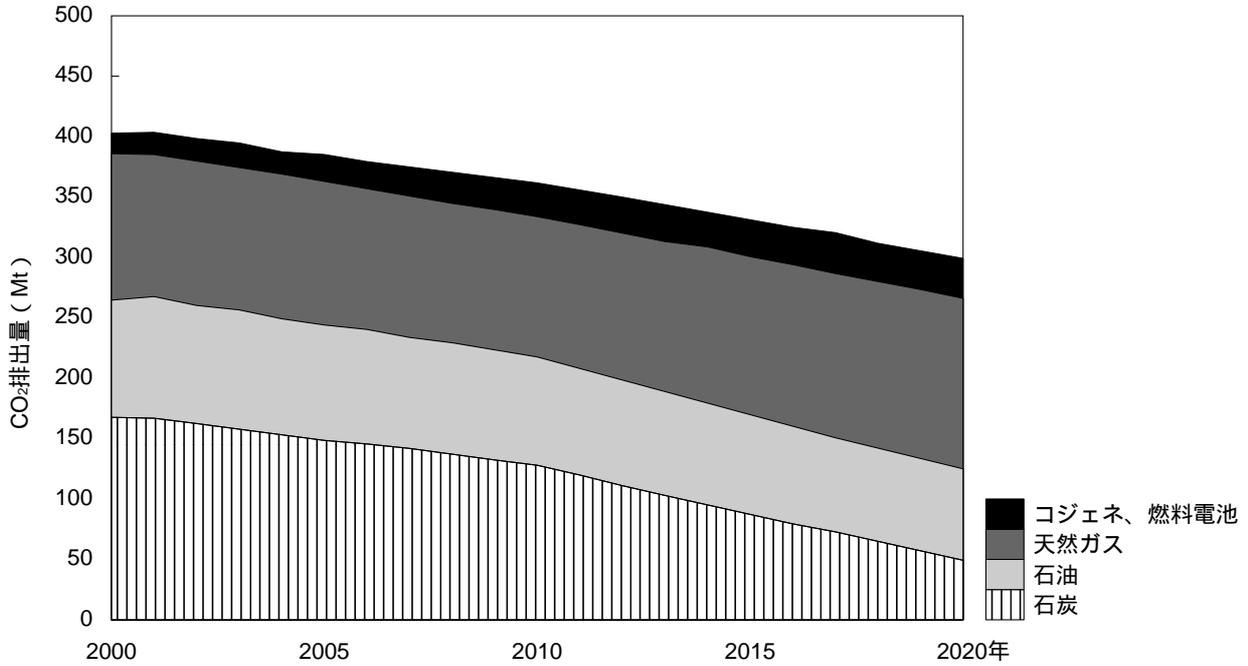
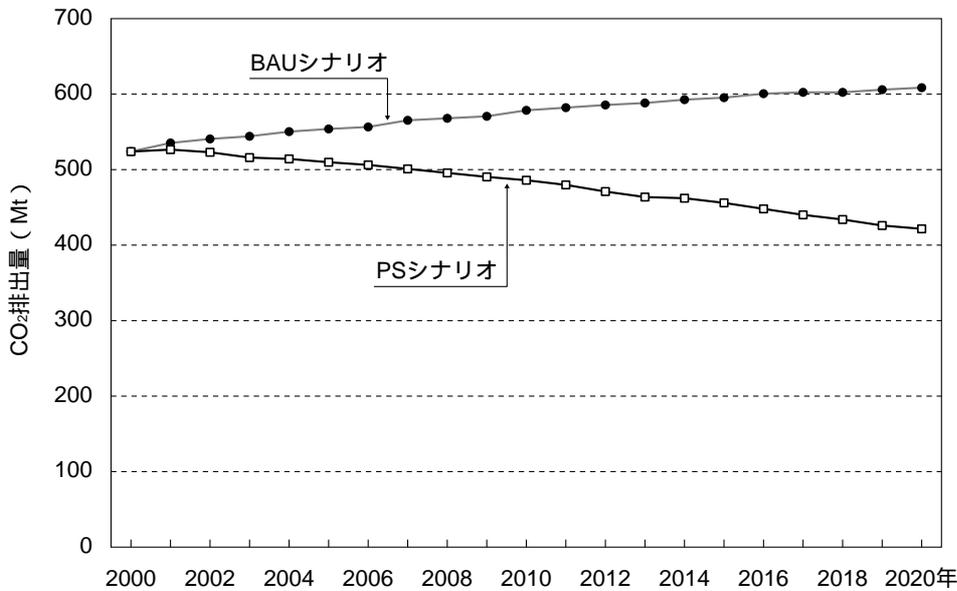


