

太陽光発電システムの最適普及経路と 電力固定買取価格に関する定量分析

小杉 隆信

要旨

長期的な費用最小化の観点から日本において目標とすべき太陽光発電システムの最適普及経路に関する分析を行い、さらに、その普及経路を達成するために近い将来において設定すべき太陽光発電電力の固定買取価格を導出した。分析にあたっては、太陽光発電システムの普及に伴い生じる生産習熟効果によるコスト低下の見通しや、消費者のシステム導入にあたっての投資回収年数受容曲線を、最新の観測データに基づいて推定することとした。分析の結果、太陽光発電の普及拡大が経済的に望ましいものとなるためにはプラグインハイブリッド車を含む電気自動車を電力系統に接続して充放電を行うことで系統制御を行える技術の導入促進が望まれることや、ある年度で太陽光発電システムのコストが大きく低下した場合には習熟効果が上方修正され、普及ペースを速めるのが経済的に望ましくなるので、次の年度の電力買取価格を低くするのではなくむしろ高く設定すべきという結果が得られる場合があることなどが示された。

I. はじめに

太陽光発電システムは現状では既存の発電技術と比べると高コストであるが、将来のコスト低下が見込まれる上、エネルギー源の化石燃料からの依存を抑制するとともに温室効果ガスである二酸化炭素の排出量も削減できる再生可能エネルギー技術として期待されることから、その普及のために設置補助金や発電電力の固定価格買取などの公的な経済的支援措置が採られてきている (Edenhofer et al., 2011)。しかしながら、そうした支援の水準、例えば固定買取価格をどの程度に設定すべきかの議論は必ずしも簡単ではない。支援水準は、各年における太陽光発電システムの導入規模が、達成すべき望ましい将来普及経路に沿うように定められるべきであり、そのためには支援水準と消費者のシステム導入意思との関係を慎重に見極めなければならないという難しさがある。

達成すべき将来の太陽光発電の普及目標についても、必ずしも確固たる値が合理的根拠を伴って示されているとは言えない。日本政府の公式目標としては、麻生首相 (当時) が 2009 年 6 月に発表した 2020 年度までに我が国の二酸化炭素の排出量を 2005 年比で 15%削減するという目標を受けて 2009 年 8 月に公表された長期エネルギー需給見通し (再計算) の最大導入ケースで示され

ているように、非住宅用を含む普及量を、可能と考えられる最大限の量として 2020 年度までに 28GW、2030 年度に 52GW まで増加させることが掲げられている (総合資源エネルギー調査会需給部会, 2009)。一方、2009 年 9 月の政権交代後に設置された低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討会では、太陽光発電のコストが生産量の拡大に伴って生じる習熟効果によって低下すると考え、発電コストを 2020 年に 14 円/kWh、2030 年に 7 円/kWh¹⁾ まで低下させるために望まれる国内普及量として、2020 年までに 37GW、2030 年までに 79GW を目標として示している (低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討会, 2009)。しかしながら、こうした目標が社会全体にとって長期的にみて望ましいものであるかどうかは不明確である。

そこで、本論文では、今後の太陽光発電システムの導入コストの低下と在来型火力発電の燃料コストの上昇に関する想定を行った上で、超長期的にみて我が国全体におけるエネルギー供給コストが最小化されるような太陽光発電の普及経路を簡易な数理計画モデルを通して導き出し、さらに、設備導入に関する消費者の選好に関する分析に基づいて、その普及経路を達成するために当面設定すべき太陽光発電システムの電力固定買取価格を提示する。

太陽光発電のように普及の初期段階にあるエネルギー

ギー技術の導入コストの将来動向の想定を行うには、大きく分けて2つの考え方がある。1つは、技術進歩を外生条件として与える、すなわち例えば時間の経過とともに一定率でコストが低下すると想定するものであり、もう1つは、技術進歩を内生化する方法である。後者として具体的に最もよく行われる方法は、先述の低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討会(2009)でも採用されたように、技術のコストの低下を生産習熟効果で説明する、すなわち、累積生産量の増加に伴ってコストが低下すると仮定するものである。本論文ではまず次のⅡ節において、それぞれの考え方について詳述した上で、これらの考え方のもとで2010年度末までの実績データに基づいてコスト最小化の観点から太陽光発電システムの望ましい普及経路を導き出す。

続いて、Ⅲ節において、2012～2013年度において設定すべき太陽光発電システムの電力固定買取価格の推計を行う。推計にあたっては、2011～2012年度に観測されるであろう太陽光発電システムの導入量とコストに関するいくつかのシナリオを想定し、各シナリオにおいて生産習熟効果を再推計してⅡ節と同様に望ましい普及経路を求め、さらに、消費者の消費者のシステム導入に関する選好を分析することで、その普及経路の達成のために推奨される固定買取価格の設定値を導出する。システムコストの低下の速い進展が観測される場合には、そうでない場合と比べて固定買取価格を時間の経過に伴って大きく下げていけばよいように思われるが、分析の結果、それが必ずしも経済的観点から合理的とは限らないことなどが示される。Ⅳ節では、本論文で採用した分析方法の利点と問題点を踏まえながら、上記で得られた結果に関する考察を行うとともに、今後の太陽光発電システム等の再生可能エネルギー技術の公的な導入支援水準決定手順についての示唆をまとめる。最後にⅤ節において、本論文を総括する。

