

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 (Vol.2)

平成29年3月

Aspects of Decarbonized Society from a Forecast of Energy Demand
in Japan (vol. 2)

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-FY2016-PP-12

概要

本提案書では、エネルギー消費に関する最近の変化に関して、構造的な変化の可能性を検討した。さらに、その可能性に基づき昨年度構築したエネルギー・モデルを用いて、最近のエネルギー消費に関する変化が 2030 年まで継続した場合の、将来のエネルギー需要を予測分析した。加えて、今後日本経済が、実質国内総生産で年率 1%、および 0% 成長した場合におけるエネルギー需要についても予測分析を行った。その結果は、実質 GDP が年率約 0% で成長した場合において、最終エネルギー消費が、2013 年比マイナス 11% の 11,800 PJ、CO₂ 排出量が同年比マイナス 22% の 933Mt-CO₂ となった。GDP が 0% 成長となった場合でも、CO₂ 排出量は日本の約束草案に記載されるエネルギー起源 CO₂ 排出量 (2030 年) を達成することは難しいという結果である。エネルギー・モデルによる予測分析によれば、産業のサービス化が今後も進むと考えられる中で、業務部門におけるエネルギー消費量が最も大きく増加する可能性がある。従って、業務部門における省エネルギー化を重点的に進めることが効率的である。さらに、経済と環境の両立には投資の拡大は重要であり、費用対効果に優れる太陽電池、蓄電池、燃料電池、バイオマスといった低炭素技術の開発・普及に資する投資の拡大を政策的に推し進めていくことが重要である。

Summary

This article considers the possibility of structural change with respect to the recent trend of a decline in energy consumption in Japan. Using the energy demand model developed, future energy demand in 2030 has been predicted. We consider three scenarios concerning the economic growth rate. The first scenario is the reference case where the recent trend of domestic energy consumption continues. The other scenarios are alternative economic growth cases where the growth rates of real GDP increase by 1% and 0% per year from 2014 to 2030. In the 0% economic growth rate case, it was found that energy consumption is 11,800 PJ, and CO₂ emissions are 933 Mt-CO₂, 22% less in 2030 from 2013. The results of the analysis show that energy consumption in the service sector will present the greatest increase. Thus it is important to particularly promote energy and climate policies in that sector. Moreover, it is important to expand investment in the sustainable economy by promoting the development and dissemination of cost-effective low carbon technologies to achieve economic growth and CO₂ emission reduction.

目次

概要

1. はじめに.....	1
2. エネルギー消費に関する傾向分析.....	1
2.1 近年のエネルギー消費の傾向.....	1
2.2 構造変化に対する統計的検定.....	2
2.3 検定結果.....	4
3. エネルギー需要予測分析.....	6
3.1 エネルギー・モデル.....	6
3.2 最近のエネルギー消費の傾向を踏まえた 2030 年のエネルギー需要.....	7
4. ゼロ成長下のエネルギー需要.....	8
4.1 前提条件.....	8
4.2 予測結果.....	9
5. 政策立案のための提案.....	10
参考文献.....	10

1. はじめに

前 LCS 提案書¹⁾文献[1]において、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。エネルギー需要を予測する意義はいくつかあるが、経済活動や社会構造の変化といったエネルギーの需要システムの外で決定される変数（外生変数）が変化した場合、将来のエネルギー需要や CO₂ 排出量がどのように変化するかを予測し、このような外的要因の変化がもたらす将来の低炭素社会を描く 1 つのツールとしての活用が可能となる。

これまで、エネルギー消費量は経済活動に依存して変化すると説明されてきた。すなわち、経済活動が活発になれば、経済活動を支えるエネルギー消費量も増加するというものである。しかし、近年の実質 GDP とエネルギー消費の関係が従来との関係とは異なり、実質 GDP が増加してもエネルギー消費は増加しない可能性を示している。例えば、最終エネルギー消費の GDP 弾性値²⁾を見ると、1980 年から 1990 年、1990 年から 2000 年のそれぞれにおいて、0.43、1.50 であったものが、2010 年から 2013 年になるとマイナス 1.50 に転じている。

このようなエネルギー消費に関する最近の変化に関して、構造的な変化の可能性を検討することは、今後の低炭素社会を描く上で重要である。すなわち、わが国のエネルギー消費構造がこれまでとは異なった省エネルギー化の方向に進むのであれば、主要な温室効果ガスである二酸化炭素（CO₂）排出の削減量の算出根拠となる基準ケースのエネルギー消費量も、このような構造的な変化を織り込んだものに変更させる必要があると考えるからである。その結果、当初見込んでいた削減量の変更され、これまでの削減量に基づいて検討された様々な対策や、それによる社会的な費用や便益も更新される必要がある。