図5-2：電力部門からの温室効果ガス排出量のシナリオ比較



ネの熱利用によるボイラー向け燃料使用量削減分に加え、家庭部門と業務部門における太陽熱利用による燃料削減分は、家庭部門と業務部門における需要側（小型）コジェネの利用拡大に伴う燃料使用量の増加を相殺する。これらの変化による正味の影響は、2020年におけるPSシナリオの需要部門からの排出量は、BAUシナリオに比べおよそ5 Mt-CO₂ 少ないという違いのみである。

全般的に見れば、日本全体からの温室効果ガス排出量はPSシナリオの場合、BAUシナリオに比べて2010年時点で94Mt-CO₂ / 年、

2020年時点で190Mt-CO₂/年少ない。2000年から2020年までの累積で見ると、PSシナリオはBAUシナリオに比べ、およそ2,000Mt-CO₂少ない。より重要なことは、多くの設備投資（これはPSシナリオにおける産業部門の設備投資を含む）は、本分析の対象期間以降も、温室効果ガス排出量を削減し続けることである。

5.1.2. エネルギー・セキュリティと燃料構成

日本の電力部門において、設備の大幅な変更（たとえば既存の石炭火力をガスも燃焼できるように燃料転換させることもできるが、このような変更）もしくはエネルギー政策の極端な変更を伴わずに、石炭火力から天然ガス火力にシフトさせるだけで、ある程度のCO₂排出削減を行うことができる。しかし、このシフトにより燃料多様化は低下するだろう。天然ガスの依存度を高めることは（2020年時点において膨大な量のLNGを輸入することになるので）単一の輸入燃料に依存すると同時に、輸入燃料全般を減らすことにはつながらない。化石燃料（特に天然ガス）への過度の依存によって、燃料価格や燃料の入手可能性の変動に対して日本が脆弱になるという意味において、天然ガスやウランを含む輸入燃料に依存することはエネルギー・セキュリティを低下させる。国内のエネルギー資源、とりわけ再生可能資源の利用を増大させることは、日本のエネルギー供給セキュリティを改善することにつながる。天然ガスは化石燃料の中で最もクリーンではあるが、天然ガスや原子力の過度の増加を伴わずに、石炭への高い依存度を低下させることが重要である。

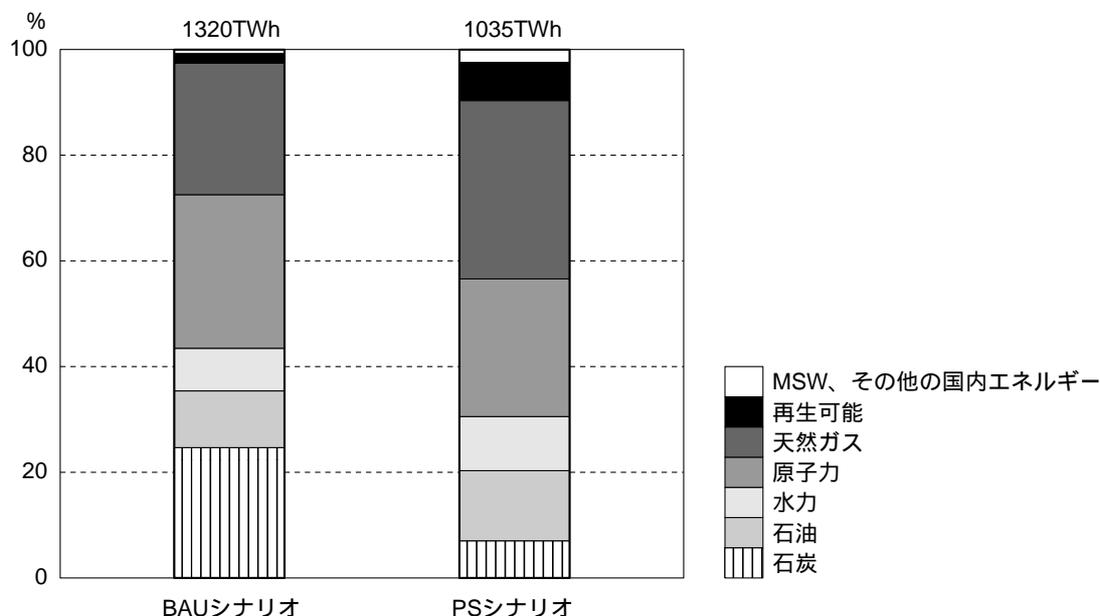
PSシナリオではBAUシナリオに比べ発電向けのガス利用が若干増加しているが、再生可能エネルギーが大幅に増大しているため、供給燃料の多様化という意味でエネルギー・セキュリティが改善されている。