Ⅱ. 太陽光発電の最適普及経路に関する分析

1. 分析の考え方

運転時に化石燃料を消費せず環境負荷も発生しないという利点を有する太陽光発電システムの普及にあたり、最も懸念すべきことは経済性である。太陽光発電は、その利点を踏まえて導入を推進すべきとの主張がある一方で、従来型の火力発電と比較して高コストであり、

将来のコスト低下が期待されるとはいえ現時点で導入を性急に拡大するのは費用が掛かりすぎることから慎重であるべきとの意見も存在する(朝野, 2011)。太陽光発電は出力が不安定であるため、電力供給に占めるシェアが大きくなると電力系統を安定化させるために蓄電池等が必要となることも、太陽光発電システムの導入に伴い発生する追加的コストとして考えなければならぬ。

そこで本論文では、望ましい普及経路は、社会における太陽光発電システムの純コスト(太陽光発電のコストから、太陽光発電により代替される系統電源の運転コストを差し引いたもの)の将来にわたる割引後総和が最小になるように導き出されるべきと考える。太陽光発電システムは導入時にはコストが掛かるがその後の運転コストは無視できる程度に小さいと仮定すると、各年度の割引後純コストの総和は次式のように計算される。

$$\sum_{t=t_0}^T \sum_{\chi} \frac{I_{\chi,t} C_{\chi,t} - f_c l_h M_{\chi,t} (u_t - s_t)}{(1+r)^{t-t_0}}. \quad (1)$$

ここで、 t は各年度(分析の初年度 $t=t_0$ 、計算対象として考慮する最終年度を T とする)、 χ は太陽光発電の導入用途(住宅用および非住宅用;それぞれ $\chi=R$ および $\chi=N$ で表す)を示す添え字であり、 $I_{\chi,t}$ は最適値を求めるべき各年度の太陽光発電システムの導入量(kW/年)、 $C_{\chi,t}$ は太陽光発電システムの導入コスト(円/kW)、 f_c は設備利用率、 l_h は1年間の時間(=8760)、 $M_{\chi,t}$ は太陽光発電システムの普及量(kW)、 u_t は太陽光発電の導入により回避される従来型電源の運転コスト(円/kWh)、 s_t は太陽光発電の普及に伴って必要となる、太陽光発電電力量あたりの系統安定化コスト(円/kWh)、 r は割引率(年⁻¹)を表す。系統安定化に要するコストは必ずしも太陽光発電の電力量に比例するものではなく、普及初期では特段の系統安定化対策は不要との試算もあるが、ここでは計算を簡単にするために太陽光発電電力量あたりの系統安定化コストを一定値と想定する。

今後の太陽光発電システムの導入コスト $C_{\chi,t}$ は、前節でも示したように、外生的に与える考え方と内生的に求める考え方がある。前者は、時間の推移とともにコストが低下してきた過去の傾向が今後も継続すると仮定するものであり、エネルギー供給に関する数理計画モデルではこの仮定が解法上簡単であることから頻繁に適用

されてきた。しかし、これは、コスト低下を導く要因である技術進歩が人為的ではなく自然に生じると仮定しているに等しく、技術進歩を促すのに必要なはずの投資活動が最適化の対象としてまったく考慮されないという大きな欠点を有する。そこで近年、エネルギー供給計画モデルで採り入れられつつあるのが後者の考え方であり、具体的には、技術の生産プロセスが累積生産量の増加に伴って習熟することによって、その生産コストが低下するという、いわゆる習熟効果を扱うのが典型例である²⁾。コストの低下と累積生産量の増加との関係式としては一般に次の対数線形モデルが用いられ（Wene, 2000）、本論文においてもこの式を利用する。

$$\log C_{\chi,t} = -\lambda_{\chi} \log N_{\chi,t} + \text{Constant}. \quad (2)$$

ここで、 $N_{\chi,t}$ は時点 t までの累積生産量（kW）、 λ_{χ} は過去の累積生産量とコストの推移から推計される習熟係数である。式（2）をグラフに表して観測される曲線のことを、習熟曲線あるいは学習曲線と言う。また、 λ_{χ} から計算される値 $1-2^{-\lambda_{\chi}}$ は生産量倍増に伴うコスト低下率を表し、習熟率あるいは進歩率と呼ばれる。この式（2）は、当初は高コストである技術について、普及のための投資を行うことによってさまざまな形での技術進歩が促され、その結果としてコストが低下することを表現している。

本論文ではさらに、式（1）に示された社会における太陽光発電システムの将来にわたる純コストの割引後総和を最小化するような $I_{\chi,t}$ の推移を導出するにあたり、太陽光発電システムがロジスティック成長曲線に沿って普及すると仮定する。すなわち、太陽光発電システムの普及量 $M_{\chi,t}$ が次の式（3）で表されるロジスティック成長曲線に沿って伸びるとし、伸びの速さを定めるパラメータ γ_{χ} の最適値を求めることでまず $M_{\chi,t}$ を導出する。

$$M_{\chi,t} = \frac{K_{\chi}}{1 + (F_{\chi,0}^{-1} - 1)e^{-\gamma_{\chi}(t-t_0)}}. \quad (3)$$

