

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術普及編

エネルギー需要見通しから見る
低炭素社会に向けた課題と展望

平成28年3月

Aspects of Decarbonized Society from a Forecast of Energy Demand in Japan

Strategy for Technology Dissemination

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2015-PP-16

概要

低炭素技術の開発・普及による「明るく豊かな低炭素社会」を構築するには、低炭素技術の導入によってエネルギー社会がどのように変化するかを示すことが重要である。そこで、低炭素技術の普及による経済的・社会的な影響を評価することを目的として、日本のエネルギー需要予測モデルを開発した。このモデルを用いて、長期エネルギー需給見通し（文献 [4]）における経済・社会構造や電源構成に関する前提条件を用いて、2030 年までに経済は堅調に回復するというシナリオ（リファレンスケース）の下で、2030 年までの日本のエネルギー需要を予測した。この結果、日本のエネルギー需要は 2013 年比で約 5% 減少し、エネルギー起源二酸化炭素は同年比約 16% 削減すると予測された。部門別に需要見通しを見ると、産業部門と運輸部門においてエネルギー需要は減少する一方で、民生部門のエネルギー需要が増加するという結果となった。民生部門における潜在的な省エネルギー量が相対的に高いということが分かった。サービス市場の拡大が期待される中で、民生部門における省エネルギー化を進めることは、化石エネルギーの消費抑制と経済的な豊かさを両立した社会を実現させる重要な布石となる。従って、民生部門において、低炭素技術を円滑に普及させるための市場整備やそれを支援する政策の拡充が必要である。

Summary

It is significant to comprehend how much of potential of energy saving in an economic society promoted by energy consumption when we share the future vision for the affluent low carbon society is decoupled from carbon-intensive energy consumption by renewable energy and related technology. We developed the multi-equation model for the long term estimate of energy demand under the energy economic and demographic assumptions in order to capture the impact of the low carbon technology on the society. In order to forecast a future energy demand considering the structural change of energy supply after the accident in the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, the scenario is constructed in which economy in Japan recovers strongly with a growth rate of real GDP is 1.7% a year, which is regarded as the reference case in our analysis. In the reference case, it is projected that total final energy demand decreases by around 5% and CO₂ emission also decreases by about 16% between 2013 and 2030. The energy demand in manufacturing and transport-services decreases, and the demand in services and residential sectors increases. From this result, services and residential sector is found to have relatively larger energy saving potential than manufacturing and transport-services. When market is expected to be enhanced, enhancing energy intensity in services sector underlies the affiliate low carbon society. Therefore it is important to prepare the related market and implement a policy measure to support the market.

目次

概要

1. はじめに	1
2. エネルギー・モデルの構造	1
2.1 エネルギー需要の考え方	1
2.2 エネルギー・モデルの構造	3
2.3 外生変数	5
2.4 データ	5
3. エネルギー需要の構造	6
3.1 産業部門	6
3.2 業務部門	7
3.3 家庭部門	8
3.4 運輸部門	9
4. 需要予測	10
4.1 前提条件とリファレンスケース	10
4.2 予測結果	11
4.3 原単位改善の効果	13
5. まとめと政策提案	14
参考文献	15

1. はじめに

化石エネルギーの消費抑制と経済的な豊かさを両立した「明るく豊かな低炭素社会」を実現する重要な要素の1つが低炭素技術である。これまで、低炭素社会戦略センター（LCS）は新エネルギーや関連する低炭素技術の普及の展望を示してきた。これらの展望を実現させていくには、低炭素技術が普及した社会の姿を評価することも重要である。その理由は、「明るく豊かな低炭素社会」を実現させるために社会的コストが発生するならば、そのコストを超える効果（あるいは便益）を低炭素技術が普及した社会の姿から見出し、社会的コストの負担を広く納得させる必要があるからである。

そこで、低炭素技術の普及による経済的・社会的な影響を評価することを目的に、日本のエネルギー需要予測モデル（以下、エネルギー・モデル）を構築した。これまでに多くのエネルギー需要モデルの開発と予測分析が、政府や研究機関によって行われている。これまでの予測モデルと同様、いくつかの外生的要因によってエネルギー需要の変化を予測するものであるが、LCSがこれまでに示してきた低炭素社会の実現に向けた技術の定量的シナリオの評価を目的としたモデル開発をしている点において異なる。

本稿では、開発したエネルギー需要モデルの概要、およびこのモデルによる2030年までのエネルギー需要予測の結果を説明する。今回の予測分析のシナリオは、2030年までに経済は堅調に回復するというものであり、具体的には、前提条件として実質GDPが年率1.7%で成長するとした（以下では、このシナリオを本分析におけるリファレンスケースとする）。予測結果によれば、2030年における日本の最終エネルギー消費は2013年比で5%減少し、エネルギー起源二酸化炭素（以下ではCO₂）は同年比約16%削減すると見込まれる。部門別には、産業部門と運輸部門においてエネルギー需要は減少する一方で、民生部門（家庭部門と業務部門）のエネルギー需要が増加するという結果となった。

民生部門におけるエネルギー消費の増加の要因は、エネルギー原単位の悪化によるものである。長期エネルギー需給見直し（文献[4]）のリファレンスケースにおける要因を見たところ、同様に民生部門のエネルギー原単位が悪化しているが、悪化の程度は本分析結果の方が大きいという結果となった。

サービス市場の拡大が期待される中で、民生部門における省エネルギー化を進めることは、化石エネルギーの消費抑制と経済的な豊かさを両立した社会を実現させる重要な布石となる。従って、民生部門において、低炭素技術を円滑に普及させるための市場整備や、それを支援する政策の拡充が必要である。今後は、有効な政策の検討に向けてエネルギー・モデルを拡張し、これまでに検討された低炭素社会の実現に向けた技術の定量的シナリオを民生部門の経済的・社会的な影響とそれを実現するための政策の在り方について詳細に検討を行っていく。以下では、本モデルの概要と予測結果に基づき民生部門の対策の重要性を確認する。

2. エネルギー・モデルの構造

2.1 エネルギー需要の考え方

エネルギー・モデルは、産業部門（12部門）、業務部門、家庭部門、運輸部門（旅客部門、貨物部門）の各々の部門について、石炭、石油、天然ガス、電力、熱・再生可能エネルギーのエネルギー源ごとにエネルギー需要の構造を表す方程式を求め、それらを連立方程式体系として構成されたものである。この連立方程式体系を解くことによって、将来のエネルギー需要の予測値が計算される。

