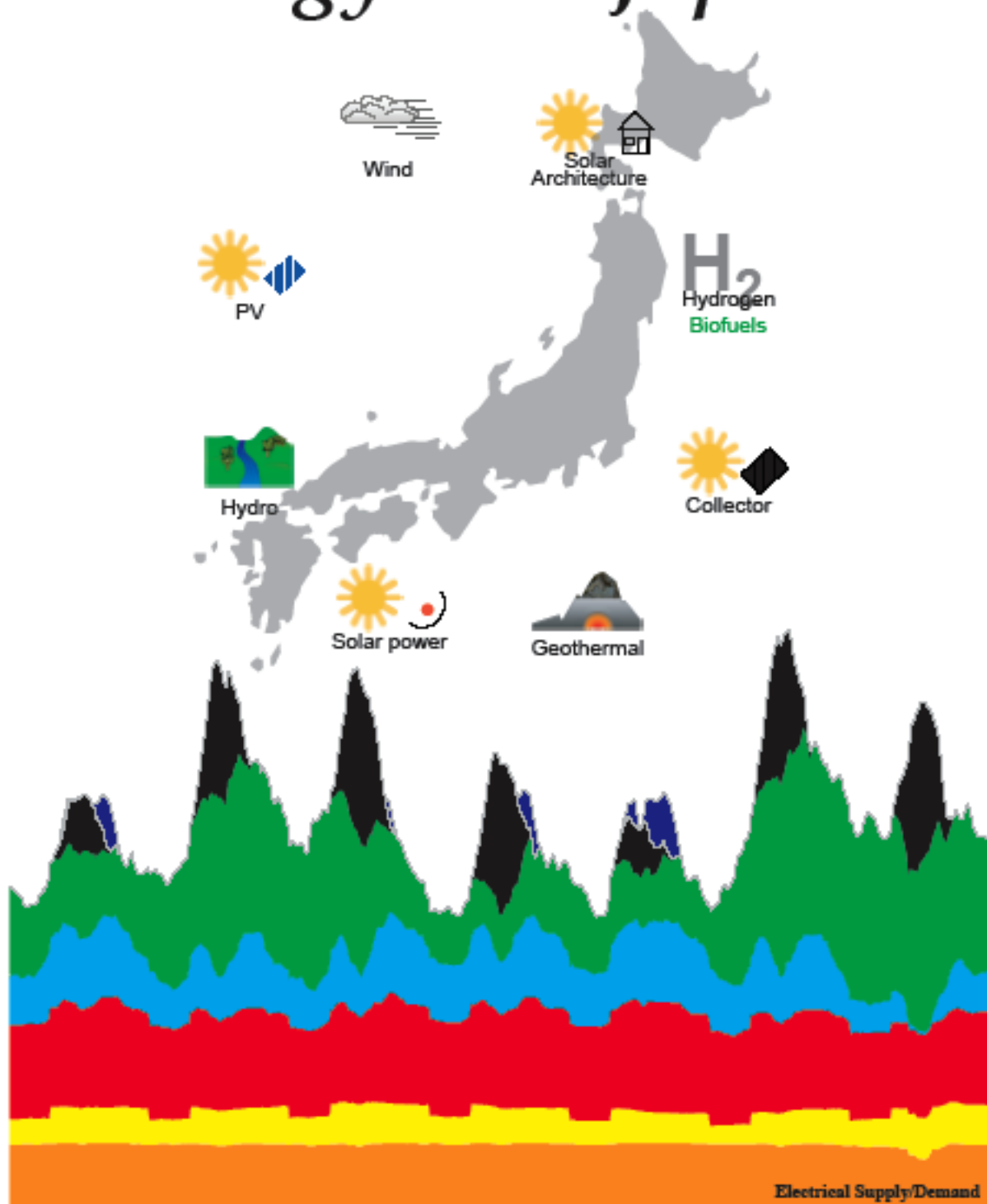


# エネルギー・リッチ・ジャパン

## *Energy Rich Japan*



---

# エナジー・リッチ・ジャパン

## Energy Rich Japan

Published by : Harry Lehmann (hl@isusi.de)

依頼 : グリーンピース・インターナショナル (アムステルダム)、グリーンピース・ジャパン

### Contributors:

Martin Kruska;

**EU**Tech, Germany

Dennewartstraße 25-27, D-52068 Aachen, Germany

Daigo Ichiro, Mika Ohbayashi, Kae Takase, Iida Tetsunari;

環境エネルギー政策研究所 (ISEP),

〒 160-0004 東京都新宿区四谷 1-21 戸田ビル 4 階

Gary Evans, Stefan Herbergs, Harry Lehmann, Karl Mallon, Stefan Peter

**Institute for Sustainable Solutions and Innovations (ISUSI),**

Römerweg 2, 52070 Aachen, Germany

Dirk Aßman;

**Wuppertal Institute for Climate, Energy & Environment,**

Döppersberg 19, 42103 Wuppertal, Germany

Webpage: [www.energyrichjapan.info](http://www.energyrichjapan.info)

Copyright : Institute for Sustainable Solutions and Innovations (ISUSI) - October 2003

---

# 1) 要約

核のリスクと大災害を及ぼし得る気候変動の両方から人間と環境を守っていくため、核燃料や化石燃料の使用を徐々に削減しつつ、代替となるクリーンなエネルギー技術へ転換して行く必要があることは、もう長年、周知の事実である。このレポート「エナジー・リッチ・ジャパン」は、「クリーンで、環境に優しく、しかもエネルギーに恵まれた未来」と言うビジョンが、日本において現実可能であることを示した。そして、世界的規模での実現の可能も示唆している。

消費効率の高い技術を採用し、エネルギー消費を節約すれば、地域や地球上で入手可能な資源を活用する再生可能エネルギー技術のみで、安全かつ確実に将来のエネルギー需要を満たすことが可能になるのである。この研究の目的は、日本のような地域において、全てのエネルギー需要を再生可能な資源でまかなうことが可能であることを示すと共に、その結果を、核燃料や化石燃料の使用を徐々に削減しつつ、代替となるクリーンなエネルギー技術へ転換して行くことについて議論する際に役立てることである。

日本は小さな島国に1億2,700万人が暮らす高度先進国であり<sup><1></sup>、1999年度には世界第2位の経済大国として、その産業基盤は世界的に最もエネルギー効率が高いと認められた。

日本は、いわゆる「従来型エネルギー源」をほとんど自給できないため、これまでエネルギー効率を高めることに力を注いできた。このような強大な産業国が、エネルギー需要の大半を輸入核燃料や化石燃料に頼り、少量の国産の石油やガス、ならびに水力や地熱エネルギーなどで補充しているのである。1999年度の日本の総エネルギー消費量は、22,970ペタジュール強であった(1ペタジュール=1015ジュール)。このうち18,500ペタジュール(80%)は、核燃料および化石燃料として輸入されたのである。

しかし、日本は、他国に依存せずとも、エネルギーの豊富な国家になりうるのである。1999年度のデータを基に作成された、本レポート「エナジー・リッチ・ジャパン」により、現時点で利用可能なエネルギー効率が最も高い技術を採用し、再生可能なエネルギー資源に首尾一貫して投資すれば、高額でしかも環境にダメージを及ぼす化石・核燃料といったエネルギー資源の輸入に頼らなくとも、輸送に必要な燃料も含めた、全エネルギー需要を、再生可能資源だけで、100%カバーできることが示された<sup><2></sup>。日本には、非常に高額で、かつ環境を汚染する核燃料プログラム等に頼った「エネルギーの安全性(確保)」を求める代わりに、独自の再生可能エネルギー産業を、構築する選択肢があるのである。エネルギーを渴望する、いわゆる「資源に乏しい国」、日本。その日本で、生活水準や工業力を犠牲にしなくても、クリーンで、しかも再生可能なエネルギーに移行することが可能なのである。

調査の結果、1999年度のデータに基づいた日本のエネルギー需要は、現時点の技術水準で既に利用可能な技術のうち最もエネルギー効率の高い技術を採用することにより、半減できる

1. SBS 世界ガイド第8版(2000年度)ISBN 1876719303

2. 化石・核燃料の実際の費用は、購入および輸入コストよりもずっと高く、助成金を支給される場合が多い。しかも社会と環境に対する長期的な汚染コストは、現時点では、価格に含まれていない。

ことが示された。このいわゆる「ERJ 高効率消費モデル」で、高効率技術の採用により、産業分野で約 40%、家庭と商業分野で 50%以上、交通分野で 70%もの省エネが、可能であることが示された。

そこで、この新しいレベルの需要を、如何にすれば再生可能なエネルギーで供給することができるのか、そして輸入の必要性を低減し、最終的には、不必要にすることができるのかを検討した。本レポートでは、日本のエネルギー需要を再生可能なエネルギー源で 100%供給することを想定したシナリオを、6つ大まかに紹介する。国産再生可能資源でエネルギー需要の50%強を供給する事を想定した基本モデル(シナリオ 1)から始め、以降、シナリオ 1 を変更または拡大し、人口の変動や再生可能発電能力およびエネルギー効率の向上等の予測を考慮に入れて、輸入エネルギーへの依存を、シナリオ毎に段階的に低減し、最終的なシナリオ 5 とシナリオ 6 では、エネルギー資源の輸入をゼロとした。

