

統合型エネルギー経済モデルによる 2050 年までの日本のCO₂ 排出削減技術の分析

Analysis of carbon mitigation technology to 2050 in Japan through integrated energy economic model.

小宮山涼一 * ・ 鈴木研悟 ** ・ 永富悠*** ・ 松尾雄司*** ・ 末広茂***

Ryoichi Komiyama Kengo Suzuki Yu Nagatomi Yuji Matsuo Shigeru Suehiro

1. はじめに

現在、世界の CO₂ 排出量の 4% を占める日本は、2050 年までに CO₂ 排出量を現状比で 60% から 80% 削減することを目標として、様々な低炭素技術を普及拡大することが重要であるとの認識が広まりつつある。しかしこれまで、日本の 2050 年までの経済、エネルギーを総合的に考慮したエネルギー需給の分析例は少なく、このような日本の超長期見通しの作成が、効果的なエネルギー政策を立案する上で、今後その役割が大きくなると考えられる。そこで本稿では、日本の 2050 年までのエネルギー需給分析の枠組みを構築し、CO₂ 排出制約下における技術の普及とエネルギー需給に与える影響を評価する。

2. モデルの構造と推計結果

本稿で作成したモデルはトップダウン型の計量経済型モデルと、ボトムアップ型のコスト最小化型技術評価モデルを組合せた統合型エネルギー経済モデルである。

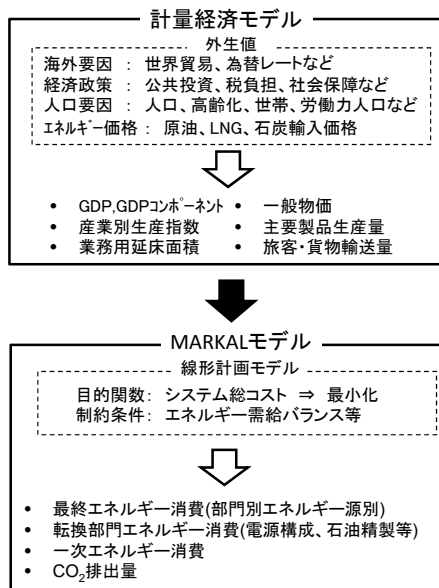


図 1 統合型エネルギー経済モデル

計量経済型モデルのベースは、日本エネルギー経済研究所が開発した長期エネルギー需給モデルであり、経済産業省資源エネルギー庁から発表されている日本の長期エネルギー需給展望の作成にも公的に活用されている。コスト最小化型技術評価モデルのベースは、日本原子力研究所により開発された日本版 MARKAL モデルである。本稿では、両タイプのモデルを統合的に利用することで、2050 年までの日本のエネルギー需給シナリオを計算する。

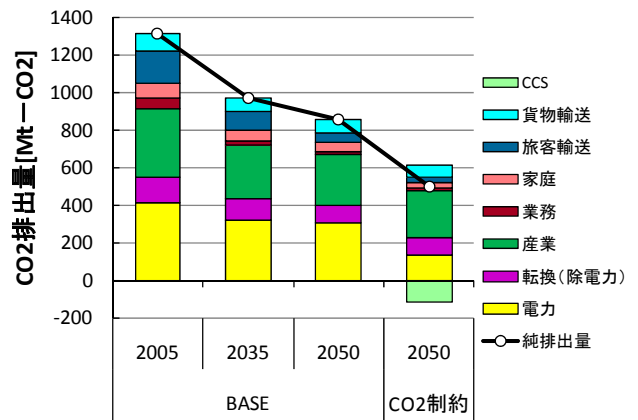


図 1 CO₂ 排出量の比較

BASE ケース (CO₂ 排出制約無し) では、電力、産業、旅客輸送部門において CO₂ 排出量が特に減少する。電力部門における CO₂ 削減は、火力発電の高効率化や、再生可能エネルギーの導入拡大に由来し、旅客輸送部門における CO₂ 削減は、クリーンエネルギー自動車の拡大に起因する。CO₂ 制約ケース (2050 年の CO₂ 排出を 2005 年比 6 割削減) では、BASE ケースでの傾向に加えて、電力部門においてさらなる CO₂ 削減、および CO₂ 回収、貯留が進展する。

4. まとめ

本稿では統合型エネルギー経済モデルにより 2050 年までの日本のエネルギー需給シナリオを作成した。今後は、本稿で構築したモデルを用いて、中国、インドなど、今後エネルギー需要の拡大が見込まれるアジア途上国を中心にエネルギー需給シナリオを作成する予定である。

* 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻
 ** 筑波大学大学院リスク工学専攻
 *** 財団法人 日本エネルギー経済研究所

統合型エネルギー経済モデルによる 2050 年までの 日本の CO₂ 排出削減技術の分析

Analysis of carbon mitigation technology to 2050 in Japan through integrated energy economic model.