ここで、 K_{χ} は技術の潜在普及可能容量、 $F_{\chi,0}$ は検討初年度における潜在的消費者の技術導入受容割合であり、次式で与えられる。

$$F_{\chi,0} = \frac{M_{\chi,t_0}}{K_{\chi}}. \quad (4)$$

その上で、 $M_{\chi,t}$ と各年の導入量 $I_{\chi,t}$ およびストック減耗率 δ_{χ} （年⁻¹）とを関係づける次の式により $I_{\chi,t}$ を算出する。

$$M_{\chi,t+1} = (1 - \delta_{\chi})M_{\chi,t} + I_{\chi,t+1}. \quad (5)$$

太陽光発電システムの普及過程をロジスティック曲線で表すことにしたのは、この曲線が新技術の普及過程としてよく現実を表していることが実証的に示されていることに加えて（Mansfield, 1961）、習熟効果を考慮する場合には解くべき数理計画問題が非凸問題となり（Messner, 1997）、普及過程としてこの種の関数形を与えなければ大域最適解を得るのが極めて難しくなるという実用的な理由による（Barker et al., 2006; 畠瀬, 2007）。

2. 2010年度までの実績データに基づく分析

(1) 分析のためのデータ設定

上に示した分析手法を我が国の太陽光発電の普及分析に適用するために、1994年度から2010年度までの17年分の実績データを文献調査により収集した。1994年度は住宅用太陽光発電システムの設置補助金制度が開始された年であり、これ以降、導入量やシステムコストの統計データが比較的良好に整備・公表されている。データ分析は住宅用と非住宅用の2つに分けて行うことを原則としたが、システムコストは用途別のデータが十分に得られないため、ここでは用途によらず共通であると想定した。また、太陽電池モジュールが世界市場で取引されることに鑑みると、習熟効果の計測にあたっては世界全体の生産量を分析対象とすべきとも考えられるが、1994年度からの17年間に於いて我が国は世界有数の太陽電池モジュール生産国であり、国内で導入されたモジュールのほぼ全てが国産品であったことや、太陽光発電システムコストの4割近くを占めるとされるモジュール以外の付属品や設置工事の市場は基本的には国内に限られることから（新エネルギー財団, 2008）、本論文では世界生産量の代わりに日本国内での導入量を分析に用いる。

文献調査に基づいて設定した分析用のデータを、表1および図1に示す。金額データはすべて、内閣府経済社会総合研究所（2011）が示しているGDPデフレーターにより2010年実質価格に換算している。

表 1 太陽光発電の最適普及経路に関する分析にあたって用いたデータ設定

項目	設定値
太陽光発電システム設備利用率 (%)	12
太陽光発電システム潜在導入可能量 (GW)	住宅用：112、非住宅用：149
太陽光発電システムストック減耗率 (%/年)	3
太陽光発電電力の固定価格買取期間 (年)	10
系統電源燃料費 (2010 年度) (円 /kWh)	8.5
系統電源燃料費上昇率 (%/年)	2
割引率 (%/年)	3
系統安定化コスト (円 /kWh)	6.91 (V2G 利用なし)、2.08 (V2G 利用あり)

(注) 住宅用と非住宅用との区別のないものは、用途によらず共通したデータとして扱っていることを示す。

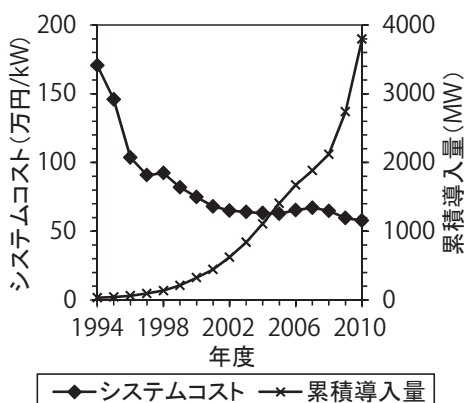
太陽光発電システムの国内導入量の実績は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO, 2004) および太陽光発電協会 (2011a) による。システムコストは平均的なシステム価格として NEDO (2004)、新エネルギー導入促進協議会 (2009) および太陽光発電普及拡大センター (2011a; 2011b) が示しているものを用いた。太陽光発電システムの設備利用率は 12% とし、潜在導入可能量は、住宅用で 112 GW (低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討会, 2009)、非住宅用では 149 GW (エックス都市研究所ほか, 2011) とした。

太陽光発電の導入により回避される系統電源のコストは、低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討会 (2009) の検討と同様に液化天然ガスを燃料とする火力発電の燃料費分であるとし、同検討会による燃料価格上昇時の仮定にほぼ相当するように今後年率 2% で上昇するとした。一方、太陽光発電の普及に伴って必要となる系統安定化コストは、2030 年度に太陽光発電が 79 GW まで導入された場合に必要となる費用として同研究会が推計している 3.56 兆円 (うち 2.49 兆円