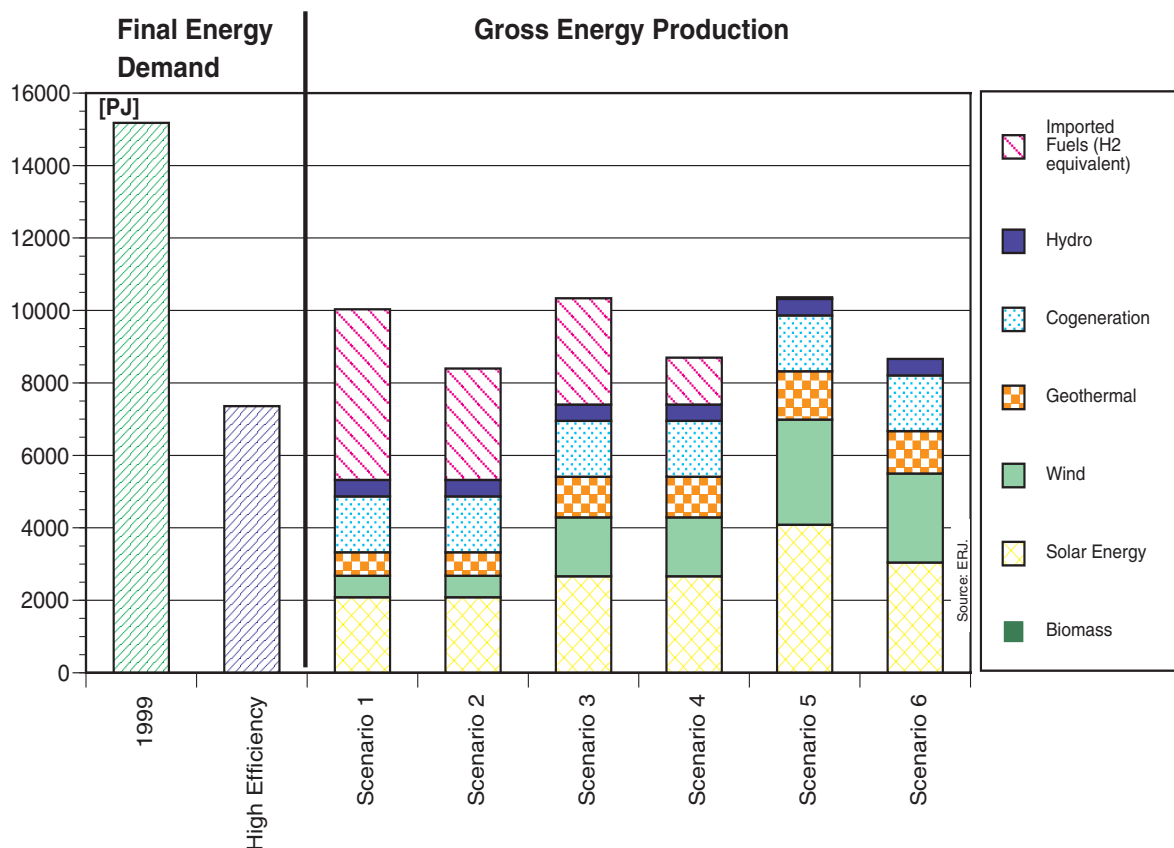


図 1 : 1999年度の需要と高効率モデル。輸入依存度の異なる6つの供給シナリオ。シナリオ 2、4、6 では、人口の減少を想定した。

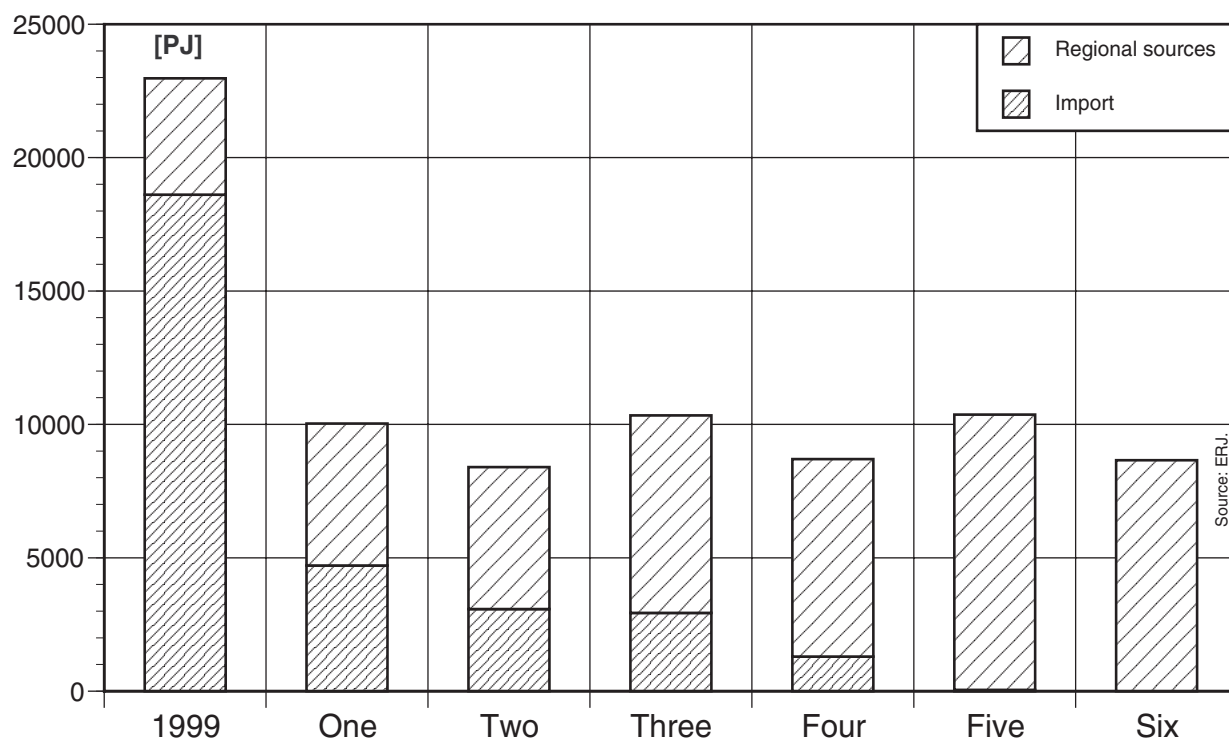


図 2：一次エネルギー供給と自給率を示した ERJ シナリオの概要。シナリオ 2、4、6 では、人口の減少を想定した<sup>3)</sup>。

供給信頼度は、需要と供給のバランスが常に取れていなければならない電力部門で、最も急を要するため、コンピュータ・プログラム SimREN を用い、日本全体の電力系統と地域の熱系統でシミュレーションを実施した (5 ページの図 3 を参照)。

この研究では、「いつこのようなシステムが現実のものにできるのか？」また「このようなシステムの費用はどの程度なのか？」といった 2 つの問いには、意図的に答えていない。太陽エネルギーを利用したエネルギー供給システムが、日本で可能かどうかを示すのに、価格や開発期間を提示する必要性は無いと考えたからである。

日本のエネルギー経済再構築を議論する枠組みとして、このシステムを紹介する。再構築の際には、このレポートに紹介されている再生可能資源に、限定する必要は全くない。他のシステムを用いて、日本の需要を、再生可能資源で賄うことも、もちろん可能である。

すべてのシナリオが、技術的な面から見ても、風力、太陽放射、地熱などの天然資源の面から見ても、日本において実現可能であろう。決定的な要因は、国民の合意形成、「エネルギーの確保」や「対外関係」など、政治上の優先順位、今後の再生可能資源利用技術の進歩などであろう。「エナジー・リッチ・ジャパン」は、確かに野心的なコンセプトではあるが、方法は、きわめて保守的である。確かに、実現するには、インフラに多額な投資をつぎ込むと共に、今後の産

3. 一次エネルギーとは、変換効率等も考慮した統計に基づいて計算された、最終エネルギー需要を満たすために生産されなければならないエネルギーの総量である。最終エネルギー需要とは、工場や家庭など、エネルギーが消費される現場の需要の合計である。供給システムのグロス・エネルギー生産とは、各種技術によって生産されたエネルギーの合計である。

業、家庭、商業、運輸分野のデザインや構築の方法を、広範囲にわたって変革する必要があるであろう。しかしながら、世界が気候変動や原子力事故によって直面する環境上の危険を考えると、持続可能なエネルギー・システムを開発しない場合にかかりうるコストの方が、日本であれ、世界のどの国であれ、はるかに高くなると言えるかもしれない。

持続可能なエネルギーシステムをいかに実現するかという問題に、我々は今回の研究で取り組んできた。今、我々に必要なのは、それを実現させようとする願望と意思のみである。

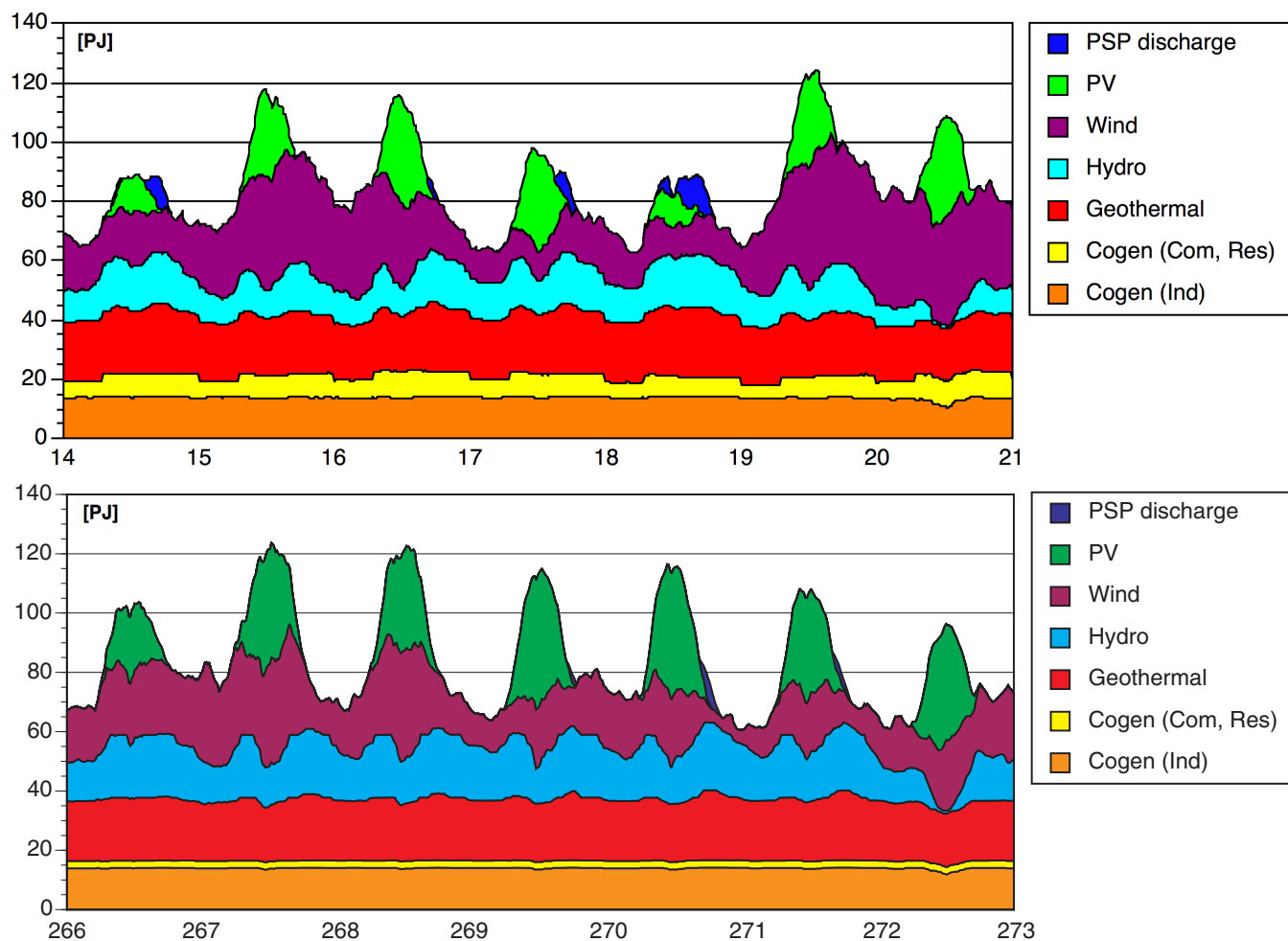


図 3： 図に、2 週間分のエネルギー生産の動向を示した。エネルギー供給システムが、十分に需要を満たしているのがわかる。風力と太陽電池の電力生産が、同時に落ち込んだ際には、揚水発電で、不足分を確保する(14、18、19、271 日目を参照)。

## 2) はじめに

*„Tell people something they know already and they will thank you for it.*

*Tell them something new and they will hate you for it.“ George Monbiot*

「知っていることを言うと感謝されるが、新しいことを言うと嫌われる」

ジョージ・モンビオット

気候の変化は、ユニークな特徴をもった問題である。グローバルであること、長期間(何 100 年の単位)にわたること、気候、環境、経済、政治、機関、社会、技術などのプロセスが複雑に絡み合っていることなどを特徴としている。「公平で持続性のある発展」など、社会的目標のコンテキストにおける国家間や世代間における意識の食い違いと同様である。気候の変化への対応を発展させる時の特徴は、不確かで、比例しないあるいは取り返しのつかない変化が起こる可能性を含むリスクの基で、意志決定される事である。このレポートが、言わんとしている事は、「早期対応により、将来を見越して、大気中の温室効果ガス濃度を安定化させるため、排出の削減し、技術開発を行い、学術的に不明な点を削減し、フレキシブルに対応できるような体制を作ろうではないか」ということである<sup><4></sup>。

これは、グリンピースのレポート「Fossil Fuels and Climate Protection: The Carbon Logic」<sup><5></sup>でも明らかにされているように、二酸化炭素の放出量を、容認できるレベルまで、大幅に減少するには、化石燃料の使用を止める必要がある。「The Carbon Logic (炭素論)」レポートでは、地球温暖化によって取り返しのつかないダメージを環境に与えないであろう石油、石炭、天然ガスの燃焼容認量としての「carbon budget (炭素収支)」と言うコンセプトが紹介されている。今後 100年に、平均気温が1℃上昇すると、環境は、有意なダメージをうけるであろう。もしも、平均気温が1℃以上上昇したとしたら、世界は大きなダメージをうける。現在の傾向が維持されれば、30年後には、グリンピースが算出したグローバルな平均気温上昇が1℃以内におさまる炭素収支を越えるであろう。

この収支を維持するには、採掘可能な化石燃料の内 75%は、地中に残されなければならない。これは、化石燃料の使用を現時点から段階的に廃止していく必要性を示している。

放出を削減する策を講じなければ、この100年に1兆5千億トンの炭素が化石燃料から放出されることになる。これは、産業革命以来、有意に増加している温室効果ガスである二酸化炭素の濃度が、さらに上昇することを意味している。グローバルな地球の温暖化は、洪水など極度な気象現象の頻度を増し、エコシステムに多大な影響を与え、種の絶滅を加速するであろう。海面が65cm上昇すれば、日本の海岸線のうち80%が冠水する。1m上昇すれば、冠水する海岸は、90%を越える<sup><6></sup>。

4. Intergovernmental Panel on Climate Change (2001a).

5. Hare (1997).

6. Harasawa, H. (2001).

化石燃料の使用の歴史と、現在の不釣り合いな排出量割合(先進国が、温室効果ガスの80%を放出している)を考えると、この転換を実現するには、豊かな先進国がイニシアティブを取るのが当然と言えよう。加えて、先進国は、公平の問題として、また世界規模での温室効果ガスの低減を目指す京都議定書などの国際協定の一環として、途上国を支援することを確約している。