そこで、まず近年のエネルギー消費に関する推移の変化について、需要構造の変化の有無を統計的に分析し、その可能性を探った。その結果、エネルギー消費は 2008 年頃から減少傾向にあることが分かった。次に、エネルギー・モデルを用いて、このエネルギー消費に関する変化が 2030 年まで継続した場合の、エネルギー需要予測分析を行った。加えて、今後日本の経済活動が実質国内総生産で年率 1%、および 0% で成長した場合におけるエネルギー需要量を予測分析した。以下では、その内容について確認し、分析結果から将来の低炭素社会に向けた政策立案のための提案をまとめる。

2. エネルギー消費に関する傾向分析

2.1 近年のエネルギー消費の傾向

図 1 は 1990 年から 2013 年までの日本の実質 GDP とエネルギー消費量の推移を表したものである。この間、実質 GDP は 2008 年に生じたリーマンショックの影響を除けば、増加傾向にあることが分かる。一方、石油精製や発電事業者が投入するエネルギーで測った 1 次エネルギー国内供給は、2004 年をピークに減少傾向にある。同様に、最終エネルギー消費は、2000 年にピークに達し、その後減少傾向を示している。

従来、エネルギー消費量は、経済活動に依存して変化すると説明されてきた。すなわち、経済活動が活発になれば、経済活動を支えるエネルギー消費量も増加するというものである。しかし、この図からは、近年の実質 GDP とエネルギー消費の関係が従来との関係とは異なり、実質 GDP が増加してもエネルギー消費は増加しない可能性を示している。

¹⁾ 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、科学技術振興機構低炭素社会戦略センター（以下、LCS 提案書）。

²⁾ GDP の成長率に対するエネルギー消費量の増加率を比で表した値。

そこで、エネルギー消費の変化が生じたかどうかを統計的に検討し、将来のエネルギー消費の傾向に変化が生じる可能性を検討する。

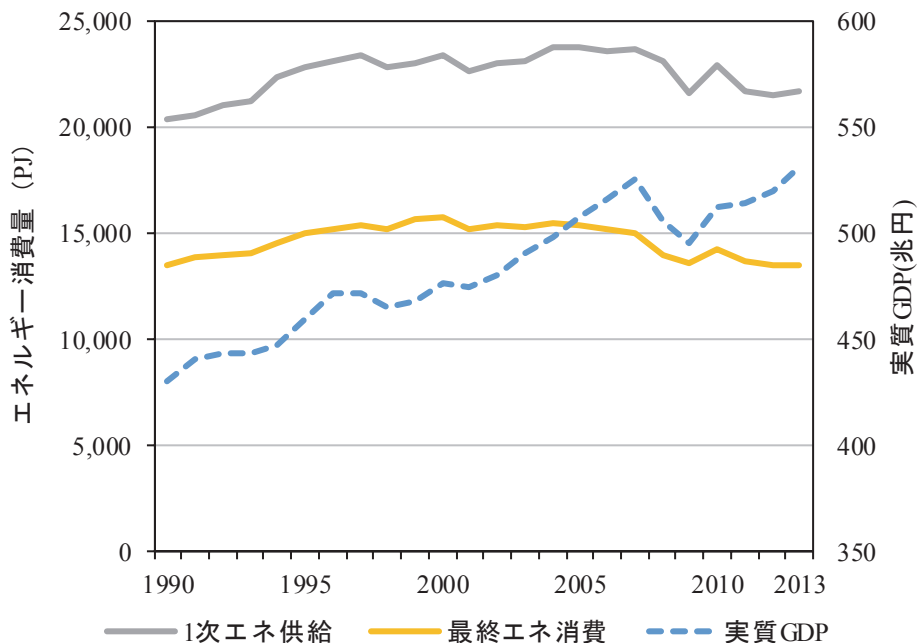


図 1 日本の GDP とエネルギー消費量の推移

(出所) EDMC/エネルギー・経済統計要覧

2.2 構造変化³⁾に対する統計的検定

(1) 未知の構造変化に対する検定手法

構造変化に関する統計的検定を施すには主に 2 つの方法がある。エネルギー消費量を線形確率モデル (以下、線形モデル) で表すことができたとして、1 つはこのモデルにおいて既知の構造変化が存在する場合に適用できるものであり、もう 1 つは未知の構造変化が存在する場合に用いるものである。1990 年以降、日本のエネルギー消費に変化が生じた可能性があるが、それがいつなのかは不明であり、本稿では後者に対応した分析が必要である。

構造変化が未知の場合には、Cumulative sum (CUSUM) 検定が用いられる⁴⁾。この検定は、まず、エネルギー消費を表す線形モデルをサンプル期間の一部を使い最小二乗法により推計し、その後、サンプル期間を 1 期ずつ増やしながら同じモデルについて最小二乗推計を繰り返す。そして、1 期ずつ繰り返して得られた線形モデルの推計結果に対して、各推計期間の翌期のデータを用いて翌期の予測を行うと、各期において実績データとこれに対応した 1 期前のデータを用いて推計された線形モデルに基づく予測値が得られることになる。この最小二乗法推定で得られる 1 期先の予測誤差 (逐次残差) を用いて構造変化の状況を調べる。