エネルギー・モデルを解く際には、外生変数を与える。外生変数とモデルで計算される内生変数の関係は、原因と結果の関係と見なすことができる。社会的・経済的構造の変化が起因となり、結果としてエネルギー需要が変化すると考える。

エネルギー・モデルにおける部門別・エネルギー源別の需要構造は、基本的にエネルギー原単位とエネルギー需要を生む活動量によって求められる。エネルギー原単位は、各部門を代表する活動量に関する単位当たりのエネルギー消費量であり、活動量は各部門のエネルギー需要の大きさに影響を与える変数を用いて表される。 t 年の部門 i におけるエネルギー j の原単位を Int_t^{ij} とすると、エネルギー原単位の構造方程式は、実質エネルギー価格 (p_t^e)、タイムトレンド変数 ($time$)、およびこれら要因以外で考慮すべき変数をコントロール変数 (M_t^{ij} 、但しデータ数を行数、コントロール変数の数を列数にもつ行列である) として用いて、以下のように記述される。

$$\text{Int}_t^{ij} = \alpha^{ij} + \beta_1^{ij} p_t^e + \beta_2^{ij} time + \gamma^{ij'} \cdot M_t^{ij} + \epsilon_t^{ij} \quad (1)$$

ここで、 α^{ij} 、 β_1^{ij} 、 β_2^{ij} 、および $\gamma^{ij'}$ (コントロール変数の数を次数にもつ列ベクトルを転置したものは統計的に求められるパラメータであり、 ϵ_t^{ij} は誤差項である。タイムトレンド変数 $time$ は、省エネルギー技術の進歩を代理させたものであり、同技術が時間とともに向上していると考えれば β_2^{ij} はマイナスの値で推計されることが期待される。また、エネルギー j の価格の上昇は、エネルギー j を節約させるインセンティブとなるであろう。従って、 β_1^{ij} もマイナスの値で推計されることが期待される。

一方、エネルギー・モデルにおける活動量を表す変数として、各部門のエネルギー需要の大きさに影響を与える変数を採用している。具体的には、産業部門、家庭部門、業務部門、および運輸部門の各部門の活動量は、それぞれ、産業部門の鉱工業生産指数 (2005 年を 100 とした値)¹⁾、世帯数 (1,000 世帯)、商業施設の床面積 (10^6m^2)、そして、人キロ (旅客)・トンキロ (貨物) (単位は、それぞれ、 10^6 人・km、 10^6 トン・km) である。部門ごとに設けた活動量は、一国の経済活動に基づかれているはずであり、これらに応じて決定されると考えられる。そこで、エネルギー・モデルにおける部門 i の活動量 (EA_t^i) は、GDP (GDP_t)、人口 (pop_t)、およびコントロール変数 (N_t^i) によって以下のように記述される。

$$\text{EA}_t^i = a^i + b_1^i \text{GDP}_t + b_2^i pop_t + \theta^i \cdot N_t^i + \epsilon_t^i \quad (2)$$

エネルギー原単位と同様に、 ϵ_t^i は誤差項でありパラメータ (a^i 、 b_1^i 、 b_2^i 、 θ^i) は統計的に求められる。GDP や人口といった一国の経済の需要を決める変数が増加すれば、各部門の活動量も増加すると考えられる。従って、推計によって得られるパラメータ b_1^i 、 b_2^i はいずれもプラスの値で推計されることが期待される。

推計によって得られたエネルギー原単位と活動量に関する構造方程式 (1)、(2) から、エネルギー源別にエネルギー消費量を集計することによって、部門別エネルギー消費量 (E_t^i) が求まる。

$$E_t^i = \sum_{j \in \text{ENE}} \text{Int}_t^{ij} \cdot \text{EA}_t^j \quad (3)$$

¹⁾ 農林水産業は付加価値額を活動量に利用している。

表 1 はエネルギー・モデルで扱う部門とそれに対応する活動量、そしてエネルギー・モデルで計算されるエネルギー源をまとめたものである。家庭部門と業務部門は、エネルギーが利用される用途別にエネルギー原単位 (Int_i^j) を推計する。この様に、エネルギー原単位を用途別に考える理由は、エネルギー消費に係る意思決定を行う主体の関心が、もっぱらエネルギーを通して得られるサービスに向けられているからである。例えば、空調を例として考えてみると、快適な室内温度を得ようとする個人は、それを獲得する利便性や効率性を考えて空調機器の選択を行うものと考えられる。そこには電力や石油といったエネルギー源を直接選択することは考えにくい。エネルギー源別・用途別に考えることによって、エネルギーを通して得られるサービスの選択行動を考慮したエネルギー消費量 (E_i^j) を計算する。

表 1 部門・エネルギーの概要

Sector	Activity	Energy	
Industry		Coal	
Agriculture and forestry and fishing	Added value IIP *	incl. coal products	
Mining		Oil	
Construction		incl. petroleum products	
Food, beverages and tobacco		Gas	
Textile		incl. utility gas	
Pulp and paper		Renewable energy	
Chemical		Electricity	
Other non-metallic mineral		Heat	
Basic metals			
Non-ferrous metal			
Machinery and equipment			
Others			
Household		Number of household	
- Heating, Cooling, Hot-water, Cooking food, and Motivity for appliances			
Service	Floor area		
- Heating, Cooling, Hot-water, Cooking food, and Motivity for appliances			
Transport			
Passenger	Passenger-kilometer		
Freight	Freight ton-kilometer		

(注) *IIP は鉱工業生産指数 (Indices of Industrial Production) である。

2.2 エネルギー・モデルの構造

エネルギー・モデルの概略を図 1 に示した。エネルギー・モデルは、主に 3 つの計算パートで構成されている。すなわち、(1) 国内のエネルギー価格、(2) エネルギー需要構造、そして (3) 化石燃料の燃焼による CO₂ 排出量が計算されるパートである。エネルギー価格は、国際エネルギー価格や為替レートの間数として定式化される。エネルギー原単位は、競合するエネルギーとの相対価格やエネルギーの利用方法の変化に影響されると考えられる。エネルギー価格が高くなれば、単位当たりのエネルギー消費を抑え、支出の増加を回避するものと考えられる。エネルギー原単位に関する構造方程式は、このような関係を統計的に求め記述している。

産業部門、業務部門、および運輸部門の活動量は、経済的な取引規模や需要の大きさなどに依存して決定される。一方、家庭部門の活動量である世帯数は予測期間の見通しを基に外生的に与えられる。