これらに加え、PSシナリオではBAUシナリオに比べ2020年時点において、石炭の輸入が70%近く減少しており、同時に、石油輸入量、ウラン燃料輸入量はそれぞれ3%、20%減少する。LNG輸入は増加するが、その増加量はわずかである（2%未満）。このことは、輸入燃料および特定の地域からの輸入に依存せず、最終需要地点近くで直接再生可能エネルギーを利用することであり、国内エネルギーに依存するため、供給途絶に対する脆弱性が低下することを意味する。表5-1および図5-3は、発電向けに使用された燃料をシナリオ間で比較した図表である。PSシナリオは、2020年において天然ガスによる発電量の割合が非常に高いが、表5-1で示し

表5-1：2000年およびBAUシナリオ、PSシナリオにおける
2020年の発電設備タイプ別発電電力量

TWh	2000 (基準年)	2020 (BAUシナリオ)	2020 (PSシナリオ)
石炭	237.8	327.1	75.4
石油	152.2	146	134.5
水力	103.2	103.2	106.4
原子力	319.5	379.5	267.8
天然ガス	253.2	324.6	346.1
再生可能	19.6	27.7	80.7
MSW、その他	5.2	10.7	24.4
合計	1090.7	1318.8	1035.3

図5-3：2020年におけるBAUシナリオおよびPSシナリオの発電設備タイプ別発電電力量

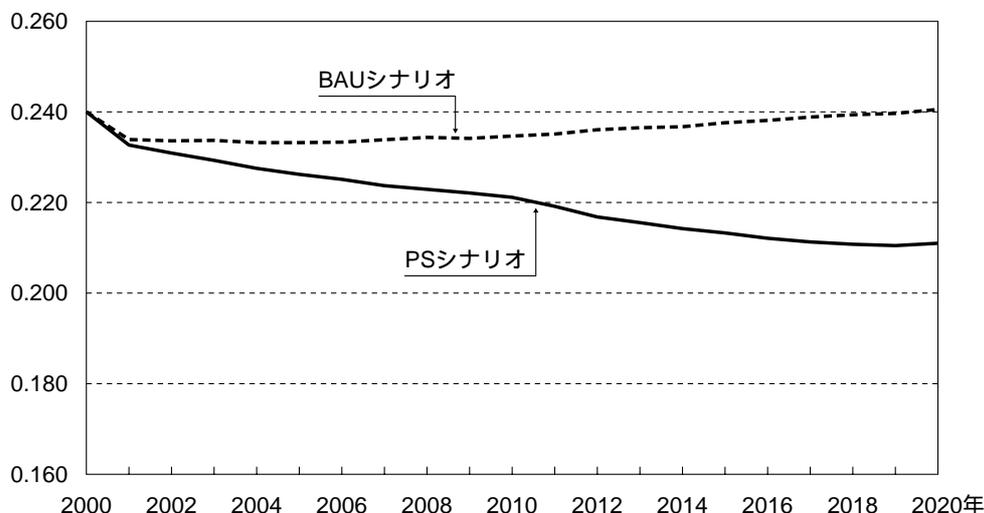


た天然ガスの使用量を見てみると、BAUシナリオとほとんど変わらないことがわかる。表の数字は供給側の発電量のみ反映されている。PSシナリオにおいて、需要側に設置している太陽光発電による発電量を追加すると、再生可能エネルギーによる発電電力量は2020年時点で100TWh以上である。