小宮山涼一 * ・ 鈴木研悟 ** ・ 永富悠*** ・ 松尾雄司*** ・ 末広茂***

Ryoichi Komiyama Kengo Suzuki Yu Nagatomi Yuji Matsuo Shigeru Suehiro

This paper describes the outline of integrated energy economic model and calculated result concerning the outlook of energy and carbon dioxide emissions in Japan to 2050. The energy model developed in this paper is integrated one which consistently combines econometric model endogenously generating socio-economic outlook and bottom-up type technology model, MARKAL, identifying cost-minimizing optimal mix of various energy technologies. In reference scenario which imposes no carbon emissions constraint, CO₂ emission in 2050 will decrease by approximately 40% from the level of emissions in 2005. In carbon-constraints scenario, imposing emissions cap of 60% reduction by 2050 from the emissions in 2005, natural gas-fired power plant equipped with CCS and renewable energy are expected to expand its portion in power generation mix. In transportation sector on this scenario, clean energy vehicles such as electric vehicle (EV) and hydrogen fuel cell vehicle (FCV) will be deployed and contribute to mitigate CO₂ emissions.

Keywords : Integrated energy economic model, Energy outlook, CO₂ emissions mitigation

1. はじめに

現在、温室効果ガスの削減に関して、2050 年の超長期目標に向けた関心が世界的に高まりつつある。2007 年の G8 サミット等の国際的な政治的対話の場をはじめとして、長期的な地球の平均気温上昇を持続可能な範囲内に抑制するために、2050 年までに世界の温室効果ガス排出量を現状比で半減することが、国際的な目標として掲げられるようになった。この中で現在、世界の CO₂ 排出量の 4% を占める日本も、2050 年までに CO₂ 排出量を現状比で 60% から 80% 削減することを目標として¹⁾、様々な低炭素技術を普及拡大することが重要であるとの認識が広まりつつある。しかしこれまで、日本の 2050 年までの経済、エネルギーを総合的に考慮したエネルギー需給の分析例は少なく、このような日本の超長期見通しの作成が、効果的なエネルギー政策を立案する上で、今後その役割が大きくなると考えられる。そこで本稿では、日本の 2050 年までのエネルギー需給分析の枠組みを構築し、CO₂ 排出制約下における技術の普及とエネルギー需給に与える影響を評価する。

2. モデルの構造

2.1 モデル構築の方法

本稿で作成したモデルはトップダウン型の計量経済型

* 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻

** 筑波大学大学院リスク工学専攻

*** 財団法人 日本エネルギー経済研究所

モデルと、ボトムアップ型のコスト最小化型技術評価モデルを組合せた統合型エネルギー経済モデルである。

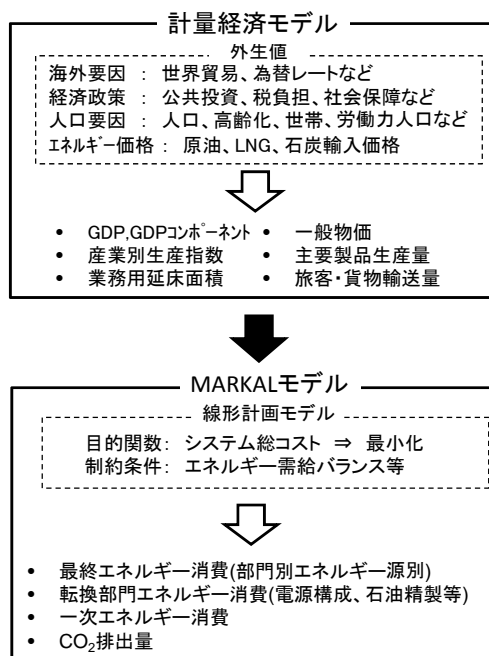


図 1 統合型エネルギー経済モデル

計量経済型モデルのベースは、日本エネルギー経済研究所が開発した長期エネルギー需給モデル²⁾であり、経済産業省資源エネルギー庁から発表されている日本の長期エ

エネルギー需給展望の作成にも公的に活用されている³⁾。
 コスト最小化型技術評価モデルのベースは、日本原子力研究所(現在、独立行政法人日本原子力研究開発機構)により開発された日本版 MARKAL モデルである⁴⁾⁵⁾。本稿では、両タイプのモデルを統合的に利用することで、2050年までの日本のエネルギー需給シナリオを計算する。