³⁾ 本報では、エネルギー消費に関する最近の構造的変化。

⁴⁾ 逐次残差を利用した構造変化に関する検定には、CUSUM 検定の他に CUSUM-sq 検定がある。CUSUM-sq 検定は補完的な位置づけとされている (文献[2])。本項では CUSUM 検定を用いてエネルギー消費に関する構造変化の検証を行った。

線形モデルにおいては、 t 期 (t 年) のエネルギー消費 (y_t) が K 個の説明変数 (\mathbf{X}) と確率的誤差項 (u_t) を用いて次のように示すことができる。

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{u}$$

ここで、 \mathbf{y} は $(T \times 1)$ のベクトル、 \mathbf{X} は $(T \times K)$ の行列、 $\boldsymbol{\beta}$ は説明変数 (\mathbf{X}) の係数のベクトル ($K \times 1$)、 \mathbf{u} は $(T \times 1)$ のベクトルである。また、確率的誤差項 \mathbf{u} は標準的な仮定⁵⁾に従うとする。サンプル期間を T 期として、この期間のどこかでエネルギー消費に何らかの変化が生じたとする。構造変化点について事前に知らされていないが、時点 $K+1$ 期以降に生じたとする。これは上記の線形モデルを推計する際の技術的な仮定であり、実際の分析においては、先験的に決定される説明変数の制限の下で十分なサンプルが確保されるようにサンプルデータ期間を決定することになる。

この線形モデルにおける逐次残差 (v_t) は、

$$v_t = y_t - \mathbf{x}'_t \hat{\boldsymbol{\beta}}_{t-1}, \quad t = K+1, \dots, T$$

と定義できる。ここで、 y_t は t 年におけるエネルギー消費、 \mathbf{x}_t は行列 \mathbf{X} の第 t 行目を要素する列ベクトルである。さらに、 $\hat{\boldsymbol{\beta}}_{t-1}$ は $(t-1)$ 期までのデータを用いて推計した線形モデルのパラメータ ($(K \times 1)$ ベクトル) である。回帰係数 $\boldsymbol{\beta}$ が一定で確率的誤差項の仮定が満たされているとき、この逐次残差は平均が 0、分散が $\sigma^2(1 + \mathbf{x}'_t(\mathbf{X}'_{t-1}\mathbf{X}_{t-1})^{-1}\mathbf{x}_t)$ の正規分布に従う。この線形モデルにおける残差 (w_t) は、

$$w_t = \frac{y_t - \mathbf{x}'_t \hat{\boldsymbol{\beta}}_{t-1}}{\sqrt{1 + \mathbf{x}'_t(\mathbf{X}'_{t-1}\mathbf{X}_{t-1})^{-1}\mathbf{x}_t}} \sim N(0, \sigma^2), \quad t = K+1, \dots, T$$

となる。回帰モデルの基本的な性質の 1 つとして、残差の和は 0 になるという制約があるが、モデルのパラメータ ($\boldsymbol{\beta}$) が安定的であれば、逐次残差 (v_t) の和も 0 から大きく外れることは無いはずである。従って、エネルギー消費に関する何らかの構造的な変化が生じた場合、それはエネルギー消費 (y_t) とそれに影響があると考えられる変数との間の平均的な関係を示すパラメータ ($\boldsymbol{\beta}$) が不安定となり、結果として逐次残差の和が不安定に推移すると考えられる。

パラメータの不安定性を検定するために逐次残差から以下の検定量を用いる。

$$W_t = \frac{1}{\hat{\sigma}} \sum_{s=K+1}^t w_s, \quad t = K+1, \dots, T$$

ここで、 $\hat{\sigma}^2 = \sum_{s=K+1}^T (w_s - \bar{w})^2 / (T - K - 1)$ 、 $\bar{w} = \sum_{s=1}^T w_s / (T - K)$ である。 W_t は残差 (w_t) の標準偏差で標準化した残差の和であり、残差 (w_t) が確率的であればその和は既に述べた通り 0 となることが期待される (CUSUM 検定)⁶⁾。この検定量 (W_t) を使った統計的検定は、モデルが正しく特定化されている (パラメータ $\boldsymbol{\beta}$ が一定である) と言う帰無仮説の下で行われる。帰無仮説が棄却される判断は、 W_t が、与えられた有意水準の下で求められた臨界値を越えたか否かで判断される⁷⁾。

5) 誤差項は、期待値は 0、分散は σ^2 の正規分布に従うと仮定される。

6) CUSUM-sq 検定の統計量は、

$$WW_t = \sum_{s=K+1}^t w_s^2 / \sum_{s=K+1}^T w_s^2$$

である。 WW_t は逐次残差が計算される全ての期間における逐次残差平方和で標準化されている。従って、 $t = T$ には WW_t が 1 となり、パラメータが安定的であれば WW_t は非常に小さい値から T 期に向かって安定的に 1 へと向かうことが期待される (CUSUM-SQ 検定)。