72 Neff, T.L., Improving Energy Security: Diversification And Risk Reduction, Fossil And Nuclear Fuels. Commissioned by the Pacific Asia Regional Energy Security (PARES) Project. The Nautilus Institute, 1998. (<http://www.nautilus.org/papers/energy/NeffPARES.pdf> にて入手可能)

異なるシナリオに対し、燃料供給の多様化を相対的に定量化する手法の一つとして、「多様化指数」があげられる。これは、ある国の燃料供給に関する相対的な依存度を測定するために、使用燃料、輸入燃料、地域別輸入量に対して適用される。Thomas Neff ⁷²によ

図5-4：BAUシナリオおよびPSシナリオの電源向け燃料の多様化指数推移



って示された多様化指数を、本分析ではBAUシナリオおよびPSシナリオにおける発電向け燃料に適用した。その結果を図5-4にまとめた。図5-4から、BAUシナリオにおいても多様化指数が少し変化しているが、PSシナリオは多様化指数が着実に低下しており、燃料の多様化が進んだことがわかる。

5.1.3. BAU、PSシナリオの相対的な利点およびコスト

歴史的にみて、日本のエネルギー政策は「エネルギー・セキュリティ」に重点をおき、費用対効果を重要視してこなかった。日本におけるエネルギー・セキュリティの概念は、特に燃料供給セキュリティのことにのみを意味してきた⁷³。日本は国産の化石燃料が乏しいということを経済的理由に、日本経済にとって安定し継続した燃料供給を確保していくことをエネルギー政策の優先事項としてきた。このことはまた、原子力開発への大規模投資を重点的に推進する根拠となってきた。化石燃料に比べウランの供給安定性、価格安定性は高いものの、原子力開発には、原子力開発に対する国内反対世論、および海外における概して好ましくない機運など、原子力政策へ影響を与える複数の要因（すでに述べた経済、環境、軍事等）が存在する。原子力発電に対する過度の投資や原子力発電に対する政府の多額の補助金といった形で原子力の本当のコストを阻害することは、エネルギー・セキュリティに関して、大きなリスク要因となりうる。特に原子力部門の事故を考慮すれば、これはなおさらである。従って、エネルギー・サービスを供給するコストに基づく「公平な」競争を導入することが重要である。また実際に、より市場原理に基づいた

73「エネルギー・セキュリティ」の広義は、異なる様々なリスクを複合的に考慮するとともに、経済、環境、軍事という側面を含めたセキュリティのことであろう。エネルギー・セキュリティの定義、および広い意味での含意（application）については、Suzuki, T., Hippel, D.V., Wilkening, K. and Nickum, J., Pacific Asian Regional Energy Security: Frameworks for Analysis and Japan Case Study. Synthesis Report for Pacific Asian Regional Energy Security (PARES) Project, Phase I, Working Paper, 1998. (http://www.nautilus.org/pares/PARES_Synthesis_Report.pdfにて入手可能)を参照のこと。

手法を日本のエネルギー供給に導入しようとする動きが現在見られるようになってきた。

本項では、BAUシナリオとPSシナリオのコストについても比較を行う。これらのコストは、異なる電源設備および電源以外のエネルギー転換部門の設備に関する累積的な資本費、エネルギー設備の運転費、燃料コスト（特に輸入燃料のコスト）を含む。需要側においては、両シナリオ間ですべての費用を含む相対的なコスト比較を行うために、PSシナリオの方策に関する資本費、運転維持費の増加分をコストとしてカウントした。両シナリオにおける貨幣価値に換算できないコストおよび便益、定量的な推定ができなかったコストや便益についても、本項で議論する。

コスト項目の設定

BAUシナリオおよびPSシナリオにおいて両シナリオのエネルギー需要部門において、すべての最終電力消費機器および関連のある機器について、コストデータを入力した。コストは燃料費(節約分)もしくは機器ごとのコストとしているが、4.1.1.で示したエネルギー効率、分散電源、その他の手法をもとに設定した。多くのケースで、機器ごとのコストは日本で販売購入した場合のコストデータを用いたが、適宜アメリカのコストデータも用いた。日本におけるコストはアメリカにおけるコストよりも一般的に高いため、アメリカのコストに50%のコストを上乗せして日本コストとみなした。供給側のコストデータをすべて記載すると膨大な量になるので、これらのデータについては附録¹⁷にまとめ、いくつかの主要なデータ設定のみここでは記載する。