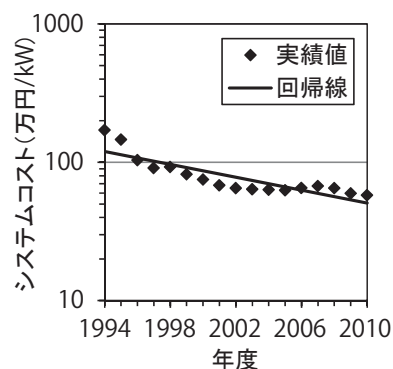
は電力需要家側の蓄電池設置費用) をもとに想定した。電気自動車 (プラグインハイブリッド車を含む) が将来普及する場合には、電気自動車の駐車時に車載蓄電池を電力系統に接続して充放電を行う Vehicle to Grid (V2G) 技術を利用することによって系統安定化に貢献でき、電力需要家側での追加的な蓄電池の設置が不要となる可能性が指摘されていることから (堀、金田, 2010)、V2G 技術が利用される場合と利用されない場合の 2 通りを考えることにした。

図 1 (b) および (c) には、図 1 (a) に示した太陽光発電システムのコストと累積導入量の実績値に基づき、時間の経過に伴うコストの低下と、累積導入量の増加に伴うコストの低下の様子 (習熟曲線) を示している。前者について回帰分析を行った結果、平均年率 5.21% (95% 信頼区間 4.44% ~ 5.98%) でコストが低下していると推計された。後者に関する式 (2) に基づく回帰分析では、式 (2) 中のパラメータ $\lambda (= \lambda_x)$ の値が 0.188 (95% 信頼区間 0.142 ~ 0.233)、習熟率換算で 12.2% (95% 信頼区間 9.3% ~ 14.9%) との推計結果が得られた。

(a) システムコストと累積導入量



(b) コスト低下曲線



(c) 習熟曲線

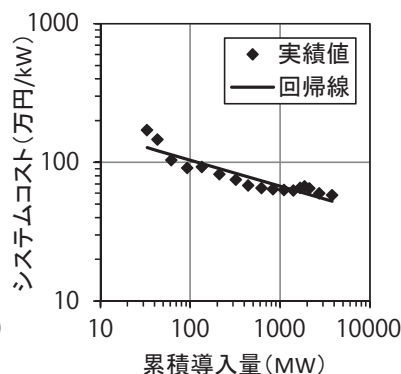


図 1 PV システムコストと累積導入量に関する分析

(2) 分析結果

以上のデータ想定に基づき、次の4ケースについて将来の太陽光発電の望ましい普及経路を計算する。

- ・「習熟非考慮・V2G 利用あり」ケース
- ・「習熟考慮・V2G 利用あり」ケース
- ・「習熟非考慮・V2G 利用なし」ケース
- ・「習熟考慮・V2G 利用なし」ケース

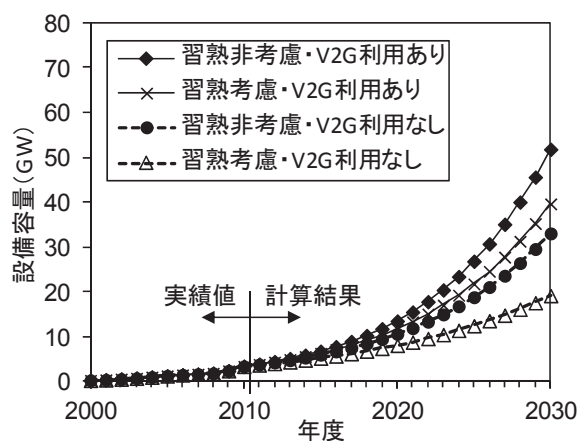
習熟非考慮と称するケースでは、太陽光発電コストがこれまでの実績に従い年率5.21%で今後も低下すると仮定し、習熟考慮のケースでは、太陽光発電コストは習熟率12.2%の習熟曲線に沿って、今後の累積導入量の増加に依存して低下すると考える。計算にあたっては、前者ではⅡ-1節で示した式(1)～式(5)のうち式(2)を除いた4つの式を用いる一方、後者ではすべての式を利用することとし、式(2)において λ の値を上で得られた0.188として与えるとともに2010年度のコストと累積導入量実績に合致するように定数項を調整した上で、将来の太陽光発電システムコスト推計に用いる。V2G利用ありとなしのケースについては、太陽光発電の導入により必要となる系統安定化コストとして表1に示したようにそれぞれ異なる想定を用いる。

各ケースについて計算した結果得られた2011年度以降の太陽光発電の最適普及量を図2に示す。普及量は住宅用・非住宅用別に計算されるが、ここではその合計値のみを示す。また、超長期的な視点からの最適解を得るために計算上は式(1)の T を2200年度としているが、計算結果のうち2030年度までのものを抜粋して示している。

図2(a)から分かるように、将来の最適普及量はケースによって大きく差があり、2030年度の普及量で見ると19.2GW（習熟考慮・V2G利用なし）から51.8GW（習熟非考慮・V2G利用あり）までの幅が生じた。ケース間の差について詳しくみると、V2G利用ありとなしのケースでは前者において、より多く導入するのが望ましいと計算された。これは、他の条件が同じであればV2G利用ありの方が、太陽光発電の純コストを計算する際にシステムコストから差し引かれる式(1)中の $u_t - s_t$ の項の値が大きくなるからである。