CO₂ 排出量を求めるには、2 次エネルギーの生産段階で排出される CO₂ を計算する直接排出と 2 次エネルギーの消費段階で計算する間接排出の 2 つの計算方法がある。エネルギー・モデルでは、コークス・炉ガス各種、電力といった転換エネルギーの消費量を計算していることから、間接排出による排出量を求めることは比較的容易である。しかし、発電部門における発電効率変化による CO₂ 排出量の検討を行うことも重要である。そこで、転換エネルギーの生産に必要な（転換ロスを含む）投入エネルギーを求める構造方程式をエネルギー・モデルに加え、直接排出による CO₂ 排出量を求めた。

本来であれば、転換エネルギーの生産（転換）技術を考慮した供給関数と転換エネルギーの需要関数の均衡を求めるべきであるが、エネルギー・モデルにおける転換部門は、エネルギー需要構造のパートで求めた転換エネルギーに対する需要に見合う供給を行うと仮定している。転換エネルギーを生産するためのエネルギーの投入比率は、基本的には外生変数として与えられる。

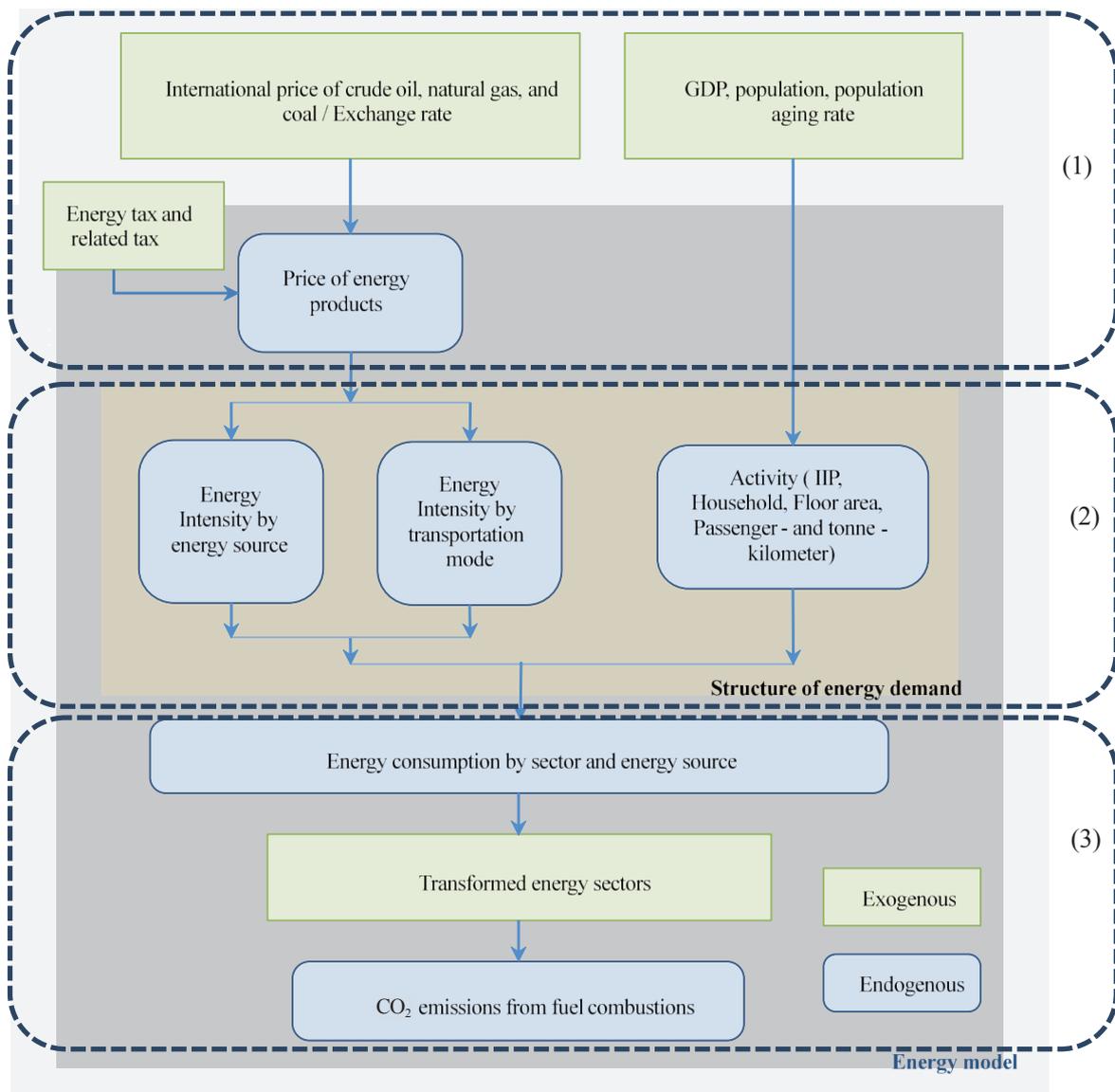


図 1 エネルギー・モデルの構成

2.3 外生変数

エネルギー・モデルは、内生的に求められる部門別・エネルギー源別のエネルギー需要に加えて、モデルからは計算されない外生変数を含んでいる（図 1 参照）。外生変数はエネルギー需要に直接的・間接的に影響を与えると考えられるが、エネルギー需要がそれらに与える影響は、限定的なものが選ばれる。このエネルギー・モデルにおいて外生変数として扱われるものは、国際エネルギー価格、人口成長率、GDP、エネルギー税率などである。

これら外生変数は、外挿期間に対応した外生変数の推計値が必要になる。エネルギー・モデルの中で外生変数として利用される国際エネルギー価格の将来の見通し、人口成長率、および GDP 成長率に関する外挿期間中の値は、それぞれ文献 [1]、文献 [2]、文献 [3] の予測値を用いた。ただし、文献 [3] は 2023 年までの予測しか行っていない。そのため、2024 年以降の GDP 成長率は、文献 [4] に従って 2013 年度から 2022 年度の実質 GDP 成長率である年率 1.7% を 2024 年度以降の成長率として用いた。また、エネルギー税率は、現行の石油石炭税がそのまま維持されると想定し、2013 年の税率を外挿においても用いている。