計量経済モデルでは、世界貿易等の海外要因、公共投資等の経済政策、世帯数等の人口要因、原油価格等のエネルギー価格を前提条件として、産業別生産指数、主要製品生産量、業務用延床面積、旅客・貨物輸送量等のエネルギー需給に大きな影響を及ぼす経済指標を計量経済手法を用いて計算する。次にこれらを前提条件として MARKAL モデルにより最適化計算を行い、2050年までの最終エネルギー消費、転換部門のエネルギー消費、一次エネルギー消費、CO₂排出量を整合的に計算する。

2.2 計量経済モデルによる活動指標の推計

本稿のモデルでは実質国内生産を内生的に決定することも可能であるが、GDP は外生的に設定する。2000年～2050年までの年平均成長率を約0.5%として想定する。人口は2000年の1.27億人から2050年には1.00億人へ、世帯数は2000年の約4700万世帯から2050年には約4200万世帯へ減少すると想定する。この諸想定の下、計量経済モデルにより計算した活動指標の一部を以下に示す。

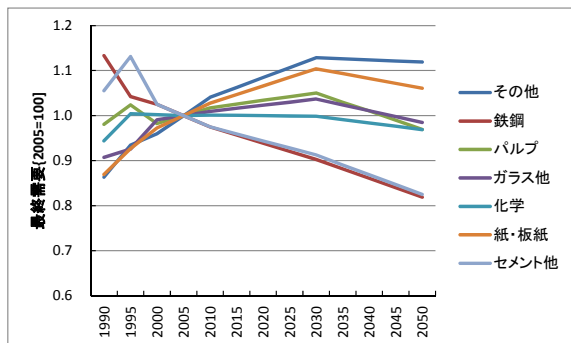


図2 活動指標(産業部門)

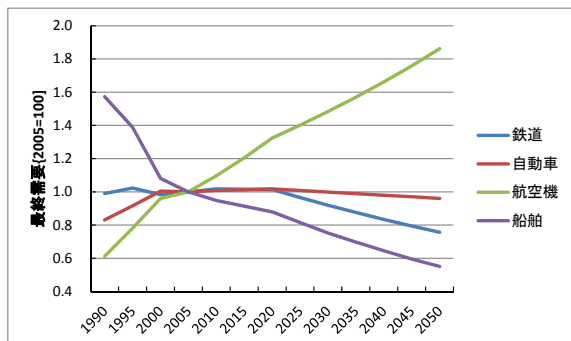


図3 活動指標(旅客部門)

2.3 日本版 MARKAL モデルの構造

MARKAL は一国のエネルギーシステムを対象とし、線形計画法により長期にわたるエネルギー需給とエネルギー

技術の最適な導入規模を線形計画法により決定するモデルである。エネルギーサービス需要を所与として、エネルギーを生産、輸出入、転換、輸送、消費する技術の導入規模、ならびに、システム内のエネルギー需給バランスが、コスト、資源制約、CO₂排出量制約等をつうじて、最適決定される。

図4が簡略化した MARKAL モデルのエネルギーフローである。エネルギー資源は、石炭、石油、天然ガスや、水力、地熱、太陽エネルギー等の再生可能資源、原子力を考慮している。エネルギー転換技術としては、各種の発電、熱供給技術、プロセス技術と、産業、民生、運輸といった最終消費部門では、最終消費技術を考慮している。

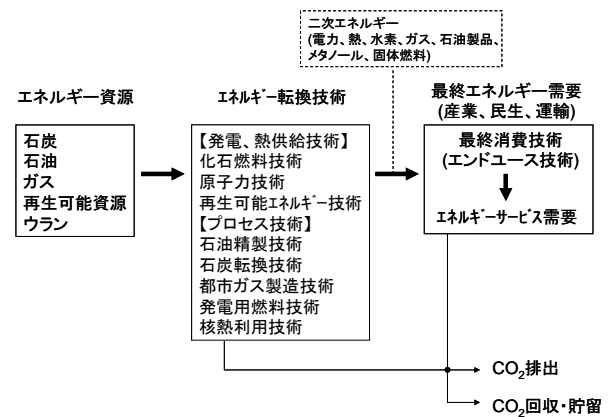


図4 MARKAL モデルのエネルギーフロー

エネルギー転換、最終消費において発生するCO₂の回収、貯留も考慮している。二次エネルギーは、電力、熱、水素、ガス、石油製品、メタノール、固体燃料等を想定している。また、重要な前提条件として、本稿における原子力発電設備の導入見通しは、電力供給計画の概要⁶⁾に基づき設備容量が拡大すると想定している。