習熟非考慮と習熟考慮のケースでは、前者の方が最適普及量が大きいとの計算結果が得られた。この理由を説明するために、図2(b)には太陽光発電の普及に伴い必要となる系統安定化対策費用 s_t の値を変化させた場合の最適普及量の2030年度断面の値を示す。習熟非考慮ケースでは、太陽光発電システムコスト C_t とそこから差し引かれるコストである $u_t - s_t$ の時間推移はいずれも外生条件として定まっており、太陽光発電システムの純コストが正から負へと逆転する時期は、これらの2つの検討初期時点でのコスト想定差に対して単純に概ね線形的に変化する。一方、習熟考慮ケースでは、 $u_t - s_t$ の値が外生的に定まる一方で、 C_t の値は累積導入量により内生的に決まり、それに依りて純コストが正から負へと転じる時期が定まる。したがって、動学的な純コスト最小化の観点からは、検討初期時点での C_t から計算される発電量あたりの太陽光発電コストが $u_t - s_t$ の想定値と比べて非常に大きい場合には、たとえ導入を早期に推進したとしても純コストが負に転じる時期が相当先

(a) 普及経路



(b) 2030年度断面での最適普及量

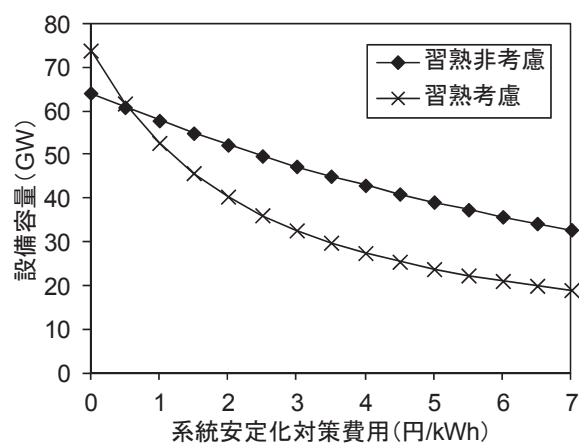


図2 2010年度末までの情報に基づく2011年度以降の最適普及量

にならざるを得ないので、純コストを減らすために必要とされる太陽光発電システムの導入累積投資費用が過大にならないように、 $u_t - s_t$ の値が時間とともにある程度まで上昇するのを待ってから本格的に導入を増やすのが望ましいことになる。逆に、 $u_t - s_t$ の想定値が初期時点から比較的大きければ純コストを短期間で負に転じさせる見通しがつくので、むしろ早期に導入を推進することで導入投資費用を小さくすることができる。以上のことから、 s_t の想定値の変化が最適な普及規模に与える影響は非線形的となる。図2 (b) から分かるように、 s_t の想定値が仮に0.5円/kWh以下であれば習熟非考慮よりも習熟考慮のケースにおいて導入をより迅速に行うのが望ましいが³⁾、ここで想定した s_t の値のもとでは習熟非考慮ケースの最適普及量の方が大きいと計算された。

Ⅲ. 太陽光発電電力の固定買取価格に関する分析

1. シナリオ設定と2012年度以降の太陽光発電システム最適導入量

太陽光発電システムを普及させるための経済的措置である電力固定価格買取制度において、買取価格の設定は、太陽光発電システムの導入量が前節で示した最適普及経路に沿うように定めるべきである。前節では2010年度までの情報に基づいて2011年度以降の最適普及経路を導出したが、本論文の執筆時点(2011年12月)において2011年度の買取価格は既に定まっており、年度末までの太陽光発電システムの普及動向についても見通しが明らかになりつつある。そこで本節では分析時点

を1年先に進めて、いくつかのシナリオ設定のもとで2012年度以降の太陽光発電システムの最適導入量を計算し、それを実現するために設定すべき電力買取価格の水準を導出することにする。

前節では生産習熟の考慮やV2G技術の利用に関して合計4つのケースを考えたが、本節では議論が煩雑になるのを避けるため、習熟考慮・V2G利用ありのケースだけを扱うことにする。このケースは、技術進歩が自然に進むのではなく投資によって人為的に進展するという尤らしい考えに基づくものであり、また、将来のプラグインハイブリッド車を含む電気自動車の普及とV2G技術の進展を見込んだものである。

シナリオとしては、表2に示すように、2011年度末に観測される太陽光発電システムのコストとして2通りを設定した。住宅用の2011年4～9月の間の販売容量が2010年度の同時期までのものと同程度以上であることから⁴⁾、この1年間で余剰電力買取価格が48円/kWhから42円/kWhに低下したにも関わらず投資回収年数はあまり変化していないであろうと推測し、2011年度の単純投資回収年数が前年度比で±5% (13.1～14.5年)の幅に収まると仮定して、2011年度の太陽光発電システムコストを2010年度の7%減(シナリオ1)あるいは12%減(シナリオ2)と想定した⁵⁾。2011年度の太陽光発電システム導入量はまだ分からないが、2011年度前半の実績データに基づき、いずれのシナリオでも年度末までに住宅用で1.1GW、非住宅用で120MWが導入されると想定した。