2.4 データ

構造方程式を推計するために用いたデータは表 2 の通りである。エネルギーデータは、日本エネルギー経済研究所が作成するエネルギーバランス表を利用した（文献 [5]）。この表を利用する理由は、家庭部門において世帯当たり用途別・エネルギー源別のエネルギー原単位、業務部門において床面積当たり用途別・エネルギー源別のエネルギー原単位、運輸部門では旅客、貨物ともに輸送機関別のエネルギー原単位（それぞれ、人キロ当たりエネルギー消費量、トンキロ当たりエネルギー消費量）が推計されており、詳細なエネルギー需要の推計が可能となるからである。産業部門においては農林水産を除く部門について、エネルギーバランス表の部門別・エネルギー源別消費量を鉱工業生産指数で除した値を部門別のエネルギー原単位として求めた（ただし、農林水産業の活動量は付加価値額を用いている）。

表 2 利用したデータ

エネルギー・モデル	項目	データの出所
産業部門	1. エネルギーデータ 2. 鉱工業生産指数	1. エネルギーバランス表（日本エネルギー経済研究所） 2. 鉱工業指数年報（農林水産業は付加価値を活動量としているため国経済計算年報）
家庭部門	1. 世帯当たり用途別エネルギー源別エネルギー消費量 2. エネルギー消費量 3. 世帯数（活動量）	1. エネルギーバランス表（日本エネルギー経済研究所） 2. 同上 3. 人口推計（総務省）
業務部門	1. 世帯当たり用途別エネルギー源別エネルギー消費量 2. エネルギー消費量 3. 床面積（活動量）	1. エネルギーバランス表（日本エネルギー経済研究所） 2. 同上 3. エネルギー・経済統計要覧（日本エネルギー経済研究所）
運輸部門	1. 旅客・貨物部門のエネルギー消費量 2. 人キロ・トンキロ（活動量）	1. エネルギーバランス表（日本エネルギー経済研究所） 2. 自動車輸送統計年報、鉄道輸送統計年報、航空輸送統計年報、内航船舶輸送統計年報（以上、国土交通省）
価格（指数）	1. エネルギー輸入 CIF 価格 2. 電灯・電力総合単価 3. 企業物価指数 4. 消費者物価指数 5. 為替レート	1. 日本貿易月表（日本銀行統計局） 2. 電気事業便覧（電気事業連合会） 3. 物価指数年報（日本銀行統計局） 4. 消費者物価年報（総務省統計局） 5. 金融経済統計月報（日本銀行統計局）

国内のエネルギー価格は、エネルギー原単位に影響を与える重要な変数の1つである。従って、エネルギー原単位の推計に際しては、産業部門、業務部門、運輸部門の貨物は卸売価格を用いることとし、家庭部門、運輸部門の旅客は小売価格や消費者物価指数を用いた。これら国内エネルギー価格は、外生変数である国際エネルギー価格の関数としてモデル化している。

3. エネルギー需要の構造

3.1 産業部門

表3は産業部門におけるエネルギー原単位の構造方程式の推計結果の一部をまとめたものである。エネルギー原単位に含まれる変数のパラメータの推計結果がマイナスとなった場合、その変数が増加するとエネルギー原単位が減少することを意味する。エネルギーの原単位は、活動量の単位当たりのエネルギー消費量のことであり、これが減少するということは効率的なエネルギー消費が進んでいる(原単位の改善)ということである。これはどの部門にも当てはまることである。

さて、改めて、実質エネルギー価格に関するパラメータの推計結果を見ると、推計結果の符号がマイナスであることから、エネルギー価格の上昇によってエネルギー原単位が減少する関係が確認できる。また、設備投資の増加は産業部門のエネルギー原単位の改善に寄与すると考えられる。そこで、説明変数に設備投資を加えて推計を行った。実質エネルギー価格や設備投資のパラメータの推計結果の一部は統計的に有意ではないが、符号条件に関する理論的整合性を満たしている場合には、得られた推計結果を採用してエネルギー・モデルの構造方程式として採用した。

表3 エネルギー原単位(産業部門)

	Electricity			Coal, coke		Petroproducts
	Cement and non-metallic mineral	Machinery and equipment	Food	Basic metals	Cement and non-metallic mineral	Pulp and paper
	ln(INCEEL)	ln(INMMEL)	ln(INFOEG)	ln(INIRCK)	ln(INCESC)	ln(INPAFA+INPAFB)
<i>Constant</i>	12.076 *** (26.95)	6.097 ** (3.42)	6.154 ** (2.8)	17.168 *** (9.91)	8.823 *** (13.78)	7.299 *** (69.46)
<i>ln(Real energy price), del(ln(Real energy price)) §</i>	-0.273 * (-2.07)	-0.074 - (-1.17)	-0.379 - (-1.73)	-0.128 ** (-2.30)	-0.0216 § - (-0.35)	-0.515 *** (-8.84)
<i>ln(Investment), del(ln(Investment)) †</i>	-0.04 † - (-0.75)	-0.189 † *** (-3.9)	-0.035 - (-0.69)	-0.021 - (-0.54)	-0.020 - (-0.24)	-0.133 † - (-0.89)
<i>ln(Production)</i>	-0.350 *** (-5.88)			-0.649 *** (-4.31)		
Lag	Yes	Yes	Yes	No	No	No
Time	Yes	No	Yes	No	Yes	No
Dummy variable	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Period	1997-2013	2003-2013	1995-2013	1994-2013	1996-2013	1995-2013
R ²	0.75	0.655	0.959	0.748	0.365	0.973
DW	1.87	2.612	1.833	1.42	2.253	1.621
Method	OLS	OLS	OLS	OLS	OLS	OLS

(注) 括弧の中の数字はt値であり、***, **, * はそれぞれ有意水準1%、5%、10%水準で有意であることを意味する。OLSは最小2乗法である。表中の記号(§, †)はそれぞれ変数名とそれに対応する推計結果を示している。

3.2 業務部門

表 4 は業務部門におけるエネルギー原単位の構造方程式の推計結果の一部をまとめたものである（エネルギー原単位と推計されたパラメータの関係は 3.1 産業部門を参照されたい）。実質エネルギー価格に関するパラメータの推計結果の符号がマイナスであることから、実質エネルギー価格の上昇によってエネルギー原単位が減少する関係が確認できる。財・サービスの取引の増加が短期的なものか、あるいは長期的なものかによって業務部門のエネルギー消費行動に及ぼす影響が異なると考えられる。もし、取引需要の増加が短期的（一時的）なものだと期待されれば、省エネルギー投資は消極的なものとなり、エネルギー原単位の改善は見られないであろう。GDP を財・サービスの取引の代理変数として構造方程式に加えて推計した結果、符号がプラスで推計された（動力用電力、厨房用ガス、暖房用石油）。結果の一部は統計的に有意ではないが、符号条件に関する理論的整合性を満たしている場合には、得られた推計結果を採用してエネルギー・モデルの構造方程式として採用した。