実際のところ、我々にとってエネルギー供給の選択肢は、環境影響に制約を受けざるを得ない。化石燃料はこれ以上燃やすことができず、原子力は危険で高価だと立証されている。放射性廃棄物とテロや原子力事故の脅威などの問題も伴う、原子力産業がもたらす災害の可能性がはっきりと示すように、この危険な技術は利用を中止しなければならない。ボンの京都議定書締約国会議でも、原子力が京都議定書の共同実施およびクリーン開発メカニズムの一部とはならず、排除されることが同意された。核融合に関して:何十年もの研究と何十億ドルもの金額を費やしたにもかかわらず、核融合は実行可能だと実証されていない。たとえ核融合が将来機能するとしても、放射性廃棄物の産出を伴うだろう。

## 2.1) 「エナジー・リッチ・ジャパン」:研究の目的

消費効率の高い技術を採用し、エネルギー消費を節約すれば、地域や地球上で入手可能な資源を活用する再生可能エネルギー技術のみで、安全かつ確実に将来のエネルギー需要を満たすことが可能になる。この研究の目的は、日本のような地域において、全てのエネルギー需要を再生可能な資源でまかなうことが可能であることを示すと共に、その結果を、核燃料や化石燃料の使用を徐々に削減しつつ、代替となるクリーンなエネルギー技術へ転換して行くことについて議論する際に役立つことである。

再生可能なエネルギーと効率的設計に関する現在も継続中の議論は、こうした技術の利用可能性と潜在能力についての情報不足によって過小評価されてきた。今日ある地域が純粋に再生可能エネルギーだけで自国のエネルギー需要を提供できると示せば、我々が化石・核燃料なしのシステムに移行する助けとなるだろう。100%のエネルギー供給のための枠組みを設定することは、1992年の地球サミットで述べられた持続可能な未来の方向に我々を突き動かす政治的および社会的刺激にもなる。

再生可能エネルギーの分野では開発が急速に進んでいる。本研究では、現在一般に公開されている中で最良の利用可能な選択肢を提示する。当然のことながら、社会はこうした技術の技術的および経済的な改良に向け、さらに努力を続ける必要がある。

どんなエネルギーシステムであっても、長期的スケールで生態系の制限に適したものでなくてはならない。では、このようなシステムを計画する際、どのような点に注意を払わなくてはいいのか?まず、持続可能なエネルギーシステムは、種の絶滅の原因となってはならない。それは、正しい土地利用を促進するものでなくてはならない。そして、森林などエコシステムが、種の多様性を保てるよう、共につながりあったシステム(生存を保障するシステム)であり続けることができる助けとなるものでなくてはならない。もちろん、生態系に慢性敵に残るエミッション、生



物濃縮されるエミッションや毒を放出してはならないだけでなく、現在のそして後世の世代にとって公平かつ平等でなくてはならない<sup>7)</sup>。

持続可能な未来政策は、上に定義したようなエネルギーシステムを推進する。これは、バイオマス等を生産し、持続可能な方法で用いなければならないことを意味する。そしてこれは、土壌の悪化無しに、森など自然の重要な要素を破壊することなく、メタンなど温室効果ガスを放出することなくバイオマスを生産する必要があることも意味している。生物の多様性は、保護され、全バイオマスシステムのエネルギー収支は、ポジティブでなければならない。遺伝子を組替えられていない植物も、バイオマスの生産に含まれるべきだ。Hydropower must not be used o 水力が、巨大で破壊的な規模である必要は無い。既存の水力プラントは、環境破壊の観点から見直し、アセスメントされなければならない。今後建設される水力プラントは、ケースに応じて小規模あるいは中規模で計画されるべきだ。水力を確保するために、再生林も考慮されなければならない。原始林を、このような計画の犠牲にしては太陽電池製造の際、問題となりえるマテリアルも使用されることを忘れてはならない。石炭燃料や核燃料ではなく、クリーンな手段で製造された水素を燃料として使って初めて、燃料電池は、エミッション・フリーと言える。

「無料の昼食などありえない」と言う格言同様、生活に破壊はつき物だが、その破壊は最小限のにとどめるべきである。

このレポートは、再生可能な資源と高効率な技術を組み合わせれば、上記の条件を満たすことが可能であるということを示唆するものである。

この研究で述べる持続可能なエネルギーシステムのコストは、内部および外部コストを考慮に入れると、従来の資源のコストよりも低い<sup>8)</sup>。大量生産が進むと製造コストが大幅に下がるのと同様、エネルギー市場で占める割合が増えるほど、コストはますます競争に有利な価格になる。我々がこの方向に進み始めない限り、真の再生可能なエネルギーシステムは生まれまいだろう。

## 2.2) 前提

我々はなぜこの研究の対象として日本を選択したのか。その答えは次の課題にある。今日最善の利用可能な技術を用いて、日本で100%の再生可能エネルギーシステムを実現することができれば、他の多くの地域にその結果を移してアレンジし、地球全体を対象とすることさえ可能になるだろう。

---

7. 「最も基礎的なレベルとして持続可能な開発には、公平かつ平等と言う概念が含まれていなければならない。持続可能な開発のエッセンスは、共同参加のプロセスであるが、不公平、経済的不安定などの問題が、コミュニティの一部の層の参加を阻害する傾向にある。よって、これらの問題を打破することが持続可能な開発の最も重要なゴールと言えよう。」、出典：Action Towards Local Sustainability (UK).

8. ドイツ政府、Enquete Commission の最終レポート「ustainable Energy Supply against the Background of Globalization and Liberalisation」に詳しく記載されている。  
(出典：Enquete Commission (2002))。

気候変動に関する京都議定書の生まれた国であり調印国の日本は、これまで化石燃料の点でエネルギーに乏しい国とみなされ、エネルギーの輸入に大きく依存してきた。その結果、日本は広範な原子力プログラムを採択し、解決策というより問題をますます増やしている。急速な産業革新の歴史を有するにもかかわらず、日本は高度な工業化と人口密度の高さからかなり大きなエネルギー需要を抱えるため、再生可能エネルギーへの急速な転換のための重要な必須条件を備えていない。利用できそうな土地や水もよい場所がない。日本は島国で、他の国とエネルギー交換する選択肢はほとんどない。しかし、地熱利用には、最適な位置にあり、世界中のほとんどの場所で利用可能な風力や太陽エネルギーも利用できる。我々は日本で 100%の再生可能エネルギーシステムという課題を提起し達成するにあたって、他の地域にも当てはめられる、真に持続可能なエネルギーシステムの実行可能性を立証しようと考えた。

いくつかの要因が、レポートの必須条件として特定された。1 つ目が、ライフスタイルに大きな変化をもたらさずに、そのままの状態での日本のシステムに研究を適合させることだった。これは必然的に、生活水準を変化させずに、エネルギーの需要構造をモデル化することを伴う。経済成長または経済沈下のどちらの予測も考慮していない。現在の輸送インフラと交通量は、エネルギーシステムを受け入れても変更されないと推定した。すなわち、プロジェクトの目標は、持続可能で、再生可能で、効率的なエネルギーシステムが、日本の現行の需要を理論的に満たし示すことである。研究のどの領域でも、控えめな推定を採用した。

日本の電力供給は、本研究で紹介する 6 つのシナリオの形で示される。この画期的なエネルギー需給システムの電力系統は、実際の天候を使用する SimREN コンピュータモデルを用い、高い時間的・空間的解像度でシミュレートされる。このシミュレーションは、まずそのシステムを最適化し、本研究で説明されるエネルギーシナリオの信憑性を高めるために行われた。3 つのメインシナリオではそれぞれ、再生可能資源に基づく国産エネルギーの割合を 50%、72%、100%とした。引き続き、各シナリオに、1999 年の 1 億 2,700 万人から 2050 年に日本の人口が 1 億人に減少するという予測を組み込んだシナリオを想定した。

日本のエネルギー経済再構築を議論する枠組みとして、このシステムを紹介する。再構築の際には、このレポートで紹介されている再生可能資源に、限定する必要は全くない。他のシステムを用いて、日本の需要を、再生可能資源で賄うことも、もちろん可能である。

本研究は、このようなシステムはいつ頃実行に移せるのか、また、このシステムはどのくらいのコストを要するのか、という鍵となる 2 つの質問に答えを出すものではない。どちらの質問も、エネルギーシナリオの中で度々検討される。我々、プロジェクトチームの一致する見解としては、この質問に答えることは、資源の定量化に向かう第 1 段階として意図される本研究の範囲を超えている。これらの質問に答えるには、追加の研究を要する。

太陽エネルギーを利用したエネルギー供給システムが、日本で可能かどうかを示すのに、価格や開発期間を提示する必要性はないであろう。ERJ レポートに記述したエネルギーシステムは、長い開発と、将来の需要に合わせて現行のシステムを改善していくと言うプロセスを前提としている。このシステムが、技術的には現時点の技術水準でも実現可能なことは、この研究で用いられたシミュレーションによって示すことができた。尚、実現にかかる費用の不正確な予測

や過渡期のシナリオ等は、この研究結果についての議論の邪魔になるだけである<sup>9)</sup>。日本は、エネルギーの豊かな国であり、再生可能資源だけで全ての需要を十分にまかなえ得る。

現行のシナリオと他地域からの歴史的情報が示唆するように、少なくとも 20 年以内に効率は約 30 % 向上し、再生可能エネルギーによる 30% の供給が可能である。しかし、これは当該国家における資源の可用性と政治的手段に大きく左右される。

「100% 持続可能な地域」の実現性を例証するため、グリーンピース・インターナショナルとグリーンピース・ジャパンは、ヨーロッパと日本の研究所に科学的協力を依頼した。依頼を受けたのは、EUTech (ドイツ)、ISEP (日本)、Wuppertal Institute (Germany) と ISUSI (Germany) を含む国際的なチームである。グループ間の協力関係は、常に緻密であった。

ドイツの EUTech は、特に産業部門で、エネルギー効率化技術の分析を行った。ISUSI はコンピュータ・シミュレーション・プログラムの開発、再生可能エネルギー資源に関する専門知識の提供、科学研究の調整の点で貢献した。各集団間の緊密な協力が常に確保され、チームは需給モデルの各部分で協力し合った。日本に関するエネルギー需給データについては、持続可能なエネルギー政策について国際的な活動をしている環境エネルギー政策研究所 (ISEP) よりデータ提供の貢献があった。

全てのミーティングは、日本で行われ、どのパートに関わらず、チームは緻密な協力を惜しまなかった。だが、このような、研究が意見の食い違いなしに行われるはずは無い。よって、このレポートの無いようにしては、私に全責任があります。

レポート作成の際には、以下の日本やヨーロッパの著名な科学者たちに、独立した外部の専門家として参加していただいた: Dr. Robert Gross (Imperial College UK), Dr. Jorgen Stig Norgard (Technical University of Denmark), Dr. Yasuhiro Murota (Shonan Econometrics), Dr. Hidetoshi Nakagami (Jukankyo Research Institute), Dr. Naoto Sagawa (Jukankyo Research Institute), Dr. Hermann Scheer (Eurosolar and alternative Nobelprize winner) and Dr. Jörg Schindler (L-B Systemtechnik)。

レポート発表のこの場を借り、皆様の協力、批判、批評に感謝の意を表したいと思います。皆様のコメントは、最終版の作成の際、できる限り取り入れさせていただきました。水力のパートにおける Jörg Schindler 氏の貢献に、またレポート「World Council for renewable Energies」(WCRE) を提供して下さった、Hermann Scheer 氏に感謝します。

最後になりましたが、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、特に Lynn Goldsworthy 氏に感謝します。皆様の協力が無ければ、このようなレポートは実現しなかったことでしょう。

---

9. 詳しくは: 「Energy Rich Japan - Aspects of Costs and Timeframes」、[www.energyrichjapan.info](http://www.energyrichjapan.info) で入手可能です。

持続可能なエネルギーシステムをいかに実現するかという問題に、我々は今回の研究で取り組んできた。今、我々に必要なのは、それを実現させようとする願望と意思のみである。

Harry Lehmann (ハリー・レーマン)

Scientific Coordinator of the  
Energy Rich Japan Research Team/Study

Head of Institute for Sustainable Solutions  
and Innovations



## 3) 方法

### 標準エネルギー需要評価

まずエネルギー消費量を正確に分析するため、エネルギーが消費されたすべての分野と分野を特定することによって、日本の実際の需要を詳細に反映する需要モデルを作成した。含まれる分野は、産業、商業、家庭、運輸である。エネルギー需要データは、「エナジー・リッチ・ジャパン需要モデル」の基準年として選ばれた1999年度の需要データである。