2.4 シナリオ設定

2050年までの日本のエネルギー需給シナリオを作成するに当たり2つの計算ケースを想定する。

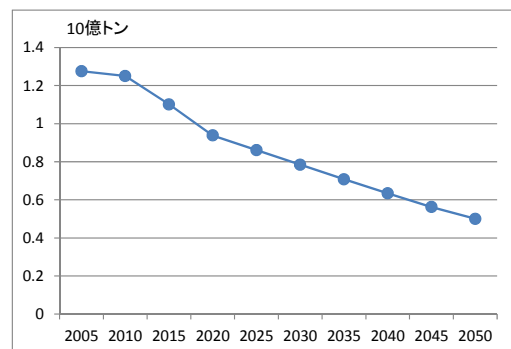


図5 CO₂ 排出上限制約(「CO₂ 制約ケース」)

CO₂ 排出量に制約を設けない「BASE ケース」と2050年

までのCO2排出量に制約を設ける「CO2制約ケース」の2つのケースに基づき計算を行い、結果の比較分析を実施する。CO2制約シナリオでは、2030年の日本のCO2排出量を2005年比40%削減、2040年の排出量を同50%削減、2050年の排出量を同60%削減するように、CO2排出量に上限制約を設定する(図5)。

3. 計算結果

3.1 一次エネルギー消費

BASEケースにおける一次エネルギー消費量は2050年にかけて徐々に減少し、2050年の一次エネルギー消費量は、2005年比で石油換算1.1億トン(22%)減少し、同4.1億トンとなる。エネルギー源別に見ると、原油価格、LNG価格の上昇を反映して、石油と天然ガスの比率が減少する一方、石炭と原子力の比率が上昇する。現在、最も重要な燃料源である石油の比率は2005年の48%から2050年には27%へ減少する。CO2制約ケースでは、2050年の一次エネルギー消費はBASEケースに比較して約3%省エネされる。CO2制約ケースにおけるエネルギー源別の構成をみると、BASEケースに比較して、石炭や石油の比率が減少する一方、天然ガス、再生可能エネルギーの比率が拡大する。石炭の比率は2005年の18%から、2050年にはBASEケースで26%、CO2制約ケースで6%となり、CO2排出制約下では石炭の比率が大きく減少する。非化石エネルギーの比率は2005年の19%から2050年にはBASEケースで38%、CO2制約ケースで43%となる。

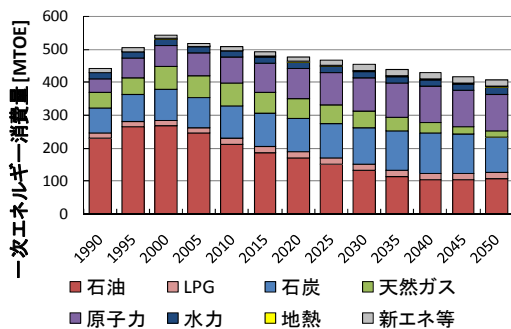


図6 一次エネルギー消費量 (BASE ケース)

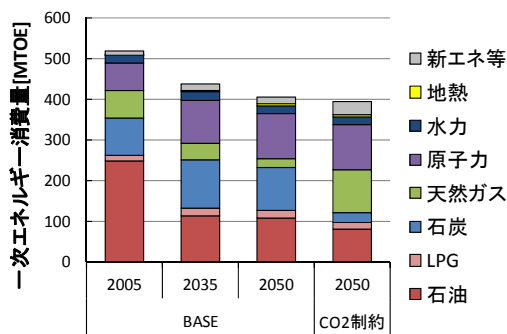


図7 一次エネルギー消費量の比較

3.2 最終エネルギー消費

BASEケースにおける最終エネルギー消費量は2050年にかけて減少し、2050年の同消費量は、2005年比で78億トン(22%)減少し、2.8億トンとなる。部門別にみると、旅客部門や家庭部門において減少する。CO2制約ケースでは、2050年の最終消費をみると、BASEケースに比較して約3%省エネが進み、その大半が運輸部門に起因する。後述するように、運輸部門ではCO2制約ケースにおいて、自動車の普及の中心が、内燃機関自動車からハイブリッド自動車、電気自動車、および水素燃料電池自動車へシフトする。