表 4 エネルギー原単位（業務部門）

	Electricity		Utility gas and LPG			Petroproducts
	Cooling	Motivity for appliance	Cooling	HWS	Cook	Heating
<i>Constant</i>	0.317 - (0.26)	0.139 - (0.05)	-5.783 * (-2.04)	3.623 *** (25.91)	1.386 - (0.36)	1.337 *** (3.37)
<i>ln(real energy price)</i>	-0.269 *** (-5.05)	-0.070 - (-1.28)		-0.020 - (-1.01)	-0.220 ** (-2.95)	-0.312 *** (-4.1)
<i>ln(GDP), del(ln(GDP)) ‡</i>		0.372 * (1.83)			0.174 - (0.58)	1.255 ‡ (1.61) -
<i>del(ln(GDP/POPT))</i>			1.406 - (0.33)	0.658 - (1.35)		
<i>ln(CLDD), del(ln(HTDD)) †</i>	0.561 *** (4.47)		1.085 ** (2.23)			0.148 † - (1.18)
Lag	Yes	No	Yes	No	No	Yes
Time	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No
Dummy variable	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Period	1997-2013	1997-2013	1997-2013	1997-2013	1997-2013	1997-2013
R ²	0.75	0.851	0.886	0.966	0.922	0.978
DW	1.87	2.01	2.844	2.135	1.932	1.994
Method	OLS	OLS	OLS	OLS	C-O	OLS

(注) 括弧の中の数字は t 値であり、***, **, * は、それぞれ有意水準 1%、5%、10% 水準で有意であることを意味する。OLS は最小 2 乗法、C-O はコ克蘭・オーカット法を指す。表中の記号（†、‡）はそれぞれ変数名とそれに対応する推計結果を示している。

3.3 家庭部門

表 5 は家庭部門におけるエネルギー原単位の構造方程式の推計結果の一部をまとめたものである（エネルギー原単位と推計されたパラメータの関係は 3.1 産業部門を参照されたい）。実質エネルギー価格に関するパラメータの推計結果の符号がマイナスであることから、実質エネルギー価格の上昇によってエネルギー原単位が減少する関係が確認できる。

エネルギー消費機器の買い替えのタイミングとして、住宅の建築や増改築に併せて行われることが通常多いと考えられる。また、その際には、住宅の省エネルギー性能の強化も行われることが多いであろう。家庭部門におけるエネルギー原単位は住宅投資の増加とともに改善するという関係が観察されるはずである。推計結果から、住宅投資によって暖房用電力と給湯用 LPG 原単位が改善するという結果を得た。一方、エネルギー原単位を悪化させる要因として、高齢人口や世帯人員数の増加等が考えられる。結果の一部は統計的に有意ではないが、符号条件に関する理論的整合性を満たしている場合には、得られた推計結果を採用してエネルギー・モデルの構造方程式として採用した。

表 5 エネルギー原単位（家庭部門）

	Electricity			Utility gas	LPG	Kerosene
	Heating	Cooling	Motivity for appliance	HWS	HWS	Heating
<i>Constant</i>	-3.677 - (-0.95)	-1.404 - (-1.73)	8.002 *** (9.43)	8.609 *** (3.23)	15.249 *** (5.19)	6.563 *** (9.95)
<i>ln(real energy price), del(ln(real energy price)) §</i>	-0.157 - (-0.21)	-0.49 § - (-0.66)	-0.344 *** (-5.18)	-0.378 § - (-1.0)	-2.182 *** (-3.3)	-0.108 - (-1.08)
<i>ln(GDP/POPT)</i>			0.146 - (0.8)			
<i>ln(IH/KH), del(ln(IH)) #</i>	-0.513 ** (-2.29)				-0.159 # - (-0.71)	
<i>del(ln(POP65UP)), ln(POP65UP/POPT) ¶</i>		0.664 ‡ - (0.19)		0.214 ¶ - (0.21)	0.9 ¶ - (1.75)	
<i>ln(SETAI_NUM)</i>			0.854 *** (6.23)			1.249 *** (6.23)
<i>ln(HTDD), ln(CLDD) †, del(ln(HTDD_SP)) ‡</i>	1.215 ** (2.74)	1.118 † *** (8.76)				0.392 ‡ ** (2.15)
<i>Time Dummy variable</i>	No No	No No	Yes No	Yes Yes	No No	No No
Period	1997-2013	1996-2013	1998-2013	1997-2013	1997-2013	1996-2013
R ²	0.526	0.715	0.941	0.37	0.711	0.818
DW	1.781	1.438	2.054	1.953	1.812	2.202
Method	OLS	C-O	OLS	OLS	OLS	OLS

(注) 括弧の中の数字は t 値であり、***, **, * は、それぞれ有意水準 1%、5%、10% 水準で有意であることを意味する。OLS は最小 2 乗法、C-O はコ克蘭・オーカット法を指す。表中の記号 (§、#、¶、†、‡) はそれぞれ変数名とそれに対応する推計結果を示している。

3.4 運輸部門

表 6 は運輸部門におけるエネルギー原単位の構造方程式の推計結果の一部をまとめたものである（エネルギー原単位と推計されたパラメータの関係は 3.1 産業部門を参照されたい）。実質エネルギー価格に関するパラメータの推計結果の符号がマイナスであることから、実質エネルギー価格の上昇によってエネルギー原単位が減少する関係が確認できる。また経済活動の拡大は、運輸部門のエネルギー原単位の改善に寄与し、GDP が 1% 成長すれば原単位はおおよそ 0.1% から 0.3% 改善する（航空旅客、 $\ln(\text{INRSTL_AR})$ ；自動車貨物、 $\ln(\text{INFRTL_AU})$ ；鉄道貨物、 $\ln(\text{INFRTL_RL})$ ；内航船貨物、 $\ln(\text{INFRTL_SH})$ ）。結果の一部は統計的に有意ではないが、符号条件に関する理論的整合性を満たしている場合には、得られた推計結果を採用してエネルギー・モデルの構造方程式として採用した。