### 「高効率」エネルギー需要モデル

本研究の信頼性とクオリティを確保するため、このレポートでは、また産業レベルを変化させることなく、また現在の生活水準を下げたり生活様式を変えたりすることなく、需要を低減させる可能性について検討した。需要の削減は、現時点で既に利用可能な最良の技術を各需要分野に導入することで、社会や産業を再構築する必要なしに実施可能であろう。需要の低減をモデル化するため、2つのアプローチを採用した。最初に採用されるボトムアップ・アプローチでは、各デバイスやプロセスに利用可能な最善の技術を導入した時に得られる節約率を総計した。「エナジー・リッチ・ジャパン」レポートに、高効率な技術を採用した際のプロセスごとのエネルギー需要をあらゆる側面から詳述した。2つめのトップダウン・アプローチでは、プロセス全体のパフォーマンスが検討された。たとえば、鋼鉄の製造量が、他国の最良パフォーマンスと比較された。

人口の減少と高齢化が、たとえば、世帯の小規模化や労働力低下による生産レベルの変化により一層複雑な影響を及ぼすと思われるものの、人口変化のシナリオにおける需要は、需要が人口に一次比例して増減するものとして推定した。

### 再生可能エネルギー供給モデル

次に、新たに計算された「エナジー・リッチ・ジャパン」需要に基づき、再生可能なエネルギー資源で、電気エネルギー、熱エネルギー、輸送燃料を含める燃料などを供給できる、供給モデルを考案した。供給モデルでは、様々な最新の再生可能エネルギー技術を組み合わせた。モデルは、1年を通して、全ての特定することが可能であった消費現場に、いつ何時でも、エネルギーを電気、熱、燃料の形で供給できるようデザインされている。

時間帯や季節の変動を調整するため、風力や太陽エネルギーなどの天候に左右される資源（流動的資源）と、需要にあわせてエネルギーを供給できる、地熱あるいは貯蔵水素やバイオ燃料などによる電熱併給システム<sup>10)</sup>を組み合わせた。電力供給システム中の余剰分は、水素燃料の生産、揚水発電所の揚水ポンプの駆動、あるいは暖房用に使用するものとした。

10. ERJ 供給モデルで引用された燃料の量は、水素当量で算出した。燃料の需要は、持続可能に製造される国産バイオマスによってカバーできる、あるいはカバー可能であろうが、日本で入手可能な持続可能なバイオマスの正確な量は、レポート発表の時点では不明であった。



図 4 : コスモタウンきよみ野、出典:株式会社 博進(はくしん)

### 日本の電力システムのシミュレーション

SimRENシミュレーションは、再生可能なエネルギー資源のみから形成されるエネルギー供給システムの力学を研究するため開発されたプログラムである。今回、SimREN は、日本の供給システムを計画し、最適化する目的で使用された。最適化とは、信頼の置ける供給を常時確保し、国外からエネルギーを輸入せずに日本に電力を供給することである。シミュレーションでは、設置された発電所から供給可能なエネルギーを、時間分解法に基づいて算出した。各発電所の設置数は、発電所のキャパシティが最適になるよう繰り返し調整した。

ERJ需要モデルでは、1999年を基準年とし、その期間をシミュレートした。季節の変動や悪天候などを考慮する目的で、シミュレートの期間は、一年間とした<sup>11)</sup>。SimREN は、標準的な日間および年間需要曲線を用い、各時点でのそれぞれの消費分野(家庭、商業、産業)のエネルギー需要を算出するよう設定された。

11. シミュレーションのため、日本を互いにエネルギー交換可能な 12 の地理的地域に分割した。モデルシステムは、日本の 153 箇所からの極めて詳細な気象データを用いて開発された。天候データは 52 週間にわたり毎日、24 時間を 15 分ごとに区切って分解したため、エネルギー供給の季節と日々の両方の変動に関する正確な情報が入手できた。

## 4) 結果

### 4.1) エナジー・リッチ・ジャパンと高効率エネルギー需要モデル

本レポートの重要な前提の1つは、現時点で既に利用可能な最もエネルギー効率の高い技術を採用することで、現行の日本のエネルギー需要を、大幅に低減できるということである。産業、商業、家庭、運輸の4分野で、これらの高効率システムに転換またはこれらの一部採用することによって、エネルギー需要の大幅な低減できることが確認できた。このモデルでは、上記4部門をそれぞれの構成要素に分解し、各構成要素に、世界で最も高効率な技術を採用するものとした。

こうすることで、エナジー・リッチ・ジャパンの高効率需要モデルでの需要理論値は、7,500 ペタジュールいかとなり、これを1999年度のデータに基づくERJ需要モデルにおける需要、約15,200 ペタジュールと比べると約50%である<sup>12)</sup>。

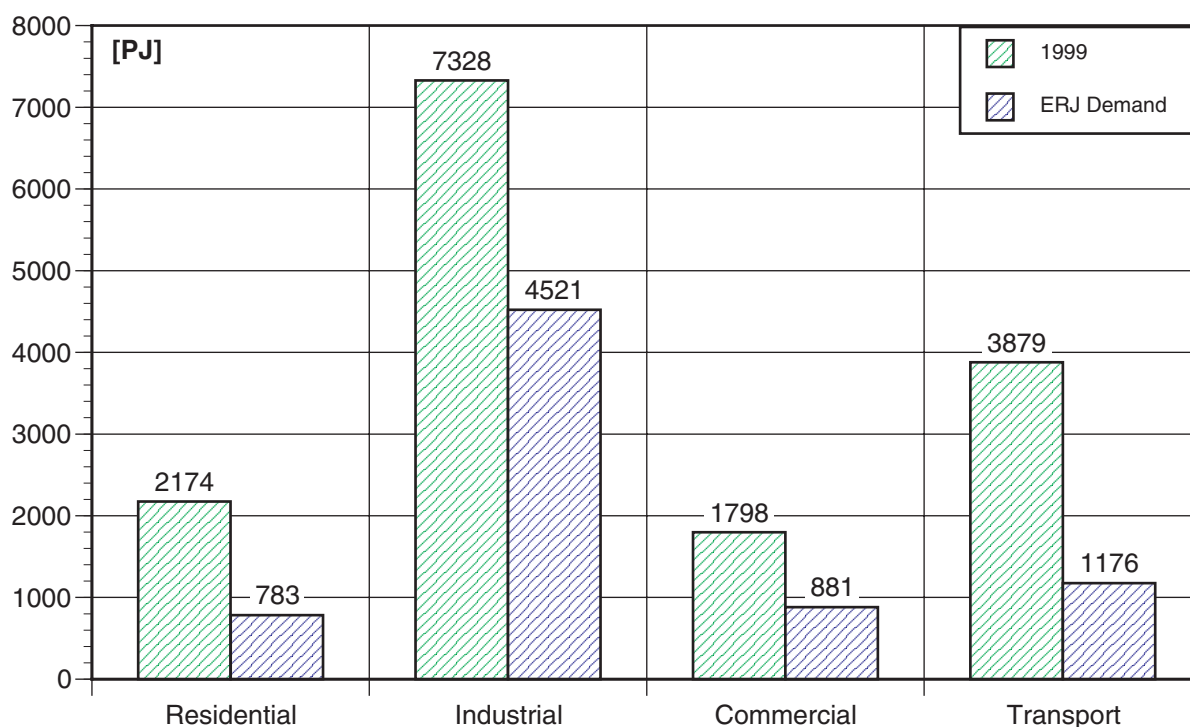


図5：標準(1999年)とERJ需要モデルによる、日本の最終エネルギー需要予測

12. 1ペタジュール(1PJ)は、 $1 \times 10^{15}$ J。1kWhは、3600kJ。

日本の産業は、1999年、エネルギーを7,328ペタジュール消費した、最大のエネルギー消費者であり、トータル 2,700 ペタジュール減、最終エネルギー需要の 37%を、産業分野で節約することが可能である。言い換えれば、現時点で既に利用可能な高効率技術を採用すれば、消費を約 4,650 ペタジュールに押えることが、可能であるということである。

- 1999年、商業部門は、1,798 ペタジュールを消費した。現時点で既に利用可能な高効率技術を採用すれば、最終エネルギー需要をトータルで50%強、すなわち917ペタジュール削減することが可能である。
- 家庭分野における最終エネルギー需要は、1999年の2,174ペタジュールから、トータルで64%、すなわち約1,400ペタジュール削減可能である。
- 運輸分野の最終エネルギー需要も、現時点で既に利用可能な高効率技術を採用すれば、1999年の3,879ペタジュールから1,176ペタジュールまで、70%、すなわち約2,700ペタジュールの大幅な削減が達成できる。

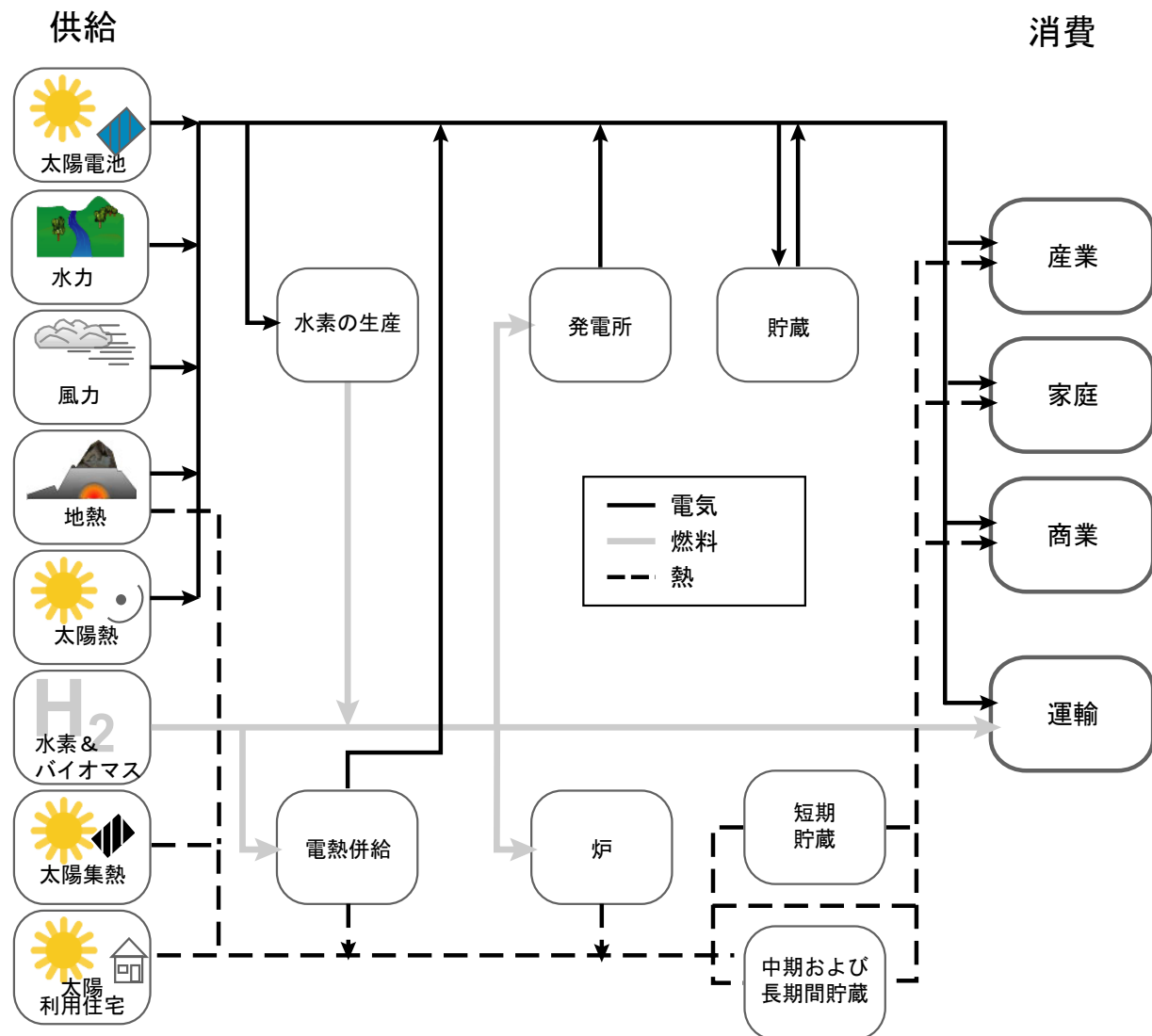
## 4.2) 再生可能エネルギー供給モデル

信頼のおけるシステムを、再生可能なエネルギー資源のみで設計するという課題は、それぞれのサブシステムの長所と短所を組み合わせることで、短所を補い合い、総合的にバランスの取れたシステムを見出すことである。バックアップとしての予備的なキャパシティは、特に供給源が変動する電力システムにおいては、必須である。予備的なキャパシティを最小限にとどめるには、供給の変動によって電力生産が需要を満たせないようなことが決して起こらないように、生産の変動を需要の変動と一致させる再生可能エネルギー技術を導入したシステムを構築しなければならない。

このため、ERJ 供給モデルをデザインした際、供給側で最も問題となりえる電力サブシステムに焦点を絞った。風力や太陽などは、天候や季節に左右される流動的資源であるが、これらを地熱発電所や水力発電所など「オンデマンド式供給」源と組み合わせることで、季節あるいは日々の変動にかかわらず、1年を通して信頼のおけるエネルギー供給を実現することができる。電力供給システム中の余剰分は、水素燃料の生産や揚水発電所の揚水ポンプの駆動等に使用され、備蓄される。

電力供給モデルは、できる限り多種の国産エネルギー資源を活用し、1年を通して電力を供給できるようにデザインされた。さらに熱と燃料の供給システムもデザインした。





出典：ISuSI.