- 家庭部門において、省エネルギーのコストとして（機器ごとで異なるものの）6円/kWhから35円/kWhの単価で電力節約分をカウントするとした。
- 家庭用コージェネ（燃料電池）の導入による資本費の年間当たり均等化コスト（それぞれのシステムが導入された年式の違いを考慮している）⁷⁴を、2000年5万円/kW/年、2020年2万円/kW/年とした。
- 家庭用太陽光発電の導入による年間コストを、2000年10万円/kW/年、2020年3万8000円/kW/年とした。
- 業務部門において、電力に関する省エネルギーのコストとして（機器ごとで異なるものの）-2.5円/kWh（これらの機器では、運転維持費の節約によって正味にコスト節約ができたことを意味している）から18円/kWhを用いた。

⁷⁴年間当たり均等化コストを、これ以降は年間コストと表記する。この年間コストは、それぞれのシステムが導入された年式の違いを考慮している。

- 業務部門におけるコジェネ（内燃機関およびタービン機関）の発電費用（燃料費を除く）は、5円/kWhないし6.5円/kWhと推定した。
- 業務用太陽光発電の導入による年間コストは、2000年に9万5000円/kW/年であったのが、2020年には3万5000円/kW/年に低下するとした。
- 産業部門において、電力に関する省エネルギーのコストとして（機器ごとで異なるものの）0円/kWhから4.3円/kWhを用いた。
- 産業用太陽光発電の導入による年間コストは、2000年に8万円/kW/年であったのが、2020年には3万円/kW/年に低下するとした。

エネルギー転換部門では、（アモルファス変圧器による）電力送配電の改善、電源の資本費および運転維持費、石油精製費、LNGターミナルの資本費および運転費に関するコストを推定した。一般的に、エネルギー転換にかかるコストは分析対象期間で一定としたが、次のいくつかの電源については対象期間中で次のように変化するものとした。太陽光発電の（年間均等化コストではないすべての資本費を含む）導入コストは2000年時点で87万円/kWであるが、2020年時点で15万円/kWに低下し、風力発電の資本費は年2%で低下し、風力発電の資本費は2000年比で2020年は2倍弱低下するとした。LNGターミナルの資本費は、日本のデータも考慮にいれて、年間1GJのLNGを扱える設備量当たり360円（これは年間1tのLNGを扱える設備量当たりおよそ2万円に相当）とした。

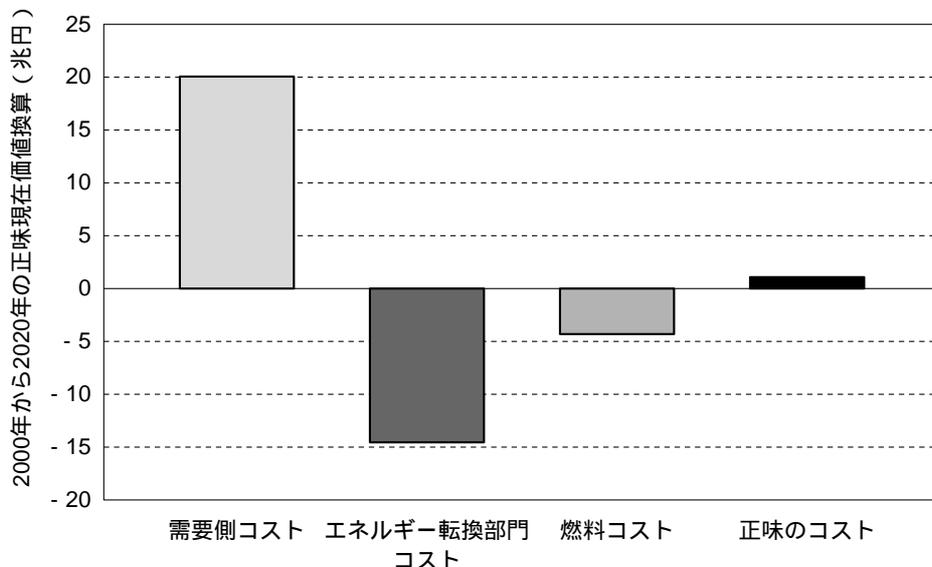
燃料コストについてはおおよそ石炭、原油、LNGの輸入価格を用いることにした。初期値としては一般炭、原料炭の日本の輸入価格（それぞれ4,730円/t、5,360円/t）を用いた。価格予測に関しては、石炭価格が2025年までを通して年0.71%で低下すると予測しているアメリカDOEのエネルギー情報局の予測を用いた⁷⁵。IEA（国際エネルギー機関）の予測や近年の日本の原油輸入価格（2002年はおおよそ3,200円/bbl）をもとに、原油価格は2005年までは年5.6%で下がり、2015年までは一定、その後は年3.5%で上昇するとした。LNG価格は、初期値を520円/GJとし、その後の変化率は原油価格の変化率と同様とした。ウラン燃料は、分析対象期間にわたって120円/GJ（熱出力ベース）と一定にした。