さらに、それぞれのシナリオについて2012年度に観測されるであろう太陽光発電のシステムコストと2012年度の導入量として2通りずつの合計4シナリオ(シナ

表2 2012年度以降の最適導入量の分析に関するシナリオ設定

シナリオ	2011年度コスト (万円/kW)	2012年度コスト (万円/kW)	2012年度導入量 (GW/年)	
			住宅用	非住宅用
1	53.75 (-7%)	52.14 (-3%)		
1-1L			1.1	0.12
1-1H			2.2	0.24
1-2L			1.1	0.12
1-2H			2.2	0.24
2	50.86 (-12%)	49.34 (-3%)		
2-1L			1.1	0.12
2-1H			2.2	0.24
2-2L			1.1	0.12
2-2H			2.2	0.24

(注) 括弧内のパーセント値は、前年度からの変化率を示す。

リオ1に対してシナリオ1-1L～1-2Hの4つ、シナリオ2に対してシナリオ2-1L～シナリオ2-2Hの4つ)、すべて合わせて8つのシナリオを設定した。コストについては、過去の傾向を参考にして、2011年度から2012年度にかけての低下率が3%の場合と9%の場合を想定し、2012年度の導入量としては、2011年度と同じあるいは2倍に増加するという極端な場合を考えた。

以上のシナリオとして追加的に与えられた2011年度と2012年度の太陽光発電のシステムコストおよび導入量の情報に基づいて、習熟効果を表すパラメータ λ の再推計と式(2)の定数項の再調整を行い、太陽光発電の2012年度以降(シナリオ1、2)あるいは2013年度以降(シナリオ1-1L～2-2H)の最適普及経路を定めるパラメータ γ_x の最適値の再推計を行った。その結果を表3に示す。表から分かるように、太陽光発電システムコストが大きく低下すると想定したシナリオ(例えばシナリオ2)の方が、そうでないシナリオ(例えばシナリオ1)と比べて、再推計後の λ と γ_x の値が大きくなる、つまり、将来の太陽光発電システムのコストがより大きく低下すると見積られることになり、それに伴って最適な導入ペースが上方修正される。図3には各シナリオに対して導出された太陽光発電システムの最適普及量の2030年度断面の値を示すが、例えばシナリオ1-1Hとシナリ

オ2-2Lとでは最適普及量に1.7倍以上の開きが生じることが分かる。このことは、将来の最適な太陽光発電システムの普及経路が今後1～2年のコストの推移によって大きく異なりうることを示しており、毎年観測される太陽光発電システムのコストの情報に従って将来目指すべき普及量を見直すことが望まれることを示唆している。

2. 2012年度以降に設定すべき太陽光発電電力固定買取価格

次に、上述のそれぞれのシナリオに対して得られた2012年度以降の太陽光発電システムの最適導入量を実現するために設定すべき太陽光発電電力固定買取価格の推計を試みる。そのためには、買取価格の設定水準が消費者の太陽光発電システムの購入意思に及ぼす影響を推定しなければならない。ここでは、米国エネルギー省エネルギー情報局による国家エネルギーモデルの開発を参考にして(DOE/EIA, 2004)、太陽光発電システムの単純投資回収年数に対する消費者のシステム導入受容度合いを表す投資回収年数受容曲線をこれまでに観測されたデータにより推定し、その曲線が将来にも適用できると仮定する。具体的には、低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討会(2009)での想

表3 シナリオ別の分析結果

(a) 2012年度に対する分析(シナリオ1、2)

シナリオ	パラメータ推定値(再推計後)					2012年度推計値					
	λ	γ_R	γ_N	a_R	a_N	最適導入量 (MW/年)	システムコスト (万円/kW)	必要な投資回収年数 (年)		推奨買取価格 (円/kWh)	
								住宅用	非住宅用	住宅用	非住宅用
1	0.184	0.115	0.176	0.273	0.103	715	52.5	14.1	30.1	41.1	19.5
2	0.186	0.128	0.195	0.266	0.112	784	49.5	12.8	28.2	41.2	19.5

(b) 2013年度に対する分析(シナリオ1-1L～2-2H)

シナリオ	パラメータ推定値(再推計後)					2013年度推計値					
	λ	γ_R	γ_N	a_R	a_N	最適導入量 (MW/年)	システムコスト (万円/kW)	必要な投資回収年数 (年)		推奨買取価格 (円/kWh)	
								住宅用	非住宅用	住宅用	非住宅用
1-1L	0.180	0.109	0.173	0.273	0.101	845	51.0	13.6	27.9	40.2	21.0
1-1H	0.178	0.099	0.160	0.276	0.101	938	51.1	13.6	28.0	40.2	20.9
1-2L	0.183	0.124	0.195	0.267	0.108	939	47.7	12.1	25.8	40.4	21.2
1-2H	0.181	0.111	0.179	0.271	0.109	1034	47.8	12.2	25.9	40.4	21.0
2-1L	0.185	0.123	0.194	0.263	0.116	937	48.1	12.3	26.2	40.4	20.9
2-1H	0.183	0.111	0.179	0.266	0.116	1031	48.2	12.4	26.3	40.4	20.8
2-2L	0.188	0.141	0.222	0.257	0.120	1056	44.9	10.9	24.1	40.6	21.2
2-2H	0.187	0.126	0.203	0.261	0.122	1152	45.1	11.0	24.2	40.5	21.0