図 6：再生可能な資源をベースとするエネルギーシステムの構造

熱を輸送するには限界があるため、生産された地域で消費されなければならない。また、消費者も自ら熱を作り出すということも考慮して、熱供給システムはデザインされている。ERJ 供給モデルの焦点は、消費者の自給自足ではあるが、化石燃料による熱生産から再生可能な供給源による熱生産への切り替えも考慮されている。このため、ERJ 供給モデルでは、産業、商業、家庭の分野で、電熱併給（コジェネレーション）、蒸気タービン、熱生産施設、太陽熱吸収装置などを採用した。

電力供給が天候や季節に左右されるのと同様、太陽熱吸収装置でどれだけのエネルギーが生産されるかを予測することはできない。太陽熱システムによって生産された熱は、即座に利用されなければならないが、熱生産が熱需要を大きく上回ることもあるだろう。この点で熱の備蓄が重要になってくる。熱を短中期的（1週間から1ヶ月）に備蓄することは問題なく可能であり、「オンデマンドの供給源」と組み合わせれば、いつでも十分な熱供給を保証することも可能であろう。

産業における電熱併給では、異なる2つの様式での運営を想定した。電力供給が優先される場合、電熱併給施設を、電力需要を満たせるよう運営し、同時に生産された熱は、二次的に熱需要に供給あるいは備蓄される。

ERJ 供給モデルでは、様々な資源を考慮したが、上記の分野のうち、運輸分野だけは、いわゆる「燃料」に依存せざるを得ない。本システムでは、余剰電力を用いて水素などの燃料を生産し、従来のシステムでは、燃料を必要とする温水や熱は、太陽熱で供給する。要約すると、このシステムには以下の2つの長所がある：電力供給の余剰部分で、燃料を供給できると、外部の供給源から取得しなければならない燃料の量を最小限に押えることができることである。

燃料需要合計として計算され、太陽熱システムによって代替された燃料、およびシステムの水素生産を除くその他の燃料の需要は、水素あるいは持続可能な方法で得られるバイオマスなどの燃料でまかなわれなければならない。ERJ 供給モデルでは、各システムの国内供給源から調達しえなかった燃料を、水素当量に換算した。この燃料は、持続可能に製造される国産バイオマスによって代替することが可能であると予想されるが、レポート発表の時点では、国内で入手可能なバイオマスの正確な量が明確でなかったため考慮されていない。

ERJ レポートでは、再生可能なエネルギーで 100%国内の需要を供給し得る 6 つのシナリオを想定した。国産再生可能資源でエネルギー需要の 50%強を供給する事を想定した基本モデル(シナリオ 1)から始め、以降、シナリオ 1 を変更または拡大し、人口の変動や再生可能発電能力およびエネルギー効率の向上等の予測を考慮に入れて、輸入エネルギーへの依存を、シナリオ毎に段階的に低減し、最終的なシナリオ 5 とシナリオ 6 では、エネルギー資源の輸入をゼロとした。

### シナリオ 1：第 1 段階、一部輸入に依存

このシナリオでは、国内の再生可能なエネルギー資源だけで、高効率な技術の採用により需要が減少することを前提として、日本の電力と熱需要および運輸燃料の 53%を提供することができる。残りの 4700 ペタジュールのエネルギーは、別途に調達しなければならない。これは、水素の輸入や持続可能なバイオマスなどで賄うことができるであろう。

このシナリオでは、後続のシナリオと比べ簡素な効率化手段、小さいサイズのタービン、控えめな変換効率に押えてある。シナリオ 1 では、以下の再生可能なエネルギーシステムを想定した：

- 風力:27,000台の風力タービンで57,000MW近い発電能力を確保。これは2003年末時点のドイツと比較し、発電所数で約2倍、発電能力で約4.6倍である<sup>13)</sup>。
- 太陽電池:人口 1 人当たり 3.2m<sup>2</sup> の太陽電池パネルを屋根に設置。合計すると、約 400 k m<sup>2</sup> となり、家庭部門だけの利用可能な南向き領域の半分弱に相当する。発電能力は、60,000MWを超える見込みである。

13. Bundesverband Windenergie e.V.(ドイツ風力発電協会)

- 太陽熱システム:人口1人当たり3m<sup>2</sup>の太陽集熱器を設置。
- 水力発電:既存の水力発電の効率を、10%改善。
- 地熱:既存の地熱発電能力の 547MW から 22,900MW に増加するとした。これで利用可能な潜在的な地熱エネルギーの25%を利用することになる。
- 電熱併給では、再生可能なエネルギー資源から熱と電力が同時に生産される。

バイオマスについての備考:バイオマス燃料は、持続可能に製造されるバイオマスから作り出すことが可能だ。この研究の準備時点では、日本国内のバイオマスで環境保全を目指して生産される潜在的な量に関して非常に不確実であった。この理由により、日本のバイオマスに関する可能性の詳細は、この研究には盛り込まれていない。しかし、バイオマスが将来、エネルギー供給に重要な役割を果たすことは確実である。

シナリオ 1 をベースに、後続のシナリオでは以下のような効率化システムや発電システムを様々な組み合わせた:

- エネルギー効率のレベルを上げる
- 営業用のプロトタイプでは実証済みの大型タービンのレベルにタービンを大型化、風力の豊富な地域で水素生産を導入
- 実験レベルでは実証済みの太陽電池性能にまで効率が高められると仮定、適切な屋根と壁面への設置率を増加
- 地熱発電所を増設、フル稼働する
- 太陽熱発電所(シナリオ5,6では水素生産のために使われる)

### シナリオの主な特徴

#### 1. シナリオ 1 : 国内の電力供給を、全て国産のエネルギー資源で供給

このシナリオでは、国内の全エネルギー需要の 53%を国産の再生可能資源でカバーすることができた。ただし、不足分は、再生可能なエネルギー輸入に頼ることになる。輸入する再生可能なエネルギーの組み合わせは、実際には政治的な背景を考慮し、決定されなければならないものではあるが、この研究では、水素だけを対象として計算した。

#### 2. シナリオ 2 : 人口の変化

このシナリオは、シナリオ 1 と同様であるが、日本の人口が 1999 年の 1 億 2,700 万人から 1 億人に減少すると想定、これに伴いエネルギー需要が 7,500 ペタジュール近くから 6,000 ペタジュール以下に減少するものとして計算した。電力と熱の生産量を同じ水準を保つことで、人口減少に伴い、電力需要と熱生産に必要な燃料消費が減少するので、ほぼ倍近い水素燃料を余剰電力で供給できる。こうして国産燃料の割合増加すれば、日本のエネルギー需要

のうち、63%をカバーできる。水素またはこれに相当する燃料輸入は、3,075 ペタジュールに減少する。これは1999年度の輸入シェアの13.4%である。

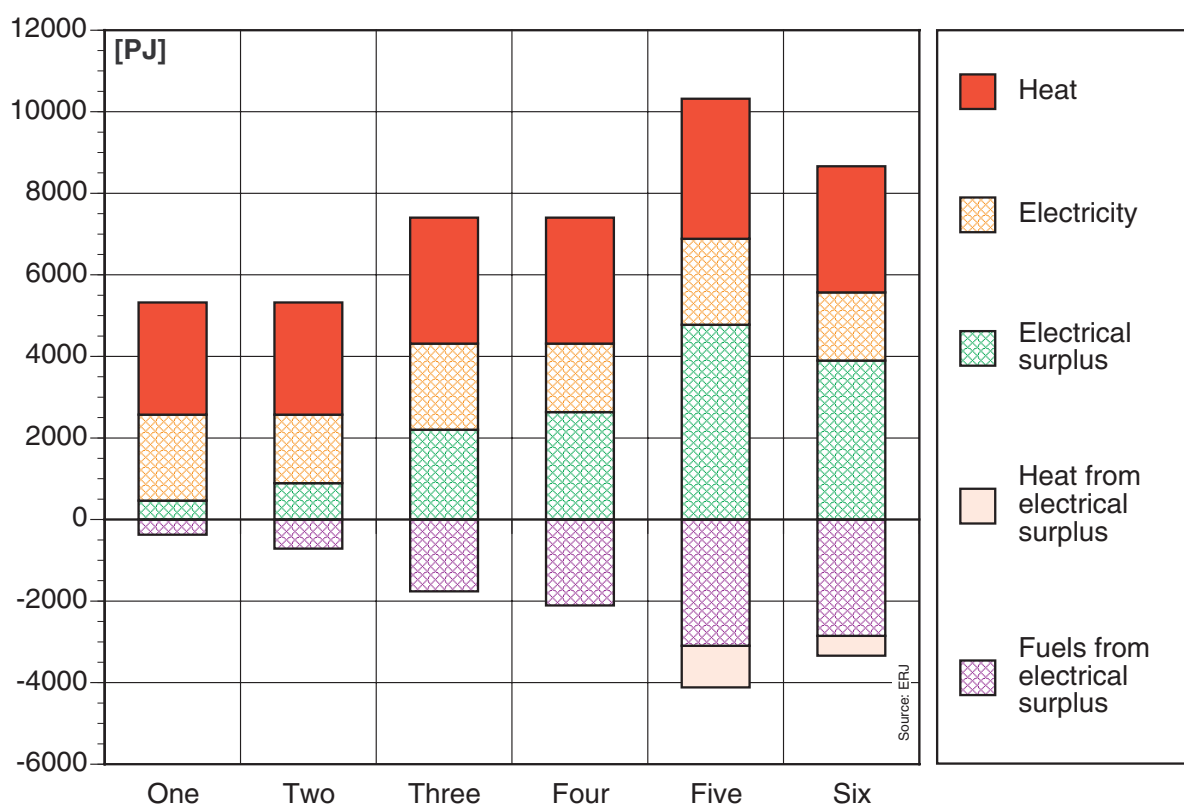


図7:「エナジー・リッチ・ジャパン」の6つのシナリオにおける電力および熱の国内生産。電力は即座に使われるものと余剰に分けられる。余剰な電力は、熱や燃料の生産に利用される。

### 3. シナリオ3:海上の活用

これまでエネルギー供給は、主に沖合の風力を利用することで増加してきた。国内資源からのエネルギー供給を増やすために、以下のような対策を想定した:

**太陽電池:**人口一人当たりの設置面積を、1.5倍の4.8m<sup>2</sup>に増加。PVの効率を、15%から18%とした。

**産業分野の熱供給:**産業分野の太陽集熱器のキャパシティを、257km<sup>2</sup>増しの2倍とした。

**風力:**シナリオ1の4倍のキャパシティに相当する発電機を、沖合に設置した。増設される発電機は、全て5MW級のものとした。これで、設置される沖合風力発電機の平均発電容量は、シナリオ1の2.6MWからシナリオ3では4.4MWに増加することになる。

**地熱:**利用可能な潜在資源の35%に利用率を増加し、フル稼働時間を年間8,100時間に増した。

余剰電力の利用:水素生産効率を80%とした。

このような対策で、国産エネルギー量をシナリオ1の5,321ペタジュールから7,403ペタジュールに増加でき、自給率は72%になる。残りの2,932ペタジュールは、輸入水素または他の国産のエネルギー資源(例えば、持続可能に製造されるバイオマス)に頼ることになる。これは1999年度の輸入シェアの13%を下回る量である。

#### 4. シナリオ4: 人口減少と海上の活用

このシナリオにおけるエネルギー供給は、シナリオ3と同様であるが、シナリオ2と同様、人口が減少し、それに伴うエネルギー需要の減少を考慮することで、国産シェアは85%に伸び、不足は1999年度のエネルギー輸入量の5.6%に相当する1,294ペタジュールに減少した。