表 6 エネルギー原単位（運輸部門）

	Passenger			Freight		
	Car $\ln(\text{INRSTL_PA}/\text{EFLSTK})$	Rail $\ln(\text{INRSTL_RL})$	Airplane $\ln(\text{INRSTL_AR})$	Car $\ln(\text{INFRTL_AU})$	Rail $\ln(\text{INFRTL_RL})$	Freight ship $\ln(\text{INFRTL_SH})$
Constant	0.369 - (1.09)	3.423 *** (4.89)	7.845 *** (3.23)	4.748 ** (2.68)	3.518 *** (11.07)	3.534 ** (2.11)
ln(Real energy price)	-0.100 *** (-3.04)	-0.111 ** (-2.29)	-0.026 - (-0.64)	-0.088 * (2.010)	-0.058 - (-0.84)	-0.078 * (-1.79)
ln(Lag variable(-1))	0.966 *** (11.22)	0.202 - (1.24)	0.437 *** (3.19)	0.666 *** (5.55)	0.147 * (1.93)	0.704 *** (5.85)
ln(GDP)			-0.325 ** (-2.3)	-0.166 ** (-2.53)	-0.308 - (-1.2)	-0.143 - (-1.62)
Time Dummy variable	No No	No No	Yes Yes	No Yes	Yes Yes	No No
Period	1977-2013	1977-2013	1975-2013	1975-2013	1975-2013	1975-2013
R ²	0.915	0.642	0.918	0.955	0.979	0.831
DW	1.864	1.804	1.974	1.11	1.573	1.475
Method	O-C	O-C	OLS	OLS	OLS	OLS

(注) 括弧の中の数字は t 値であり、***, **, * は、それぞれ有意水準 1%、5%、10% 水準で有意であることを意味する。
OLS は最小 2 乗法、C-O はコ克蘭・オーカット法を指す。

4. 需要予測

4.1 前提条件とリファレンスケース

将来のエネルギー需要を推計する上で重要な仮定をおいている。すなわち、本予測モデルでは安定的なエネルギー需給が長期的に（2030年まで）維持されているということである。予測モデルは、部門別・エネルギー源別のエネルギー市場の均衡の推移を予測しており、これらの市場における需給ギャップは想定外である。このような安定的な姿として「長期エネルギー需給見通し」（文献 [4]）のリファレンスケースと整合的な経済成長率や人口の将来値を用いることとした。具体的には、実質経済成長率は「中長期の経済財政に関する試算」（文献 [3]、経済生成ケース）の成長率、人口・世帯人員数は国立社会保障・人口問題研究所の中位推計値を利用した（文献 [2]）。

エネルギー・モデルにおける発電部門の取り扱いは、既に述べたとおり、エネルギー需要構造のパートで求めた2次エネルギー需要に見合う供給を行うと仮定し、電源構成は文献 [4] に従った。この電源構成は、想定されるエネルギー・環境政策の効果が織り込まれたものであると考えられるが、それらは発電部門に対するエネルギー・環境政策と考えられる。また、文献 [4] における電源構成において想定される経済成長率や人口成長率などは、文献 [4] のリファレンスケースと同じであると考えられる。以上から、本分析のリファレンスケースにおける電源構成として文献 [4] の電源構成比を利用した。

本分析におけるリファレンスケースは以下のようにまとめることができる。すなわち、日本経済は人口の減少に直面するものの、経済政策の効果などから生産性が向上する。また、電源構成は2030年までに再生可能エネルギー・原子力発電の比率が44%になる。このような中で、実質GDPが年率0.3%で成長する場合のエネルギー需要の展望を見る。リファレンスケースにおけるエネルギー需要予測の前提条件を表7にまとめた。

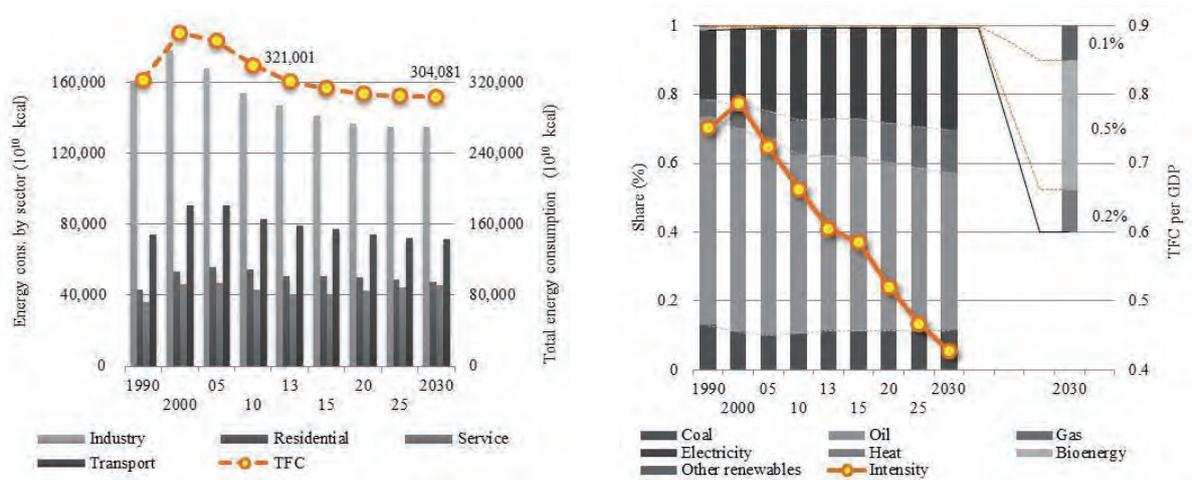
表7 リファレンスケースの前提条件

変数	値	出典
実質経済成長率	2013年から2030年まで年率1.7%	「中長期の経済財政に関する試算」（文献 [3]）
人口成長率	2013年から2030年まで年率マイナス0.05%	「日本の将来推計人口」（文献 [2]）
電源構成比	2030年におけるゼロエミッション電源（再生可能エネルギー・原子力）が44%	「長期エネルギー需給見通し」（文献 [4]）
原油価格	2030年に名目で117ドル／bbl	World Energy Outlook（文献 [1]）

4.2 予測結果

図 2(a) は 2030 年までの部門別エネルギー需要の推移を示したものである。最終エネルギー消費は、全体で 2013 年比約 5% 減の $304,081 \times 10^{10}$ kcal となる。図中の折れ線で示した GDP 当たりのエネルギー消費原単位は、2000 年から現在まで減少傾向にあるが (図 2(b))、この傾向は今後も見られると考えられる。エネルギー原単位の改善が進む中で、最終エネルギー消費の減少が期待される。