(注) 最適導入量は、住宅用と非住宅用の合計値を示している。

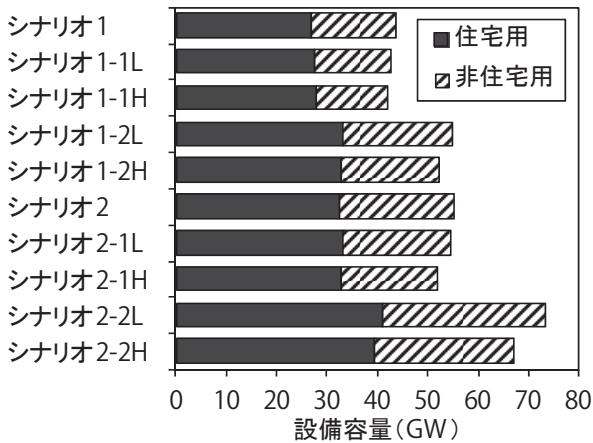


図3 シナリオ別の2030年度断面での最適普及量

定と同様に、潜在的消費者の技術導入受容割合 $F_{\chi,t}$ が、次の式 (6) のように、 $Y_{\chi,t}$ で表される単純投資回収年数に関する指数関数によって説明されるとし、この関数中のパラメータ α_{χ} の値を回帰分析によって推定する。

$$F_{\chi,t} = \frac{M_{\chi,t}}{K_{\chi}} \propto e^{-\alpha_{\chi} Y_{\chi,t}} \quad (6)$$

消費者側からみた太陽光発電システムの単純投資回収年数を求めるためには、太陽光発電システムコストに加えて、システム設置者が得ると見積もってきた収益の推計値が必要であり、そのために過去の設置補助金額、発電電力余剰分の電力会社による買取価格、および系統から購入する電力料金の情報を収集した。これまでの補助金額は NEDO (2004; 2008a; 2008b)、太陽光発電協会 (2009; 2010) および新エネルギー導入促進協議会 (2011) をもとに推計した。余剰電力は、2009年度の「太陽光発電の新たな買取制度」導入以降は資源エネルギー庁 (2011a) による設定価格で、それ以前は、住宅用、非住宅用についてそれぞれ電灯総合単価および電力総合単価 (EDMC, 2011) と同じ価格で買い取られたものとした。余剰電力比率は住宅用についてはこれまでの実績値 (資源エネルギー庁, 2010) を参考に 55% とし、非住宅用については余剰電力比率が 1 ~ 2 割程度とされることから (資源エネルギー庁, 2011b) 中間をとって 15% と想定した。これらの想定データをまとめたものを表 4 に示す。

図 4 に、2010 年度までの情報に基づいて推定された投資回収年数受容曲線を示す。ここで、住宅用については II 節と同様に 1994 年度以降のデータに基づき、非住宅用については新エネルギー等事業者支援対策事業と

表 4 太陽光発電電力固定買取価格の推計にあたっての前提条件

項目		設定値
太陽光発電システムの余剰電力比率 (%)		住宅用：55、 非住宅用：15
太陽光発電電力の固定価格買取期間 (年)		10
太陽光発電システム設置補助金 (万円/kW)		住宅用：8.8、 非住宅用：0
系統電力単価 (円/kWh)	2012 年度	住宅用：22.1、 非住宅用：15.1
	2013 年度	住宅用：22.2、 非住宅用：15.3

(注) 太陽光発電システム設置補助金は、国からと地方自治体からの合計額を示す。国からの分は 2011 年度新規採択額、地方自治体からの分は 2010 年度実績平均額を参照して想定した (資源エネルギー庁, 2011c)。

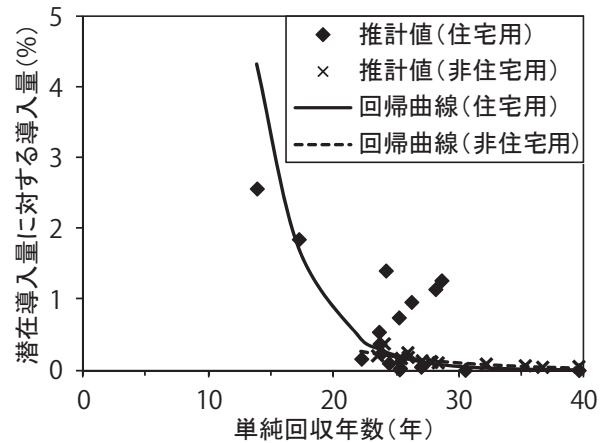


図 4 2010 年度末までの情報に基づく投資回収年数受容曲線

して支援が本格化した 1997 年度以降のデータに基づいてそれぞれ回帰分析を行うことにより曲線を推定した。式 (6) 中のパラメータの値は、 $\alpha_R = 0.273$ (住宅用) および $\alpha_N = 0.116$ (非住宅用) と推定された。