#### 5. シナリオ5: 電力の完全供給と合理的利用

電熱併給や運輸用燃料生産に必要な余剰電力は、余剰電力を燃料に変えた後に熱に変換するよりも、直接、熱生産に使用するほうが好ましい(電力の熱への変換効率は、90%)。さらに自給率を上げるため、このシナリオでは、以下の対策を想定した:

太陽電池:人口一人当たりの屋根上設置面積を $6\text{m}^2$ に増加した。さらに人口一人当たり $6\text{m}^2$ を建物の壁面に設置し、人口一人当たりの合計を $12\text{m}^2$ とした。

産業分野の熱供給:生産工程熱用の太陽集熱器のキャパシティを3倍、 $514\text{km}^2$ 増とした。

太陽熱システム:太陽熱発電を、 $600\text{km}^2$ 設置し、効率は20%に設定した。

風力:効率が20%上がると想定した。

陸上の設置を、2.5倍増加した。沖合の設置は、4.5倍増加した。沖合の発電所のキャパシティは、全て5MW級とする。

地熱:潜在的な地熱の利用率を40%に増加し、効率は20%に向上するものとした。

余剰電力の利用:水素生産の効率は、85%に向上するものとする。電熱併給や運輸に必要な燃料生産をカバーした残りの余剰電力は、直接、熱生産に使用するほうが好ましい(電力の熱への変換効率は、90%)。よって余剰電力の一部だけを、余剰燃料の生産に使用し、残りは直接熱に変換することで、熱プラントの必要性を低減できる。

このシナリオでは、国産の再生可能資源のみで日本の需要のほぼ100%に相当する10,000ペタジュール以上を供給できる。

#### 6. シナリオ6: 電力の完全供給、合理的利用および人口の変化

シナリオ5において、人口減少を想定したのがこのシナリオである。以下に、主な相違点をまとめる:

太陽電池:人口一人当たり $4.8\text{m}^2$ (シナリオ1の1.5倍だが、シナリオ5より少ない)。壁面には、PV(太陽電池)を設置しない。

産業分野の熱供給:太陽集熱器のキャパシティを、シナリオ5と比べて半減する。

太陽熱システム:面積は、 $410\text{km}^2$ とする。

風力:陸上の設置数は、シナリオ1に比べ3分の1多いが、シナリオ5よりは少ない設定とした。沖合のキャパシティは、シナリオ1の4倍弱(シナリオ5より少なめ)、全て5MW級とする(これはシナリオ3と異なっている)。

地熱:潜在的資源の35%を利用、すべての発電所がORCを利用している。フル運転時間は、年間8,100時間とする。

余剰電力の利用:水素の生産効率は、85%とした。電熱併給や運輸に必要な燃料生産をカバーした残りの余剰電力は、直接、熱生産に使用するほうが好ましい(電力の熱への変換効率は、90%)。よって余剰電力の一部だけを、余剰燃料の生産に使用し、残りは直接熱に変換することで、熱プラントの必要性を低減できる。

このシナリオでの自給率は100%、エネルギー生産は、8,600ペタジュール以上であり、燃料輸入は必要ない。

### どのシナリオが最良の解決策を提案しているのか？

上記全てのシナリオが、日本において、技術的な面から見ても、風力、太陽放射、地熱などの天然資源の面から見ても、実現可能である。決定的な要因は、コスト、国民の合意形成、「エネルギーの確保」や「対外関係」など、政治上の優先順位であろう。「コスト」や「エネルギーの確保」と言った観点からは、「持続可能に製造されるバイオマスを含む国産資源の組み合わせと水素輸入による補填」と言うシナリオが最良の解決策を示唆している。

我チームは、広範囲の可能性を提言しようと試みたのであり、一つの「理想的な」解決策を提供しようとは思っていない。

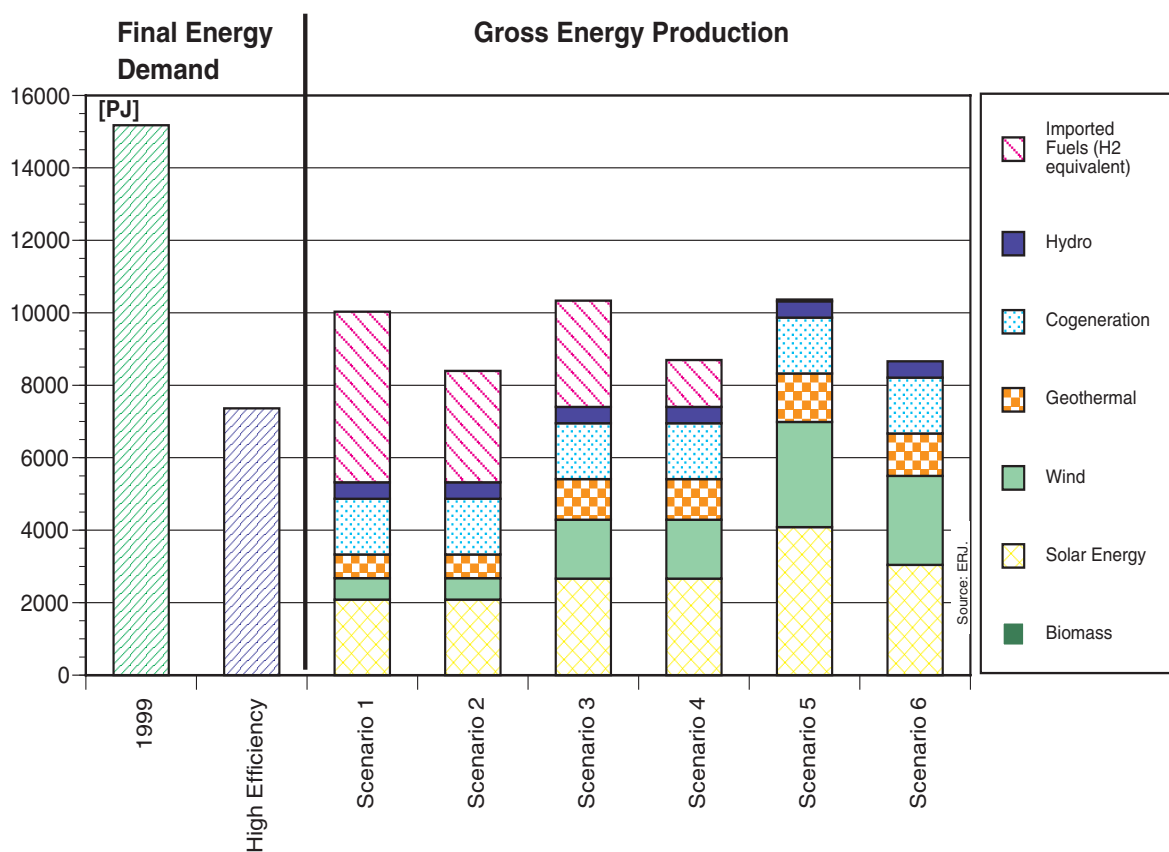


図 8：1999年度の需要と高効率モデル。輸入依存度の異なる6つの供給シナリオ。シナリオ2、4、6では、人口の減少を想定した<sup>14)</sup>。

14. 一次エネルギーとは、変換効率等も考慮した統計に基づいて計算された、最終エネルギー需要を満たすために生産されなければならないエネルギーの総量である。最終エネルギー需要とは、工場や家庭など、エネルギーが消費される現場の需要の合計である。供給システムのグロス・エネルギー生産とは、各種技術によって生産されたエネルギーの合計である。

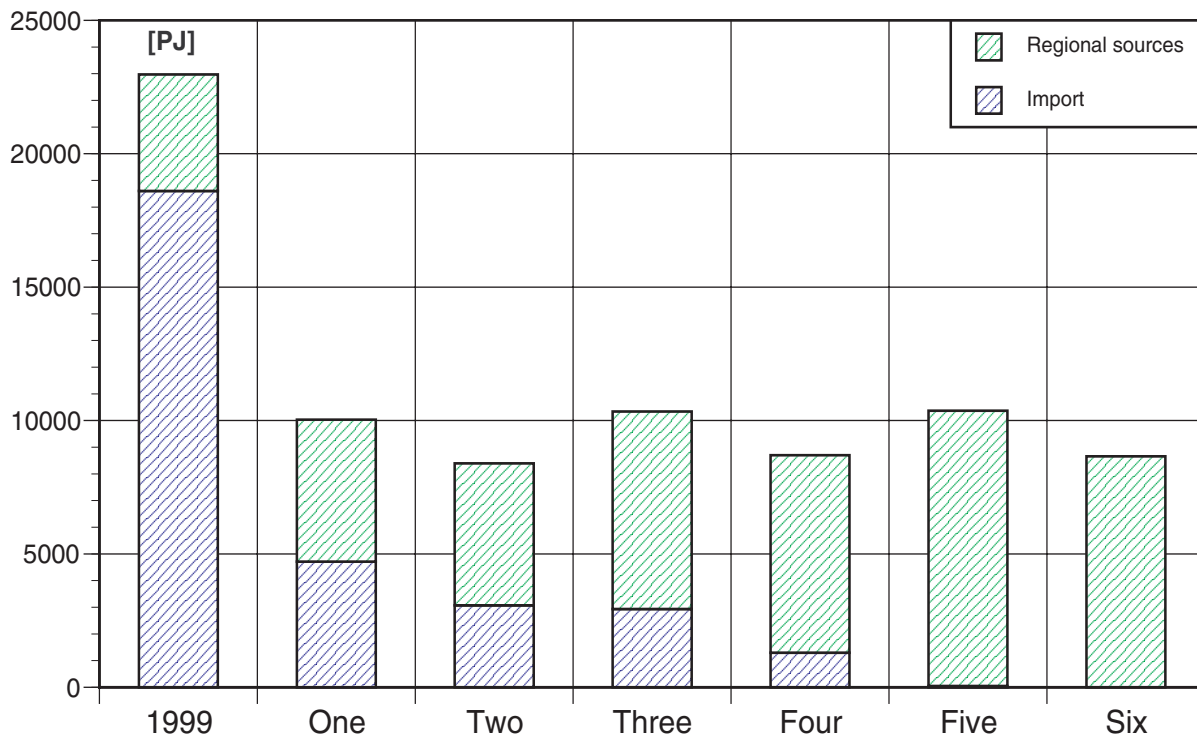


図 9：国内生産に対する輸入シェアを示すペタジュール単位のエネルギー供給

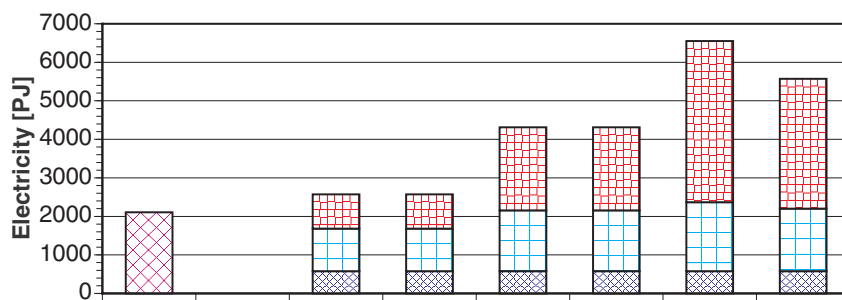


図 10：「エナジー・リッチ・ジャパン」の 6 つのシナリオ全体における電力および熱の国内生産。



### 4.3) シナリオ 1 と 1 年間の動向

ERJ需要モデルでは、1999年を基準年とし、その期間をシミュレートした。季節の変動や悪天候などを考慮する目的で、シミュレートの期間は、一年間とした。シナリオ1で、電力、熱、燃料を1年中確実に供給することができるのであれば、その他シナリオでも(設置容量がより大きい)可能なはずである。

解像度の高さも結果を有意に左右するとみなされたため、天候に依存する影響も、高い解像度で、できるだけ現実的にシミュレーションされなければならない。そこで、入手可能な全ての天候データを、日本用の SimRen シミュレーションにインプットした。国内に満遍無く配置されている 153 箇所の気象台からのデータを入手することができた。太陽電池による発電ポテンシャルは、これら気象台のうち日照も測定している 66 箇所のデータを基に計算した。



図 11 : 陸上ウインドファーム

日本のモデルに組み込まれたその他すべてのデータは、日本の 10 の行政区から入手可能だった。気象上および地理上の観点から、北海道は、東部と西部に、東北も東部と西部に、九州は、北部と南部に分割した。よって ERJ 電力システム・モデルは、下の図に示す 12 の地域から成り立っている。沖縄のエネルギー消費は、九州と合計されたものしか入手できなかったため、九州の需要に含まれている。南西諸島のほとんどは、日本の電力グリッドに統合することができなかったため、屋久島と種子島だけを考慮した。他の南西諸島は、風も日照も強いので、水素生産に貢献しうる地域ではあるが、シミュレーションでは考慮しなかった。