コストの比較

PSシナリオでは必要とする電源（設備および発電量）が少ない

75 USDOE EIA, Annual Energy Outlook 2003 with Projections to 2025., 2003. Table 1. Summary of results. (<http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/tbl1.html> にて入手可能)

図5-5：BAUシナリオに対するPSシナリオの相対的成本



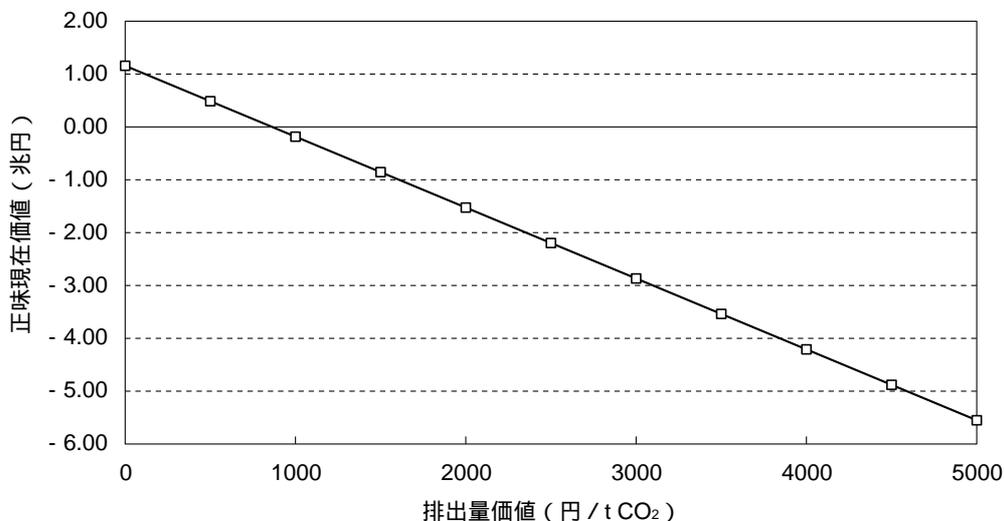
ため、相対的に高価な再生可能エネルギーによる電源を拡大したとしても、全般的にエネルギー転換部門の資本費のコストはBAUシナリオよりも低くなる。PSシナリオのエネルギー転換部門の資本費および運転維持費は、BAUシナリオよりも14.5兆円低くなる⁷⁶。一方、需要側のエネルギー効率改善やオンサイト発電に、かなりの追加的費用が必要となる。これらの費用は2000年から2020年までを合計するとおよそ20兆円になり、この半分以上は太陽光発電およびコジェネの導入によるものである。しかしながら、BAUシナリオに比べPSシナリオの燃料費はかなり低い。BAUシナリオに比べPSシナリオでは2020年までに、燃料4.4兆円分を輸入しなくて済む。全般的に見て、BAUシナリオに比べPSシナリオは、2020年時点の年間温室効果ガス排出量が31%低く、正味のコスト（追加的な設備投資および燃料削減分を含む）は、分析対象期間において1.1兆円、また年間になおすとおよそ570億円である。図5-5は、これらのコストおよびコスト節約分をまとめたものである。