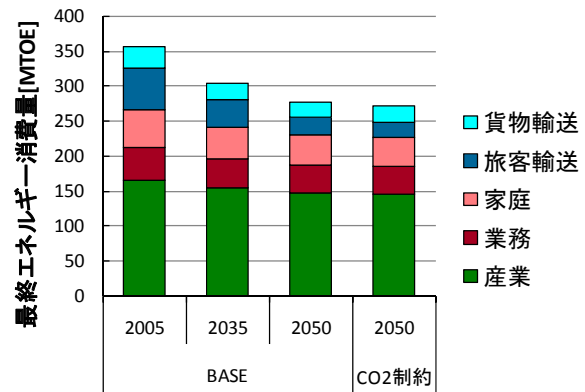


図8 部門別最終エネルギー消費量の比較

BASEケースにおける最終エネルギー消費をエネルギー源別にみると、電力消費量が着実に増加し、その構成比率が2005年の25%から2050年には36%へ拡大する。一方、石油消費量が減少し、構成比率は2005年の51%から2050年には38%へ減少する。CO2制約ケースにおける2050年のエネルギー源別構成をみると、BASEケースに比較して、石油消費量が、比率ともに大きく減少し、都市ガス、水素の比率が拡大する。

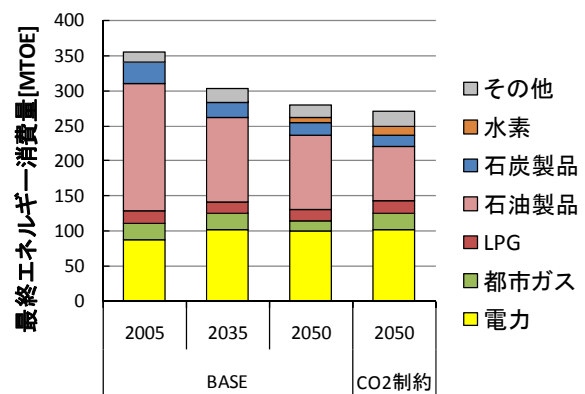


図9 燃料別最終エネルギー消費量の比較

運輸部門を見ると、BASEケース、CO2制約ケースともに、ガソリンを中心にエネルギー消費量が2050年にかけて減少する。BASEケース、CO2制約ケースともに電気自動車が2040年付近にかけて普及し、その後、水素自動車の導入が徐々に拡大する。CO2制約ケースでは、水素の普及量が

より一層増加する。

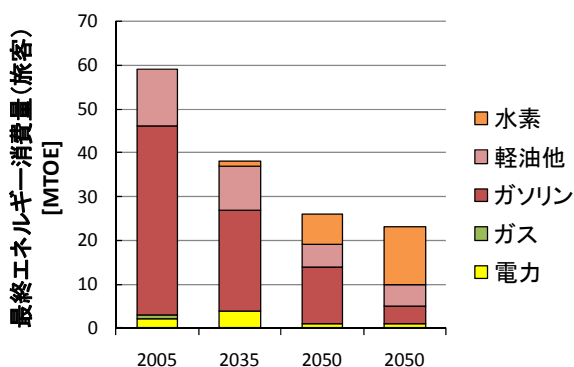


図10 旅客輸送部門のエネルギー消費量の比較

3.3 発電部門

発電量は、BASE ケースでは、2040年まで増加するがそれ以降、減少に転じる。CO2 制約ケースでは、2040年以降も横ばいで推移する。発電量の内訳をみると、BASE ケースでは、天然ガス火力の比率が減少する一方、原子力、IGCC (CCS 無)、再生可能エネルギーの比率が拡大する。CO2 制約ケースでは、原子力、天然ガス複合発電 (CCS 有)、再生可能エネルギーの比率が拡大する。2050年の非化石電源の比率は、2005年の44%から2050年にはBASE ケースで66%、CO2 制約ケースでは73%に達する。