需要曲線(需要 / 時間)は、春、夏、秋、冬の季節および就労日、祝日に分けて近似した。また、地域ごと、消費分野ごとの需要曲線も近似された。SimREN プログラムのシミュレーションで使われた最終需要曲線には、消費者が完全に予測可能ではない事を考慮して、消費者の行動をより現実的に再現するために、5%のランダム・ファクターを取り入れた。

まず、エネルギー需要を算出した。ただし、消費者のエネルギー需要は、エネルギー需要の管理によって調整することはできない<sup><15></sup>。それぞれの地域における流動的資源による電力供給を需要から差し引き、不足部分を需要に合わせて稼働できるシステムや貯蔵から供給する。

シミュレーションでは、「需要に合わせて稼働できるエネルギー・サプライヤー」を管理するために、エネルギー・マネージャー(という概念)を導入した。電熱併給プラントには、低温の熱用の発動機と高温の熱用の蒸気タービンが含まれている。これらのプラントで、プロセスに必要とされるエネルギーを産業分野に十分に供給できる。このような電熱併給プラントの3分の2は、終日フル稼働する。残りは、地域の電力需要と供給の調節用に割当てた。このような操業モードは、熱が産業で貯蔵され、必要なときに熱を消費できるものとする可成りであった。

電力の補填が必要な場合、エネルギー・マネージャーは、まず産業部門の電熱併給プラントを始動する。生産が需要を満たさなかった場合は、より多くのエネルギーを生産するために地熱発電所を使う。水力発電所は、エネルギー生産が特定の河川の水位に左右され、利用可能な水の量が制限されるため、最終手段とした。



図 12 : Figure\_2\_: 高効率真空太陽熱集積システム、  
出典:: Paradigma, Ritter Energie und Umwelttechnik, Karlsbad, Germany

関東や関西など人口密度の高い地域では、エネルギーの自給自足できない。このような地域では、エネルギー需要が大きいのに、風力タービンやその他のエネルギー・サプライヤー設置の余地がほとんどないため、エネルギーが非常に不足している。その他の人口密度が低い地域には、利用可能な余地があり、大量の風力タービンを設置できるため、人口密度の高い地域にエネルギーを移出することができる。エネルギー移出入は、マネージメントされなければならない。

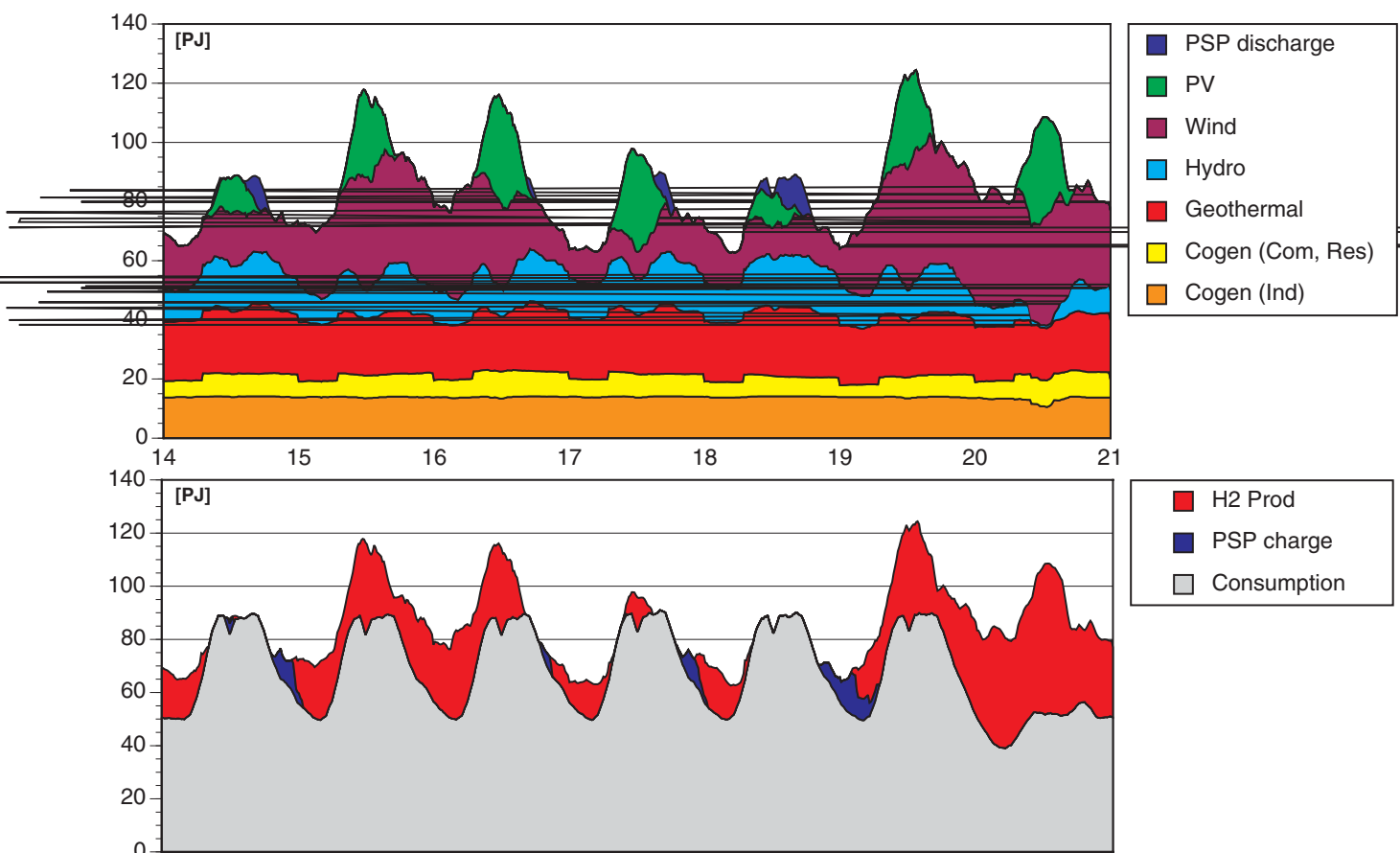
移出入マネージャー(という概念)は、エネルギーが不足した地域に、エネルギーが余剰している地域の全ての余剰エネルギーが消費される、あるいは全ての地域の需要が完全に満たされるまで分配する。マネージャーは、輸送の損失を最小限にするために、最短距離の移出を選択するように設定されている。電力生産が、依然として不十分であれば、最大出力が1ギガワットの高速反応水素発電所を始動する。必要によりマネージャーは、より多くのエネルギーを生産するために揚水発電所を空になるまで稼働、最終的に別の出力2ギガワットの高速反応水素発電所を、始動する。移出入マネージャーは、地域ごとのエネルギー・マネージャーに対して、他の地域にも供給するために自らの地域で必要とする以上のエネルギーを生産するよう指示

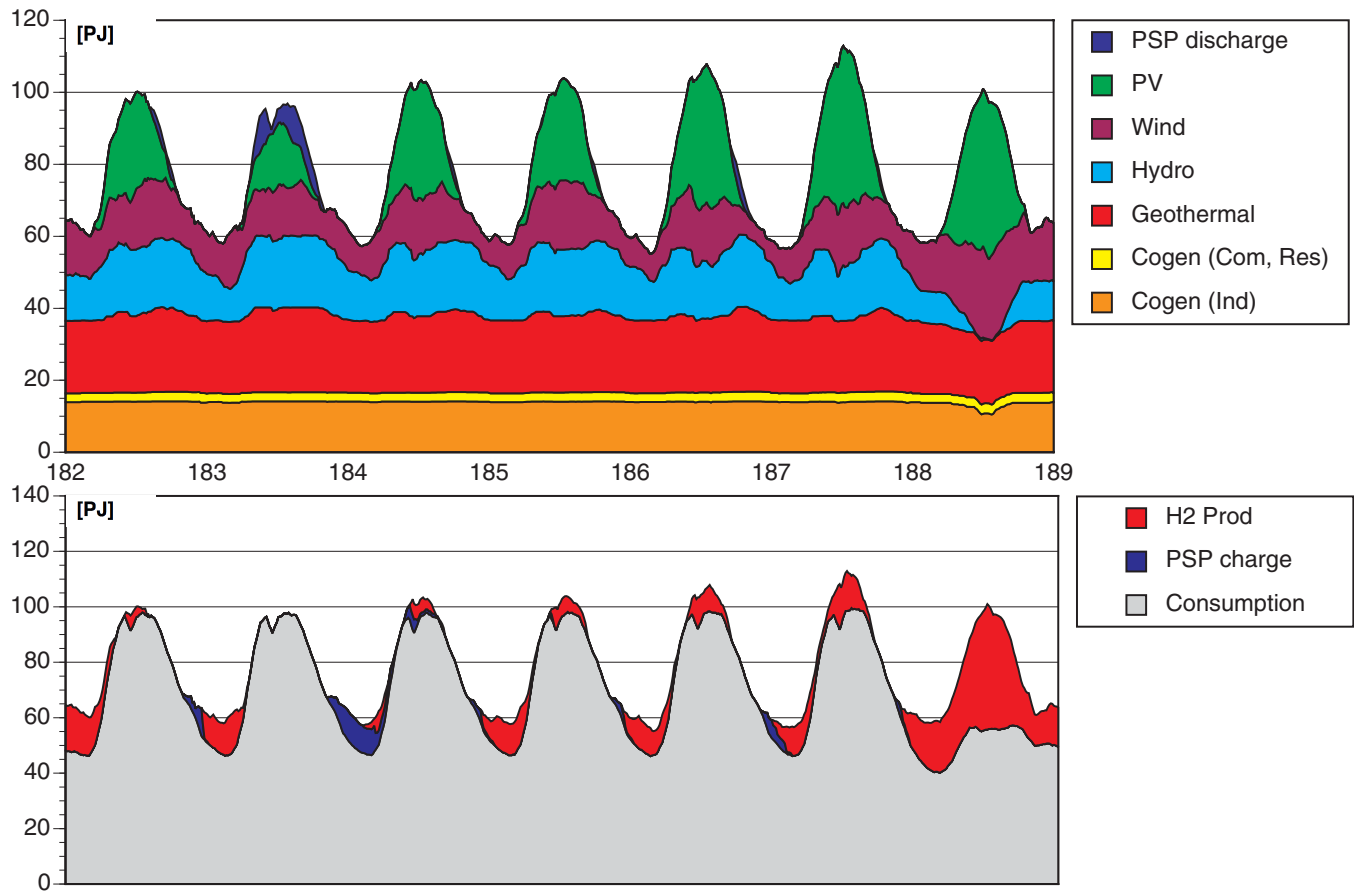
15. 消費者の行動に、エネルギーの価格(消費量におおじて価格を変動する)を知らせることで影響を与えることは可能かもしれない。このプログラムでは、このような、影響を考慮しなかった。

することもできるように設定されている。こうすることで、日本全体にエネルギーを供給するために、国内すべての潜在的資源が最大限に活用されることが保証される。この方法が、様々な戦略で行われたシミュレーションのうち最も確実に需要を満たせる方法であることがわかった。この戦略の長所は、揚水発電所が常に危機的な瞬間をカバーできる余力を保ち、しかも高速反応水素発電所の水素燃料消費を最小限に押えることができることのある。

このバージョンのSimRenでは、日本の祝日はシミュレーションに考慮されておらず、通常の就業日として扱われていた。最適化の過程において、電力需要のピークが密接に日照のピークと一致することが判明し、「サマータイム」の導入が好ましいということも明らかになった。そこで、ERJ電力供給モデルでは、3月28日から11月31日の間、時差1時間のサマータイムを導入した。