最終エネルギー消費の減少は、産業部門と運輸部門において同年比 10% 程度の減少となるが、業務部門の最終エネルギー消費は同年比約 13% 増加する (図 2(a))。また、エネルギー源別の推移を見ると、最終エネルギー消費が減少する中で、電力と天然ガスの割合が増加する (電力消費の割合は 2013 年の 26% から 2030 年に 29% へ増加すると予測される、図 2(b) 参照)。一方、2030 年まで、石油需要は減少し、石炭需要は微増となる。



(a) 部門別推移

(b) エネルギー源別推移

図 2 最終エネルギー消費

図 3 は、複数の関連研究機関から公開されている最終エネルギー消費、および CO₂ 排出に関する将来予測値の中で最も大きい予測値と小さい予測値で作られる予測範囲（文献 [1] 及び [7]）と本予測モデルの結果を示したものである。2030 年において、最終エネルギー消費は、エネルギー原単位の改善などから、2013 年比で約 5% 減少する一方、CO₂ 排出量は同年比で約 16% 減少すると見込まれる。これは、ゼロエミッション電源の割合が 2030 年で 4 割を超えるという今回の想定の下で、今後、電力需要が増加することや排出原単位が小さい天然ガスの割合が増加したことなどによると考えられる。しかし、将来の電源構成には不確実性がある点には留意する必要がある。さらに、日本経済が堅調に推移する中で最終需要部門におけるエネルギー原単位の改善が現状のまま推移すれば、わが国の排出削減目標（2013 年度比で 26% 減、文献 [8]）を達成する可能性は低いと考えられる。

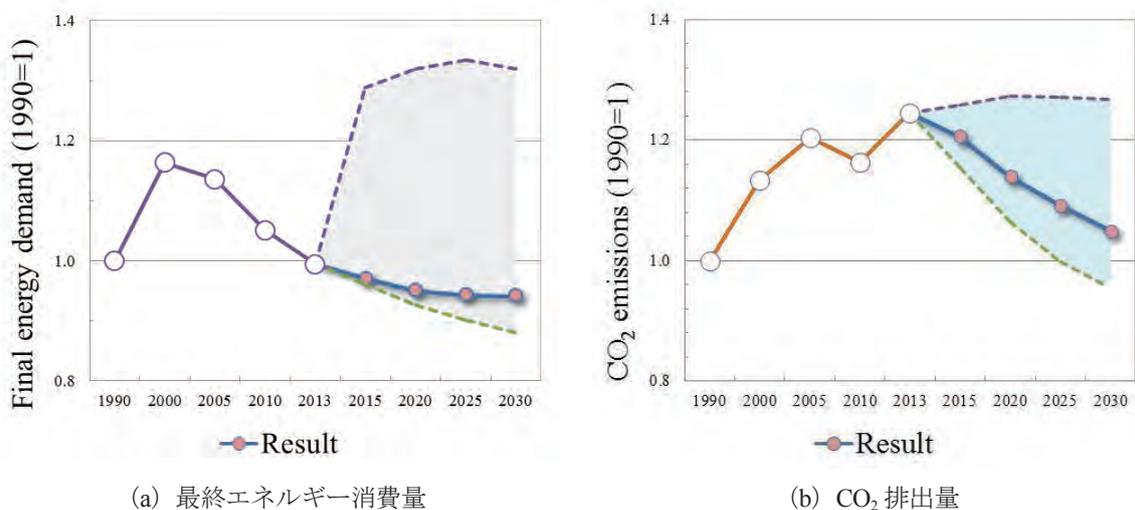


図 3 最終エネルギー消費

(注) いずれも 1990 年を 1 とした指数で表されている。

(注) 破線で囲まれた領域は、複数の関連研究機関から公開されている将来予測値のうち、最大／最小値に基づく予測の幅を表す（文献 [1]、及び [7]）。

4.3 原単位改善の効果

本予測分析は、文献 [4] のリファレンスケースと統合的な前提条件の下でエネルギー需要を計算した。従って、両者のエネルギー需要予測の結果の違いは、エネルギー消費原単位の違いとして捉えることができる。部門別のエネルギー消費がエネルギー原単位と活動量の積で決まるとすれば $(E_t^i = (E_t^i/EA_t^i) \times EA_t^i)$ 、前提条件を揃えたことによって両者の間の活動量 (EA_t^i) に関する将来の見立てに大きな差異は生じないであろう。従って、本予測分析と長期エネルギーのエネルギー原単位 (E_t^i/EA_t^i) の違いを見ることによって、省エネルギーの可能性を探ることができる。

図 4 は、実績 (2010 年から 2013 年)、本予測分析 (2013 年から 2030 年)、および長期エネルギー見通し (2013 年から 2030 年) におけるエネルギー原単位の増加率比の自然対数値を示したものである $(\ln((E_t^i/EA_t^i)/(E_0^i/EA_0^i)))$ 、 t は期間終了年、 0 は期間開始年)。これは茅方程式におけるエネルギー原単位の項であり (文献 [9])、これがプラスであれば原単位が期間中に増加 (原単位の悪化) することを意味する。

本分析結果におけるエネルギー消費合計の減少はエネルギー消費原単位の改善が寄与している。部門別に見ると、産業部門と運輸部門において原単位の改善が大きく寄与している。「長期エネルギー需給見通し」(文献 [4]) との比較を行うと、産業部門と業務部門において、それぞれ原単位の改善/悪化するという見通しは一致するが、その大きさは本エネルギー・モデルの方がいずれも大きい。更に家庭部門においては「長期エネルギー需給見通し」の結果と逆に、エネルギー原単位要因はプラスとなった。

今後、わが国は堅調に経済が成長し、また高齢化社会が進むなかで、サービス市場の拡大が見込まれる。サービス市場の拡大は、同部門のエネルギー需要の増加にもつながる。本予測分析の結果を踏まえると、今後、民生部門におけるエネルギー原単位の改善が低炭素社会の構築に向けて重要になると考えられる。