温室効果ガス排出量1トン当たりの正味の削減費用を見ると850円になる。この費用はたとえば、電力料金に0.3%の税を20年間上乗せすることとおおよそ等価である。従って、要求される正味の投資額は、得られる利益に比べれば非常に小さいものであるといえる。

これまで述べてきたコスト便益分析は、BAUシナリオに比べPSシナリオはCO₂換算で20億トンの温室効果ガスを相対的に削減していることを、貨幣価値として考慮していないことに注意する必要がある。仮に温室効果ガス排出量1トン当たりにコストを（たとえば

76 記載されているすべてのコストは年3%の割引率で割り戻し、2000年価格で表示する。

図5-6：温室効果ガス排出量価値の変化に対するPSシナリオの正味コストの感度解析



炭素税のような形で) 上乗せした場合、PSシナリオはこの2つのシナリオで比較して決して高価なシナリオではなくなる。図5-6は、温室効果ガス排出を避けるという便益といった「環境価値を付加」した場合、PSシナリオの正味のコストがどのように変化するかを示した図である。トン当たりの温室効果ガス価値が850円以上になると、PSシナリオは急速に安価なシナリオとなる。同様に、仮に本分析で想定した化石燃料価格よりも価格が上昇した場合、再生可能エネルギーにブレークスルーが起こり、本分析で将来想定したコストより、低いコストになった場合は、PSシナリオはBAUシナリオに比べてすぐに経済的にも有利になる。

日本経済に対するPSシナリオの副次的利点

BAUシナリオに対するPSシナリオのいくつかの便益やコストは、容易には貨幣価値へ換算できない。たとえば、コストや便益といった意味での再生可能エネルギーの主要な便益の一つは、再生可能エネルギーを用いることで、燃料価格(特に天然ガスや石油)の不安定さから電力消費者を守れることである。多くの再生可能エネルギー - 特に太陽光エネルギーと風力発電 - は、燃料価格がゼロであり、従って設備が導入されたらそれ以降のコスト(年間コスト)は本質的に変化しない。PSシナリオの他の優れていると思われる項目を次にあげる。

- 輸入燃料に支払う費用の削減分を、国内の設備投資にまわすことができる。
- 再生可能エネルギーに関する国内の産業が活発になることで、(すべての可能性も含めて) 結果的に再生可能エネルギーシステ

- ムの国内生産コストが引き下げられ、世界規模の再生可能エネルギービジネスにおいて日本企業がより競争力を持つことになる。
- 再生可能エネルギーシステムおよびエネルギー効率改善手法の普及に伴う、全般的な国内雇用の増加分は、他のエネルギーシステムの利用減少に伴う雇用の減少分よりも大きいと予想される⁷⁷。
 - 廃棄すべき石炭灰、放射性廃棄物を削減することができる。
 - 窒素酸化物やその他の大気汚染物質を削減することができる。

PSシナリオでは、国民のエネルギーコスト負担が若干上昇する。このことは経済成長や家計にとってやや負の影響を与えるが、燃料輸入のための資金を需要側の設備投資に振り向けることができるため、BAUシナリオに比べPSシナリオはより高い経済成長を可能とするだろう。また、PSシナリオは、主に風力発電の積極導入により景観上の問題を引き起こすかもしれない。しかしこうしたことも、石炭火力/原子力発電所の建設を進めなくて良いという点から、地域レベルではなくとも国レベルで、相殺されるであろう。

5.2. PSシナリオを実現するにあたっての障害や制約

パワースイッチ・シナリオを実現するにあたっての、主な障害や制約は次のとおりである。

- 電力事業およびガス事業における制度的構造の存在、つまり販売区域、規制、オンサイト発電を進めにくい慣習が存在すること、競争が行われにくいこと、再生可能エネルギーや他の代替電源に対して経営者の知識が十分ではないこと。
- 電力消費者は、需要側対策に対する情報を十分保有していないこと。
- 日本の電力消費者は、気候変動問題そしてその解決の可能性に関する情報を十分保有していないこと。
- 需要側対策や再生可能エネルギーに対する資金拠出、確立されようとしている代替電源に対する研究開発費や直接的間接的な補助金が不足していること。
- 将来のエネルギー産業の形態として、政府や組織内部にBAUパスを好む既得権層や専門家が存在すること。