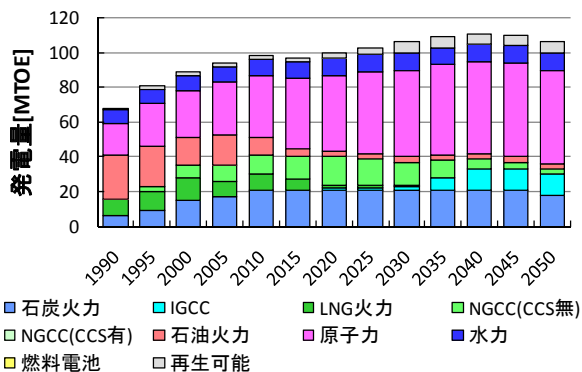


図11 発電量 (BASE ケース)

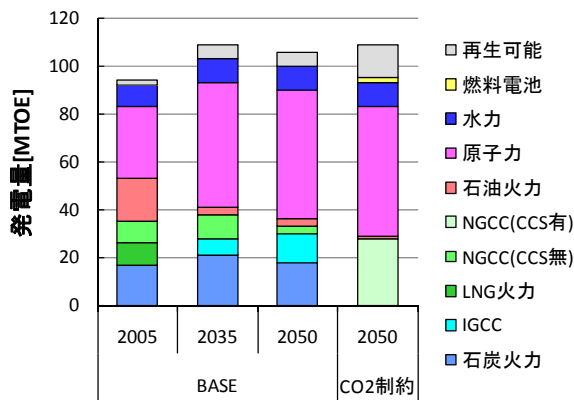


図12 発電量の比較

3.4 CO2 排出量

BASE ケースでは、電力、産業、旅客輸送部門においてCO2 排出量が特に減少する。電力部門におけるCO2 削減は、火力発電の高効率化や、再生可能エネルギーの導入拡大に由来し、旅客輸送部門におけるCO2 削減は、クリーンエネルギー自動車の拡大に起因する。CO2 制約ケースでは、BASE ケースでの傾向に加えて、電力部門においてさらなるCO2 削減、およびCO2 回収、貯留が進展する。

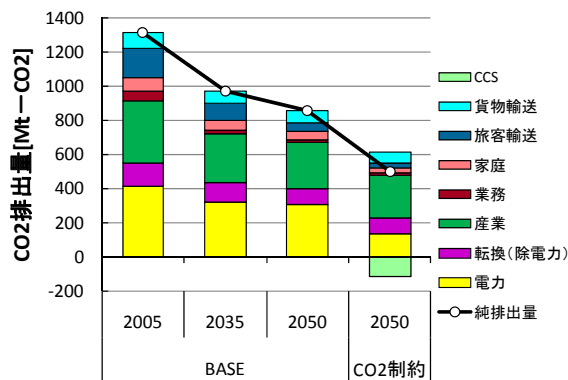


図13 CO2 排出量の比較

4. まとめ

本稿では統合型エネルギー経済モデルにより2050年までの日本のエネルギー需給シナリオを作成した。2050年のCO2 排出量を2005年比で60%削減するCO2 制約ケースでは、電力部門、旅客輸送部門等を中心にクリーンエネルギー技術の導入拡大が進む結果となった。今後は、本稿で構築したエネルギー経済モデルを用いて、中国、インドなど、今後エネルギー需要の拡大が見込まれるアジア途上国を中心にエネルギー需給シナリオを作成する予定である。

参考文献

- 1) 福田内閣総理大臣スピーチ「低炭素社会・日本」をめざして、平成20年6月9日。
(<http://www.kantei.go.jp/jp/hukudaspeech/2008/06/09/speech.html>)
- 2) 柳澤明他；わが国の長期エネルギー需給展望—環境制約と変化するエネルギー市場の下での2030年までの見通し、(2006), エネルギー経済, 32(4), pp13-45.
- 3) 経済産業省, 長期エネルギー需給見通し(再計算)について、平成21年8月26日。
(<http://www.meti.go.jp/report/data/g90902aj.html>)
- 4) 後藤純孝, 佐藤治, 田所啓弘；我が国の長期エネルギーシステムのモデル化, (1999), J A E R I - R e s e a r c h 99-046.
- 5) 佐藤治, 下田誠, 立松研二, 田所啓弘；我が国における二酸化炭素削減戦略と原子力の役割, (1999), J A E R I - R e s e a r c h 99-015.
- 6) 経済産業省；平成22年度電力供給計画の概要, (2010).

お問合せ : report@tky. ieej. or. jp