7) この検定では、CUSUM 統計量がシステムティックに 0 からかい離するか否かを観察し、モデルの特定化に関する判断は CUSUM 統計量と臨界値から判断される。従って、段階的に構造変化が生じるような場合、CUSUM 検定ではデータがモデルによって説明ができていた間は、構造変化が生じたとは判断されないであろう。従って、統計データによる分析結果と事実観察から構造変化点を探る事が重要であると考えられる。

以下では、1 次エネルギー供給と最終エネルギー消費に関する具体的な線形モデルにおける W_t を求め、近年のエネルギー消費に関する構造的な変化の可能性を見る。

(2) 検定に用いるモデルとデータ

t 年におけるエネルギー消費量 (EN_t) は、実質 GDP (gdp_t)、人口 (POP_t)、実質原油価格 ($poil_t$)、トレンド⁸⁾ (T_t) に依存して決まるとし、その関係を線形モデルで表す。すなわち、

$$EN_t = \alpha_t + \beta_t^1 gdp_t + \beta_t^2 POP_t + \beta_t^3 poil_t + \beta_t^4 T_t + \epsilon_t, \quad t = 1, \dots, T \quad (1)$$

と表すことができるとする。ここで、 α_t, β_t^i ($i = 1, \dots, 4$) は推計されるパラメータであり、 ϵ_t は誤差項である。さらに、上記線形モデル(1)を用いて、一人当たりエネルギー消費に関する以下の線形モデル(2)を求めた。

$$PEN_t = EN_t / POP_t = a_t + b_t^2 (gdp_t / pop_t) + b_t^3 T_t + \epsilon_t, \quad t = 1, \dots, T \quad (2)$$

ここで、 PEN_t は t 年における一人当たりエネルギー消費である。一人当たりエネルギー消費を検討する理由として、モデル(1)を利用して回帰分析を行った場合、多重共線性が発生することが考えられるからである。

モデル(1)、(2)のいずれも誤差項は標準的な仮定に従うとする。サンプル期間は近年の減少傾向を含む 1985 年から 2013 年とした。また、エネルギー消費は、発電事業者や石油精製が電力や石油製品を転換するための投入要素である石炭や原油輸入を含む 1 次エネルギー供給と、産業、民生、運輸部門において需要した最終エネルギー消費量の 2 つを用いることとする。両者の大きな違いは、転換部門を含むかどうかであるが、両者の検定結果の比較からエネルギー転換部門における構造的な変化が生じた可能性も大まかながら探ることができる。

モデル(1)、(2)において、1 次エネルギー供給(TPES)、および最終エネルギー消費データ(FEC)を用いており、それぞれにエネルギー消費水準、およびエネルギー原単位の 2 つのモデルを適用しており、合計で 4 つのパターンを分析した。

2.3 検定結果

表 1 はモデル(1)、(2)の推計結果をまとめたものである。より推計力を高めるため、全てのデータについて対数変換したものをを用いている。モデルの当てはまりを比べると、エネルギー供給(TPES)、および最終エネルギー消費(FEC)の方が、一人当たり原単位よりも良いことが分かる(自由度修正済 R^2 (Adj R^2) がいずれも高い)。そこで、エネルギー供給、および最終エネルギー消費(推計結果(1),(2))について、個々の説明変数を見ると実質 GDP は統計的に有意に推計されているが実質原油価格(前期比の対数変換)は有意な結果とはならなかった。ここで、実質原油価格について前期比の対数変換を用いた理由は、実質原油価格データについて非定常性が発生している可能性があり、このデータをそのまま利用することができないからである。1985 年から 2013 年における実質原油価格データについて、単位根検定を行った結果、1 次階差では非定常性は確認されなかったため、実質原油価格の対数値の 1 次階差を原油価格変数として用いた(本分析で用いたデータに関する定常性の検証結果については文献[2]を参照されたい)。

⁸⁾ サンプルの期間において、一定の量だけ増えていく変数であり、エネルギー消費量の時間的な推移の傾向などを説明する事が出来る。

表 1 線形モデルの推計結果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	log(TPES)	log(FEC)	log(TPES/POP)	log(FEC/POP)
定数項	15.35*** (2.845)	21.72*** (2.975)	11.74** (5.549)	15.09** (6.485)
log(実質 GDP)	1.494*** (0.465)	1.425** (0.631)		
Δ[log(実質原油価格)]	0.0277 (0.0452)	0.0501 (0.0630)	0.0514 (0.0452)	0.0802 (0.0601)
log(一人当たり実質 GDP)			0.833* (0.457)	0.568 (0.600)
TIME	Yes	Yes	Yes	Yes
Sample size (1985-2013)	24	24	24	24
Adj. R ²	0.391	0.259	0.163	0.219
AIC	-87.27	-75.29	-86.23	-75.25
CUSUM 検定	✓	✓		

(注) 括弧内の数字は t 値であり、***、**、*はそれぞれ有意水準 1%、5%、10%水準で推計結果が有意であることを意味する。また、TIME=Yes は、トレンド変数 (TIME) をモデルに含めていることを意味する。