個々の燃料、技術選択を実施するうえでの障害については、4.1.2において言及している。

⁷⁷ 室田泰弘、高瀬香絵、京都議定書批准は経済的損失をもたらすか、WWFジャパン委託、2001年7月 (<http://www.wwf.or.jp/lib/publication/downloadfiles/climate/motarasukaj.pdf> にて入手可能)

6. 結論

本分析は、PSシナリオを作成したが、PSシナリオは予測ではなく、実現できる「達成可能」なエネルギーパスである。エネルギー効率改善策および需要側における発電システムの積極的な導入、再生可能資源を用いた電源の幅広い普及、新規電源（再生可能エネルギーを除く分）として天然ガス火力発電の採用、原子力発電の設備容量の緩やかな減少、これらを含むPSシナリオにより、以下のことが可能となる。

- 温室効果ガス排出量を2000年比20%削減することができる。
- 2020年時点で、BAUシナリオに比べ相対的に31%の温室効果ガス排出量を削減することができる。

エネルギー転換部門のインフラ整備、燃料費（節約分）はもちろん、需要側の方策に関するコストを含むPSシナリオの正味のコストは、20年間を通してBAUシナリオに比べ1兆円強である。本分析で推定した数値よりも燃料価格が上昇したり、再生可能エネルギー発電技術のコストがより低下した場合は、この正味のコストは容易に負になりうる（つまり正味の利益をもたらさうる）。この1兆円強の正味のコストは、電力料金に0.3%の税を20年間上乘せすること、もしくは1 kWh当たり0.07円、あるいは世帯当たり350円の支出と等価である。

PSシナリオでは、エネルギー・セキュリティ、環境のために、日本の国民に対し低く妥当なコスト負担を生じさせる。PSシナリオを現実のものとするための政策は数多くあり、またその政策を実行する必要がある。これらの政策として、エネルギー効率基準から行動規範、エネルギー効率改善や再生可能エネルギーに対する税金から政府の公共事業による直接的インセンティブ上昇方策、排出量目標（ベースライン・アンド・クレジット）から排出量規制（キャップ・アンド・トレード）といった幅広い政策があげられる。気候変動問題に取り組もうという国家的な決断は、日本の電力事業に関する制度的な再編を行うにあたって、気候変動問題を配慮することにつながるのみならず、パワースイッチもしくは同様のイニシアチブに成功するかどうかの大きな要素になり得る。

本報告およびWWF気候変動キャンペーンに関する問い合わせ・連絡先

鮎川ゆりか

WWFジャパン

東京都港区芝3-1-14

日本生命赤羽橋ビル6F

TEL. 03-3769-1711

FAX. 03-3769-1717

Jennifer Morgan

International Director,

WWF Climate Change Program

c/o WWF US

1250 24th Street NY

Washington DC 20037-1175

TEL. +1-202-822-3455

Fax. +1-202-331-2391

WWF European Policy Office

36 avenue de Tervuren Box 12

1040 Brussels

Belgium

Tel.: +32-2-743-88-00

Fax: +32-2-743-99-19

Website :

<http://www.panda.org/climate>

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

<http://www.greenelectricitynetwork.org>

日本の電力部門における二酸化炭素削減の可能性

燃料転換シナリオによる排出削減量の試算

Carbon Dioxide Emissions Reduction Potential in Japan's Power Sector

- Estimating Carbon Emissions Avoided by a Fuel-Switch Scenario

2003年10月

発行 WWF気候変動プログラム

WWFジャパン

東京都港区芝3-1-14日本生命赤羽橋ビル6F

TEL. 03-3769-1711

FAX. 03-3769-1717

翻訳協力：小田潤一郎 DTP編集レイアウト：荒川俊児 印刷：アクティブサービス

WWFジャパン© 本書から転載される際には、必ずWWFジャパンにご一報ください



WWFの使命は、次の3つの活動によって、地球の自然環境の悪化をくい止め、人類が自然と調和して生きられる未来を築くことです。

世界の生物多様性を守る

再生可能な自然資源の持続可能な利用が確実に行なわれるようにする

環境汚染と浪費的な消費の削減を進める



WWF気候変動プログラム

WWFジャパン

東京都港区芝3-1-14日本生命赤羽橋ビル6F

TEL. 03-3769-1711

FAX. 03-3769-1717