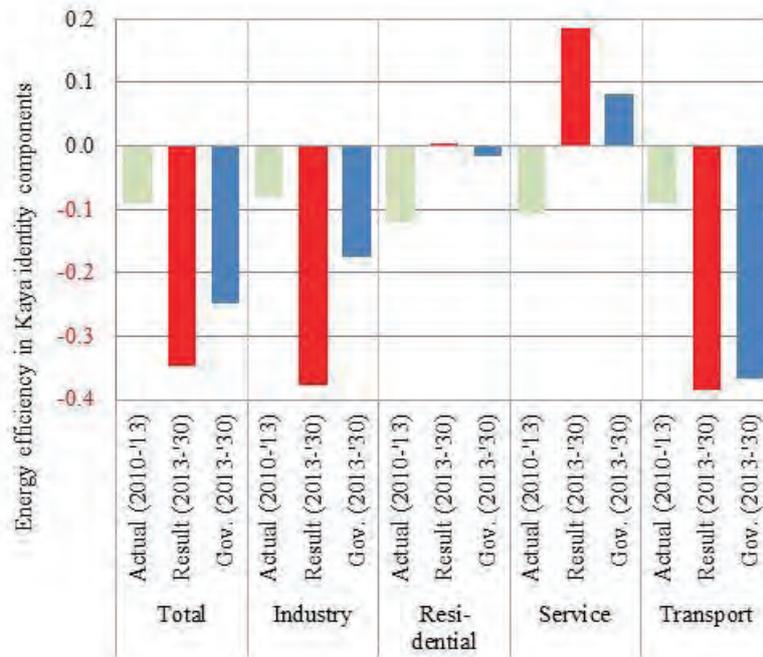


図 4 エネルギー原単位要因の比較

(注) Gov. は文献 [4] に基づき筆者が求めた値。

5. まとめと政策提案

「明るく豊かな低炭素社会」を実現させるために社会的コストが発生するならば、政策評価の観点から、そのコストを超える効果（あるいは便益）を低炭素技術が普及した社会の姿から見出すことが必要である。そこで、低炭素技術の普及による経済的・社会的な影響を評価することを目的として、日本のエネルギー・モデルを開発した。

2030 年まで経済は堅調に回復する中で将来のエネルギー需要がどのような要因で変化するかを検討するために、日本のエネルギー需要予測モデルを作成した。長期エネルギー需給見通し（文献 [4]）における経済・社会構造や電源構成に関する前提条件を用いて、今後日本経済が堅調に回復するというシナリオの下でのエネルギー需要を予測すると（リファレンスケース；表 7 参照）、2030 年の最終エネルギー消費は 2013 年比で約 5% 減少すると見込まれる。特に、産業部門と運輸部門において同年比 10% 程度の減少となるが、業務部門は同年比約 13% 増加する。

これらのエネルギー消費量の変化の原因として、部門別のエネルギー原単位要因を分析すると、今後、家庭部門と業務部門においてエネルギー原単位が悪化するという結果となった。2015 年に政府が公表した「長期エネルギー需給見通し」（文献 [4]）のリファレンスケースの結果を基に原単位要因を計算すると、同様に民生部門におけるエネルギー原単位が悪化しているが、その大きさは、我々が予測した結果の方が大きいものであった。

サービス市場の拡大が期待される中で民生部門における省エネルギー化を進めることは、化石エネルギーの消費抑制と経済的な豊かさを両立した社会を実現させる重要な布石となる。従って、民生部門において、低炭素技術を円滑に普及させるための市場整備やそれを支援する政策の拡充が必要である。LCS は低炭素技術を経済の拡大に繋げる社会システムのイノベーションを推し進めるべく、市場機能を活用した家庭部門における低炭素化を進める制度提案を積極的に行っている（文献 [6]）。今後、具体的な対策とその効果を示していく上で、異なる低炭素技術の定量的シナリオ別に民生部門の省エネルギー分析を進めていく必要がある。

この点に関して、今後も日本のエネルギー・モデルを拡張していくことが必要である。具体的には、低炭素技術の定量的シナリオ別に産業、民生、運輸部門における省エネルギー原単位の改善効果の定量化を進めていく。これにより「明るく豊かな低炭素社会」に向けたより詳細な分析が可能となる。また、エネルギー・モデルは他の様々な分析手法との親和性が高く、他の手法と組み合わせることによって包括的な視点から頑健で説得力のある知見を提供することが可能である。このような評価を最終目標と定めれば、本稿における分析はまだ途上段階にある。今後も、分析ツールとしての多様性と結果の頑健性を高めるための改善を行っていく。

最後に本分析結果を踏まえて、低炭素社会の構築に向けた政策提案を以下の通りまとめる：

- 今後、日本経済が堅調に回復するという想定の下で、民生部門、特に業務部門のエネルギー原単位が悪化し、エネルギー消費が増加する可能性がある。
- 社会構造の変化などから経済のサービス化が進むと考えられる中、民生部門における省エネルギー対策を進めていくことが重要である。具体的には、LCS が提案・実施している市場機能を活用した「電気代そのまま払い」（文献 [6]）の対象の拡大等を進めていくことが有効である。

参考文献

- [1] IEA, 2014. World Energy Outlook 2014. OECD/IEA, Paris.
- [2] 国立社会保障・人口問題研究所, 2012. 「日本の将来推計人口（平成 24 年 1 月推計）」,
Access: 20 October, 2015. <http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/sh2401top.html>
- [3] 内閣府, 2015. 「中長期の経済財政に関する試算」,
Access: 20 October, 2015. <http://www5.cao.go.jp/keizai3/econome/h27chuuchouki7.pdf>
- [4] 経済産業省, 2015. 「長期エネルギー需給見通し」, Access: 20 October, 2015.
http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/pdf/report_01.pdf
- [5] 日本エネルギー経済研究所・計量分析ユニット 編, 2015. 「EDMC / エネルギー・経済統計要覧」,
一般財団法人 省エネルギーセンター.
- [6] 科学技術振興機構 (JST) 低炭素戦略センター (LCS), 2014. 「電気代そのまま払い」の実現
に向けた枠組み作りを提案～くらしからの省エネを進める政策デザイン研究報告～,
Access: 20 October, 2015. <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20141119/>
- [7] EIA, 2013. Annual energy outlook 2013. Washington, DC.
- [8] 地球温暖化対策推進本部, 2015. 「日本の約束草案」.
- [9] Kaya, Y. (1990): Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios. Paper presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris. Mimeo.

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術普及編

エネルギー需要見通しから見る
低炭素社会に向けた課題と展望

平成 28 年 3 月

Aspects of Decarbonized Society from a Forecast of Energy Demand in Japan

Strategy for Technology Dissemination,
Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2016.3

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 研究員 坂本 智幸 (Tomoyuki SAKAMOTO)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4階
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp
<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2016 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