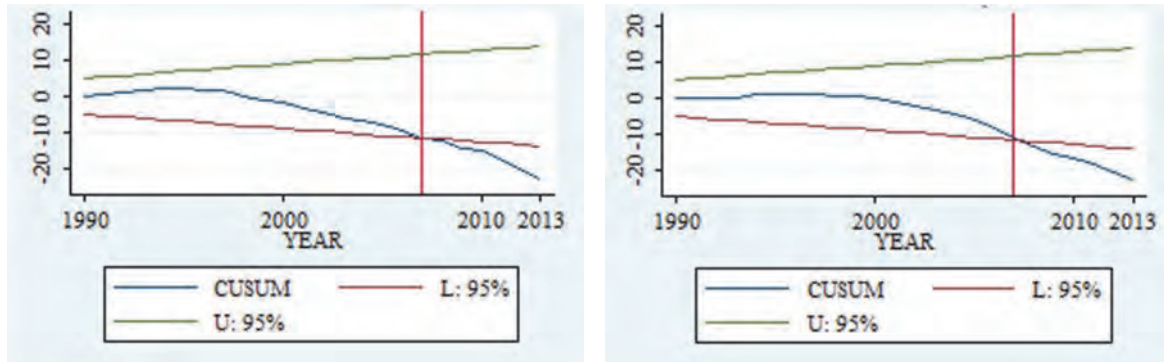
CUSUM 検定は逐次残差を利用することから、線形モデルの説明力を優先して、推計結果(1)、(2)を用いることとした。検定の結果は図 2 の通りである。グラフの中で縦に描かれた直線は 2007 年を示している。1 次エネ供給 (推計結果(1), 図 2 (a))、最終エネルギー消費 (推計結果(2), 図 2 (b)) のいずれも、CUSUM 検定の結果は、2000 年頃までは逐次残差の和が 0 の近辺で推移しており、概ねモデル(1)で推計したパラメータが安定的であることが分かる。2000 年以降、輸入原油価格が高騰し始めたことなどが影響しているものと考えられる。しかし、この段階においては、エネルギー消費は、依然としてモデルによって説明できており、構造的な変化が生じたとは判断できない。

1 次エネ供給 (推計結果(1), 図 2 (a)) は、2007 年、最終エネルギー消費 (推計結果(2), 図 2 (b)) は 2008 年に下側臨界値を超えている。両者の間で信頼区間幅を超える年が近いことから、転換部門における構造的な変化というよりも、エネルギー需要における構造的な変化が 2008 年頃から生じたものと考えの方が自然である。その理由として、石油精製や発電事業者は装置産業であり、転換部門の投入需要に対する変化は長期的なものと考えられ、今回の CUSUM 検定における 1 次エネルギー供給と最終エネルギー消費を用いた検定結果の差 (2007 年、2008 年にそれぞれ信頼区間を超えたという結果) を転換部門の投入需要の長期的な変化に求めることは、転換部門の性質から見て考えにくいからである。

逐次残差とは、実績値からモデルによる予測値を引いたものとして定義されている。従って、今回の検定結果は過大予測の方向に、すなわちエネルギー消費が減少する方向に有意に構造変化が生じた可能性を示す結果となった。2008 年は、2007 年から始まる金融危機がリーマンショックという形で経済活動を停滞させた年であり、同時に原油価格が急騰した年でもあった。従って、エネルギー消費が 2008 年頃から減少し始めた要因として、景気の後退による各部門におけるエネルギー需要の減少、原油価格の高騰によるエネルギー消費の節約が、エネルギー消費の減少傾向を引き起こした可能性が考えられる。

このエネルギー消費に関する構造的な変化の可能性は、低炭素技術がもたらす未来像を描く上

で重要な問題を提起する。すなわち、将来のエネルギー・CO₂ 排出の削減を描く際に、構造変化によるエネルギー消費の減少が継続的なものであれば、将来の削減目標も変化する可能性があるからである。そこで、現状のエネルギー消費の傾向が今後も続くとした場合のエネルギー需要量を予測し、将来の削減目標がどのようになるのか検討を試みた。



(a) CUSUM 検定 (1次エネ供給)

(b) CUSUM 検定 (最終エネルギー消費)

図2 エネルギー消費の構造的変化に関する検定の結果 (CUSUM 検定)

(注) グラフに描かれる CUSUM は逐次残差 (W_t)、L は 95%信頼区間の下限値、U は同上限値を表している。

3. エネルギー需要予測分析

3.1 エネルギー・モデル

将来のわが国のエネルギー消費を予測するため、エネルギー・モデルを作成した。エネルギー・モデルについては文献[1], [3]に説明があるので参照されたい。ここでは、作成したエネルギー・モデルの概要を示す。