1999年度のデータに基づいたエネルギー供給曲線(週単位)を以下に図示する。





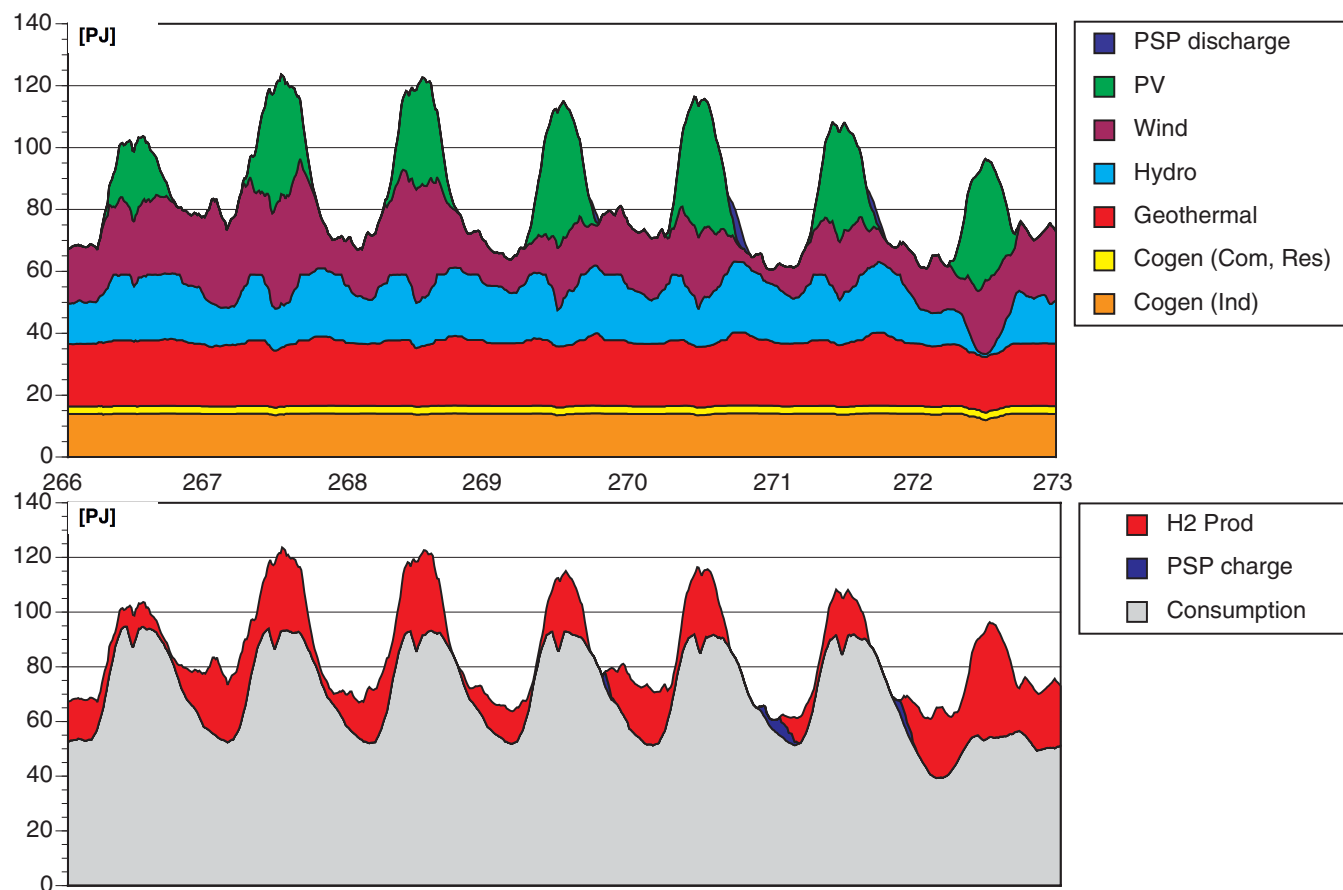


図 13 : ERJ 供給と需要(単位:ギガワット)、シナリオ 1 における 1 月の第 1 週、9 月の第 3 週、11 月の第 2 週を示している。供給が、常に需要を満たすか超過していることに注目。余剰供給は水素生産か揚水発電に利用された<sup>16)</sup>。

16. 5 2 週間分の全てのシミュレーションと動向のアニメーションは、[www.energyrichjapan.info](http://www.energyrichjapan.info) でご覧いただけます。

## 5) シミュレーション結果

本研究は、日本において、商業、産業、家庭、運輸分野に現時点で既に利用可能な高効率技術を導入し、これらの分野の省エネを図り、効率の良いエネルギー生産技術を合理的に組み合わせることを前提とすれば、商業、産業、家庭、運輸分野全てに対する信頼のおけるエネルギー供給システムを、日本の重要な資源である風力、太陽、地熱、水力など再生可能な資源だけで構築できることを示した。

現時点で既に利用可能な高効率技術の導入で、商業、産業、家庭、運輸分野における現在の最終的エネルギー需要を7500ペタジュール以下まで省エネすることが可能である。これは現在のエネルギー需要の半分に相当する。

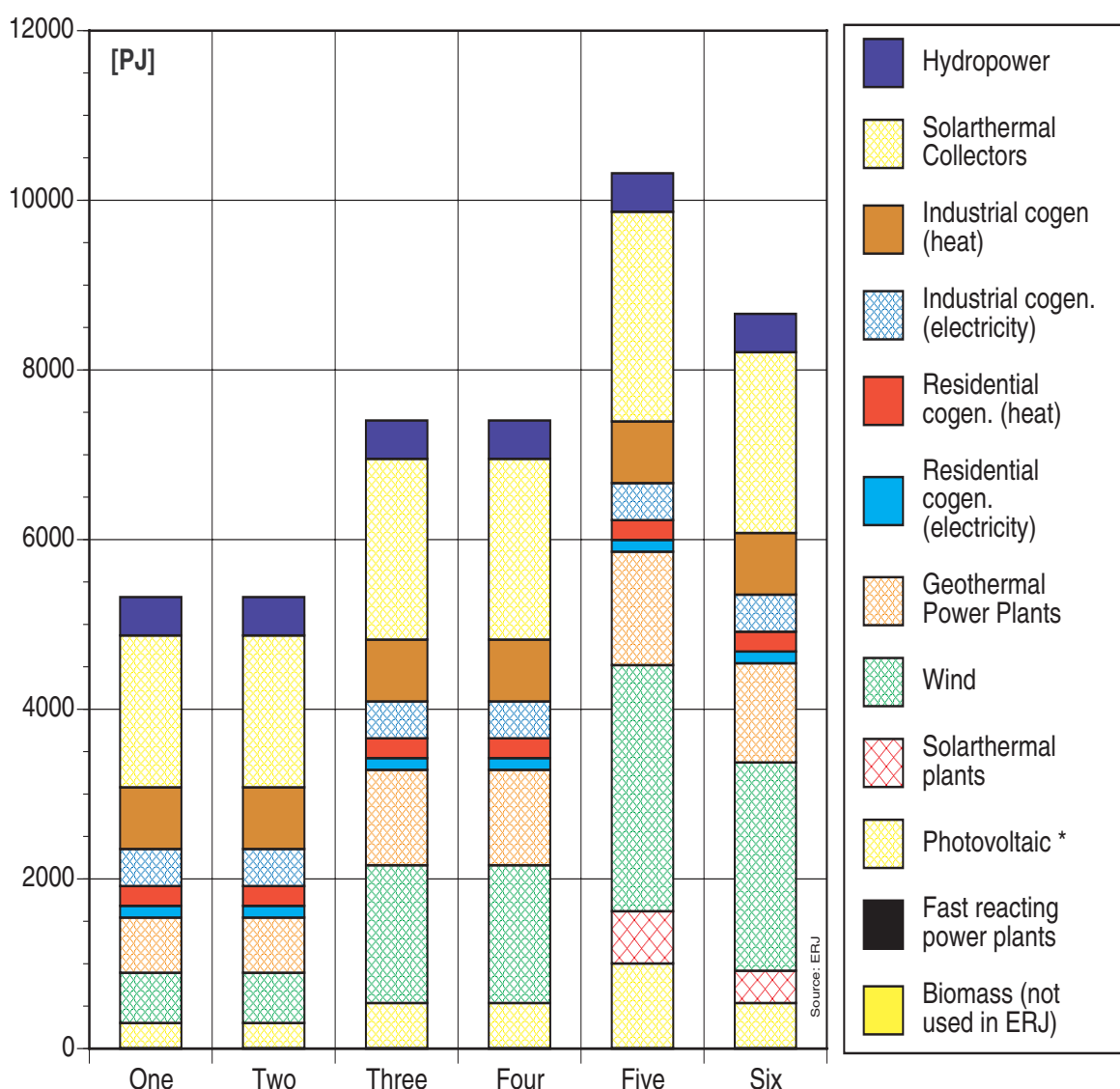


図 14 : 6つのシナリオで採用した、国産再生可能資源および技術に基づいたエネルギー生産(単位:ペタジュール)。想定したプラントによる、電力と熱の生産高(グロス)<sup>17)</sup>。バイオマスはリストには入れてあるが、持続可能に製造されるバイオマス資源のデータが無かったため、ゼロとされている。

6つのシナリオの数字は、現在の最先端技術を採用すれば、日本のエネルギー需要を再生可能エネルギー源のみから供給することが可能であることを示している。各シナリオで、エネルギー自給50%からエネルギー輸入を必要としない完全自給が可能となるシステムを提示した。これらのうち、3つのシナリオでは、再生可能エネルギー技術の効率向上や日本の人口減など、持続可能なエネルギー供給を達成する努力を最小限にするために有効な予見可能な、将来像が考慮されている。バイオマスは、この研究では考慮されていないが、将来のエネルギー供給に貢献するであろうし、ひいてはエネルギー輸入やエネルギー供給システムの規模を抑えることに貢献するであろう。

また、この研究は、完全国産する場合や、再生可能な燃料を輸入する場合においても、日本の高い生活水準と高い工業生産能力を、これらの条件の下で、安全、持続可能、かつ信頼できる供給荷より、維持することができることも示唆した。



図 15 : OCR パワープラント<sup><18></sup>、出典: Turboden, Brescia, Italy.

17. システムのグロスエネルギー生産、単位 = PJ (primary energy ではない)。

18. ORC [Organic Rankine Cycle] を採用した、2機の地熱プラントが、オーストリアとドイツで稼働している。オーストリア (Altheim) の Turboden 製プラントのキャパシティは、1000kW である。2年のテスト期間を終え、2002年9月からは、通常に稼働している。ドイツ (Neustadt-Glewe) のプラントは、2003年11月から稼働しており、そのキャパシティは、210kW である。出典: [Geothermische Energie 36/37 - Sonderheft Altheim, 10. Jahrgang/Heft 3/4, Juni/September 2002, Magazin of Geothermische Vereinigung e.V., Germany; 2002], [Erdwärme-Kraft GbR, Berlin, Germany; 2003]

## 6) 政策提言

全てのシナリオが、技術的な面から見ても、風力、太陽放射、地熱などの天然資源の面から見ても、日本において実現可能であろう。決定的な要因は、コスト、国民の合意形成、「エネルギーの確保」や「対外関係」など、政治上の優先順位であろう。「エナジー・リッチ・ジャパン」は、確かに野心的なコンセプトではあるが、方法は、きわめて保守的である。確かに、実現するには、インフラに多額な投資をつぎ込むと共に、今後の産業、家庭、商業、運輸分野のデザインや構築の方法を、広範囲にわたって変革する必要があるでだろう。しかしながら、世界が気候変動や原子力事故によって直面する環境上の危険を考えると、持続可能なエネルギー・システムを開発しない場合にかかりうるコストの方が、日本であれ、世界のどの国であれ、はるかに高くなると言えるかもしれない。

政治的支援がなければ、経済的に競争力のある再生可能エネルギー技術ですら、何十年にもわたり継続してきた従来の汚染技術に対する財政的、政治的、構造的支援により創出されたエネルギー市場における歪みの結果、競争面で不利であり続ける。電力、熱、輸送のネットワークは、1世紀の時間かけて、化石燃料や、より最近では原子力発電を基にして発展してきた。再生可能なエネルギーへの移行は、移行を簡素化し促進するために戦略的な政治介入を必要とし、政治的行為によって再生可能エネルギーの経済的、環境的利益の完全な達成を保証する必要があるだろう。

再生可能なエネルギーや効率のよい技術の包括的市場の導入に向けた努力には、フルコスト〔全原価〕エネルギー価格設定、環境規制、優遇税制、規範や標準、学校教育などがある。特に(決して包括的ではない)、以下のアクションが必要である:

### 需要政策

- 規定された効率の表示と規格
- 高効率機器に対する経済的優遇措置
- 断熱材、太陽熱、太陽光など、新規建築物の最低限の規格
- 既存の建築物の改装

### 供給政策

- 再生可能エネルギー供給源に対して法的拘束力のある目標の設立
- 再生可能技術への投資家のための安定した収益〔リターン〕の創出と定義(例えば給電料金)
- 市場の歪みを除去
- 環境的配慮に対応するための電力および燃料市場の改造



## 運輸

- 低燃費車両に対する税制ベースの優遇措置
- 公共交通への理解を増す方法
- 都市計画の改善

## 水素経済移行政策

- 研究開発
- 技術の実演
- 水素経済目標の期日
- 水素インフラの開発



図 16 : 沖合ウインド・パーク、Horns Rev in Denmark; 写真 : Elsam A/S