エネルギー・モデルは、産業部門、業務部門、家庭部門、および運輸部門の各エネルギー需要を確率的線形モデルで表し、GDP、原油価格、人口などを外生変数として用いて、線形モデルによる外挿から将来のエネルギー需要を求めている。産業部門は12業種、運輸部門は旅客と貨物の2部門に分けており、エネルギー源は石炭、石油、天然ガス、再生可能エネルギー、電力、および熱に分けて分析を行った。エネルギー・モデルの特徴をまとめると、

- エネルギー需要はエネルギー原単位 (産業部門は業種別に IIP 当たりのエネルギー消費量、業務部門は床面積当たりのエネルギー消費量、家庭部門は世帯当たりのエネルギー消費量、旅客は人キロメートル当たりエネルギー消費量、貨物はトンキロ当たりエネルギー消費量) と活動量 (原単位で分母に採用された変数) の積とする。
- 各部門・エネルギー源別のエネルギー原単位と対応する部門の活動量について、それぞれに確率線形モデルで表し、2030年までの値を外挿する。将来のエネルギー需要量は、外挿されたエネルギー原単位と対応する活動量の積で求められる。
- エネルギー原単位を表す確率線形モデルには、対応するエネルギー価格、(経年的な原単位の改善の程度を表す) タイムトレンド変数、エネルギー原単位に影響を与える部門特有の変数 (設備投資や資本ストック) などで構成される。
- 各部門の活動量を表す確率線形モデルは、GDP や人口といった各部門の経済活動を規定する変数によって構成されている。
- エネルギー・モデルにおけるエネルギー需要の構造変化の可能性の取り扱いについて

は、2007 年以降の構造的な変化が見られる部門別・エネルギー源別のエネルギー原単位について、ダミー変数を用いてその変化を捉えている。

3.2 最近のエネルギー消費の傾向を踏まえた 2030 年のエネルギー需要

(1) 前提条件

エネルギー・モデルにおいて考察の対象となるのは、部門別・エネルギー源別のエネルギー消費量（エネルギー原単位と活動量）であり、エネルギー需要を規定するシステムの外で決定される変数については、予め定められた値をエネルギー・モデルに入力させることになる。特に、システムの外で決定される変数を外生変数と呼ぶ。

エネルギー・モデルにおいて、重要な外生変数とその値を表 2 にまとめた。実質経済成長率、人口、電源構成比、原油価格に関する将来の想定値は「長期エネルギー需給見通し」（文献[4]）におけるリファレンスケースと一致するように設定した。長期エネルギー需給見通しは、日本の将来のエネルギー政策とそれに基づくエネルギー需要見込みをまとめており、日本の将来のエネルギー需給の姿を示すものである。そのリファレンスケースの値を用いることによって、近年のエネルギー消費の減少傾向が 2030 年まで継続した場合に、長期エネルギー需給見通しのリファレンスケースとどの程度のかい離が生じるかを確認することができる。

表 2 エネルギー・モデルの前提条件（外生変数）

変数	値
実質経済成長率	2013 年から 2030 年まで年率 1.7%
人口	2030 年まで年率マイナス 0.05%
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%
原油価格	2030 年に名目で 117 ドル/bbl

(2) 予測結果

表 3 は、エネルギー・モデルによる 2030 年における最終エネルギー消費量と CO₂ 排出量の予測結果である。2030 年の最終エネルギー消費量は、2013 年比マイナス 2.8%の 12,900 PJ となった。これは長期エネルギー需給見通しにおける省エネ対策ケースである 12,600 PJ を上回るものの、その差は僅かである。また、2030 年における CO₂ 排出量を見ると、エネルギー・モデルの結果は、2013 年比マイナス 14.8%の 1,016Mt-CO₂となった。これは前提条件において、ゼロエミッション電源が 2030 年で全体の 4 割を超えるとする中、今後、電力需要が他のエネルギーからシフトすると予測されていること、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。

長期エネルギー需給見通しでは、省エネルギー対策が進んだ場合でも、産業部門のエネルギー消費は 2013 年比マイナス 6.9%の 6,600 PJ と見込まれている。一方、エネルギー・モデルでは、産業部門におけるエネルギー原単位の改善が大きく見込まれる事などから、最もエネルギー消費の削減が進む部門となった。一方、産業のサービス化が今後も進むと考えられる中で、業務部門のエネルギー消費量は 2013 年比マイナス 13%の 1,900 PJ となると見込まれる。

エネルギー・モデルにおける結果には、将来における重要ないくつかの不確実性について考慮されていない。例えば、将来の電源構成は、将来の低炭素技術の開発・普及や経済状況、あるいはエネルギー政策の変更によって変更される事も考えられる。さらに将来の経済状況についても、

その先行きには不確実性がある点を強調しておく必要がある。そこで、経済活動について、異なる 2 つのシナリオの下でエネルギー需要がどのように変化するかを検討する。

表 3 予測分析結果 (PJ, Mt-CO₂)

	2013		2030					
	実績		エネルギー・モデル				長期見直し (省エネ対策ケース)	
	最終エネ消費	CO ₂	最終エネ消費	CO ₂	最終エネ消費	CO ₂	最終エネ消費	CO ₂
合計	13,281	1,192	12,900	1,016	12,623	927		
産業	6,156	564	5,600	470	6,583	474		
業務	1,701	205	1,900	189	2,168	168		
家庭	2,113	231	2,000	177	1,471	122		
運輸	3,311	193	3,300	180	2,401	163		

4. ゼロ成長下のエネルギー需要

4.1 前提条件

エネルギー・モデルにおいて、将来の経済活動は外生変数として与えられた。その際、与えられた想定は、実質 GDP が年率 1.7% で成長するというものであった。しかし、日本をはじめとする先進国が、今後新興国と肩を並べるほどの速度で成長するという想定は現実的ではないであろう。例えば、文献[5]では将来の不確実性から生産性を高める資本ストックの形成が順調に進まず、先進国では経済成長が止まる可能性について言及している。

日本経済は、中国や新興国の景気に大きく左右され、2015 年度では日本の国内需要が下押しされた。また、労働需要が増加傾向にあるが、実質賃金の伸びが弱いものにとどまったことなどから個人消費が低迷した (文献[6])。このように長期エネルギー需給見通しに基づく GDP の想定値は今後見込めない可能性は十分にあり、このような場合におけるエネルギー需要がどの程度となるかを検討することは意義がある。

そこで、経済成長率が 0%、年率 1% の 2 つのシナリオを想定し、2030 年のエネルギー需要予測を行う (表 4 参照)。ケース 1 は、基準ケースとして長期エネルギー需給見通しの前提条件を踏襲したものであり、その結果は第 3 章で見たものと一致する。一方、ケース 1 に対して、2013 年から 2030 年にかけて、実質 GDP が年率 1% で成長した場合をケース 2、さらに年率 0%、すなわち、2030 年まで経済規模がほぼ現状から変わらない場合をケース 3 とした。なお、実質 GDP 以外の全ての前提条件は、長期エネルギー需給見通しにおける値を用いる。

表 4 GDP 成長率に関する 3 つのシナリオ (兆円 ; %)

		2013	2020	2030	2030/ 2013
実質 GDP	ケース 1	531	590	711	1.7%
	ケース 2		560	619	0.9%
	ケース 3		528	528	0.0%

4.2 予測結果

今後、経済活動が長期エネルギー需給見通しの想定ほど進まない場合のエネルギー需要予測の結果は図 3、表 5 の通りである。実質 GDP が年率約 1%で成長した場合（ケース 2）、2013 年比マイナス 8%の 12,300 PJ、また実質 GDP が年率 0%成長の場合には（ケース 3）、同比マイナス 11%の 11,800 PJ になると見込まれる。

エネルギー・モデルにおいて、エネルギー消費量がエネルギー原単位と活動量の積であることを思い出して欲しい。エネルギー・モデルの中では、実質 GDP は各部門の活動量に直接影響を与える構造となっており、ケース 2、ケース 3 は、活動量の低迷を通じて 2030 年における基準ケースにおける最終エネルギー消費に比べて、それぞれマイナス 5%、マイナス 9%押し下げる結果となる。

CO₂ 排出量を見ると、ケース 2 では 2013 年比マイナス 19%の 970Mt-CO₂、ケース 3 では同年比マイナス 22%の 933Mt-CO₂ となった。経済活動の低下は、活動量を通じて CO₂ 排出量を削減させる。しかし、ゼロエミッション電源の構成比は、長期エネルギー需給見通し値を用いている点には留意する必要がある。

将来の不確実性要因の 1 つである実質 GDP が長期エネルギー需給見通しで想定される値を下回るケースについて、将来のエネルギー需要予測結果を検討した。もし、経済活動が現状を維持すると考えた場合でも（ケース 3）、CO₂ 排出量は日本の約束草案に記載されるエネルギー起源 CO₂ 排出量（2030 年）を上回るという結果となった。

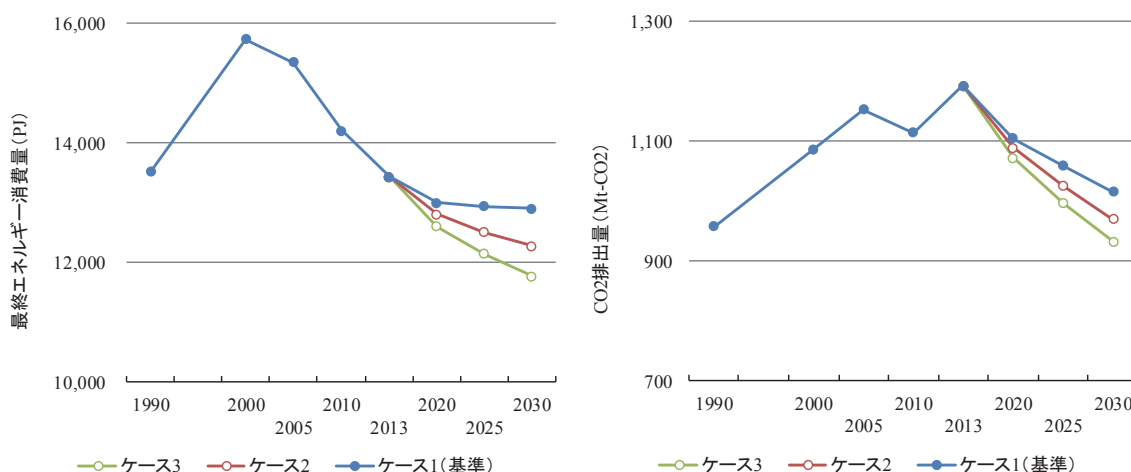


図 3 低成長シナリオの結果

表 5 ケース間比較 (PJ; Mt-CO₂)

	実績 2013		エネルギー・モデル 2030			
	最終エネ 消費	CO ₂	最終エネ 消費	(ケース 1 との差)	CO ₂	(ケース 1 との差)
ケース 1 (基準)	13,281	1,192	12,900	1.00	1,016	1.00
ケース 2			12,300	0.95	970	0.96
ケース 3			11,800	0.91	933	0.92

5. 政策立案のための提案

本提案書では、エネルギー消費に関する最近の構造的な変化の可能性を検討した。さらに、その可能性に基づき、昨年度構築したエネルギー・モデルを用いて、このエネルギー消費に関する変化が 2030 年まで継続した場合のエネルギー需要予測分析を行った。長期エネルギー需給見通しにある経済、原油価格、人口といった外生的な要因を用いた上で、近年のエネルギー消費の減少傾向が 2030 年まで継続するとした場合、エネルギー消費量は 2013 年比マイナス 2.8% の 12,900 PJ、CO₂ 排出量は同年比マイナス 14.8% の 1,016Mt-CO₂ となった。

加えて、今後日本の経済活動が実質国内総生産で年率 1%、0% 成長した場合におけるエネルギー需要予測分析を行った結果、実質 GDP が年率約 1% で成長した場合（ケース 2）、2013 年比マイナス 8% の 12,300 PJ、また実質 GDP が年率 0% 成長の場合には（ケース 3）、同比マイナス 11% の 11,800 PJ になると見込まれる。この GDP 成長率に関する 2 つのシナリオ分析の結果によれば、GDP が 0% 成長となった場合でも、CO₂ 排出量は日本の約束草案に記載されるエネルギー起源 CO₂ 排出量（2030 年）を達成することは難しいという結果である。

エネルギー・モデルによる予測分析を踏まえ、以下の政策立案のための提案と今後の重点分野を以下の通りまとめる。

- 産業のサービス化が今後も進むと考えられる中で、業務部門におけるエネルギー消費量は最も大きく増加する可能性があり、業務部門における省エネルギー化を重点的に進めることが必要である。
- 経済成長は低炭素社会を構築する上でも重要である。経済を成長させる上で、投資の拡大は重要であり、低炭素技術の開発・普及に資する投資の拡大は経済と環境を両立した社会構築の可能性を高める。費用対効果に優れる太陽電池、蓄電池、燃料電池、バイオマス、風力発電、中小水力発電、地熱発電、CO₂ 回収貯留（CCS）等への重点的な投資対策を提案する。
- 本提案書は、近年のエネルギー消費の傾向とそれを踏まえた将来のエネルギー需要に関する分析に基づいている。そこでは、経済活動（GDP や原油価格）は与えられたもの（外生変数）として扱ってきた。しかし、エネルギー消費や低炭素技術が経済活動に影響を与えることを考慮に入れることが、具体的な低炭素社会のシナリオを描く上で重要になる。今後は、本提案書の考察を進め、低炭素技術の利用拡大と経済の双方向の影響を踏まえた、消費者や産業部門の各主体の行動（CO₂ 排出削減や効用・付加価値の変化）分析を進めていく。

参考文献

- [1] 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”，科学技術振興機構低炭素社会戦略センター，2016 年 3 月。
- [2] Brown, R. L., J. Durbin and J. M. Evans, “Techniques for Testing the Constancy of Regression Relationships over Time”, Journal of the Royal Statistical Society, Vol. 37, No 2, pp. 149-192, 1975.
- [3] Sakamoto, T., K. Takase, R. Matsuhashi, and S. Managi, “Baseline of the projection under a structural change in energy demand,” Energy Policy, vol. 98, pp. 274-289, 2016.
- [4] 経済産業省, ”長期エネルギー需給見通し”, 2015.
- [5] Perotti, E., “Public policy in a zero-growth scenario,” VOX CEPR's Policy Portal, <http://voxeu.org/article/public-policy-zero-growth-scenario>, Access: 2016/12/22.
- [6] 内閣府, ”平成 28 年度 年次経済財政報告”, 2016.

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 (Vol.2)

平成 29 年 3 月

**Aspects of Decarbonized Society from a Forecast of Energy Demand
in Japan (vol.2)**

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,
2017.3

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/>

© 2017 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。