時間の経過に伴って太陽光発電システムコストと導入量に関する新たな情報が観測されると、投資回収年数受容曲線を表すパラメータ α_{χ} の値は更新される。例えば、表 3 (a) には、2011 年度の太陽光発電システムのコスト、電力料金および導入補助金の想定と固定買取価格から推計される単純投資回収年数と、想定した導入量のデータが追加されるに伴い、再度回帰分析を行って得られた α_{χ} の推定値がシナリオ別に示されている。

各シナリオに対してパラメータ調整された式 (6) の投資回収年数受容曲線と、先に導出したシナリオ別の将来の最適導入量から、2012年度（シナリオ1、2）あるいは2013年度（シナリオ1-1L～2-2H）に達成すべき太陽光発電システムの投資回収年数が推計される。例えば、表3(a)に示すように、シナリオ1では投資回収年数を住宅用で14.1年、非住宅用で30.1年にするような措置が必要と推定されるのに対して、より多く導入するのが望まれるシナリオ2ではシナリオ1よりも投資回収年数を短縮すべきと推定されている。

最後に、上で推計された投資回収年数を実現するために設定すべき固定買取価格を算出する。算出にあたっては、固定価格買取期間を太陽光発電システムの設置から10年間とし、買取期間終了後には住宅用、非住宅用についてそれぞれ電灯総合単価および電力総合単価と同じ価格で余剰電力分が買い取られるとした。これらの電力料金の将来の値は、電力の小売部分自由化後の2000年度から2009年度の間の実績データから求めたLNG輸入価格と電力料金との関係（EDMC, 2011）と、本論文で想定している系統電源燃料費の上昇率（表1参照）に基づき設定した。電力固定価格買取の対象は、住宅用は従来と同様に余剰電力、非住宅用については発電電力全量とした。太陽光発電システムの導入容量あたりの設置補助金は2011年度の水準が当面保たれると仮定した。

表3には、各シナリオにおいて設定されるべき固定買取価格の推奨値の推計結果も示している。表3(a)から分かるように、2012年度に設定が推奨される買取価格についてシナリオ1とシナリオ2の間の差はほとんどなく、住宅用（余剰電力買取）で41.1～41.2円/kWh、非住宅用（電力全量買取）で19.5円/kWhに設定するのが望ましいと推計された。さらに、シナリオ1-1L～2-2Hについての結果を示した表3(b)をみてもシナリオ間の差は小さく、2013年度の推奨買取価格は住宅用で40.2～40.6円/kWh、非住宅用で20.8～21.2円/kWhと推計されている。すなわち、向こう2年間程度は太陽光発電システムコストや普及の動向に依らず、買取価格を住宅用で40～41円/kWh程度、非住宅用で20～21円/kWh程度に設定することが推奨される。

IV. 考察

1. 分析結果の解釈

表3に示した太陽光発電電力の推奨買取価格の計算結果をシナリオ間で比較すると、2011年度の太陽光発電システムコスト想定値がシナリオ1に比べて低いシナリオ2の方が、わずかではあるが2012年度の推奨買取価格が高くなっている。シナリオ1-1L～2-2Hの間の2013年度の推奨買取価格を比較しても、同様の傾向がみられる。さらに、非住宅用の買取価格に注目すると、2012年度のコストが2011年度よりも低くなると想定しているにも関わらず、買取価格は2012年度から2013年度にかけて高くすることが推奨されている。太陽光発電システムのコストが低くなればなるほど経済的支援の水準を低くしようとするのが一般的な考え方であると思われるが、本論文での推計結果は、それとは逆のことを示している。

この結果は、次のように解釈することができる。前節で示したように、新たに観測される太陽光発電システムコストの値が低いと想定すれば、そうでない場合と比べて習熟係数 λ の推定値は大きくなる、つまり、導入の進展に伴うコスト低下効果がより大きいと見積もられることになる。その結果、パラメータ γ_x の推定値も増大する、すなわち、より速いペースでの導入が経済的に最適となるので、普及を加速するために、消費者にとっての単純投資回収年数をより短くするような支援が推奨される。従って、買取価格を高く設定するのがよいことになる。逆の見方をすれば、太陽光発電システムのコスト低下があまりみられない場合には導入のペースを速めることが経済的に好ましいとはいえず、買取価格を高くするのが必ずしもよいとはいえない。

もちろん、太陽光発電システムコストと導入量の推移が推奨買取価格の推計に具体的にどう影響するかは、想定されるコストと導入量の絶対値や、投資回収年数受容曲線の形状を定めるパラメータ α_x の推計値に依存する。本論文で設定したシナリオでは上記のような推奨買取価格が導出されたが、コストが低く推移する場合の方が常に高い推奨買取価格を導出すると一般的に言えるわけではないことに留意されたい。

なお、前節の分析では、非住宅用の推奨買取価格が2012年度よりも2013年度の方が高い値となったが、この結果に従って、太陽光発電システムコストが低下する

にもかかわらず導入支援を厚くすることを許容すると、2012年度において太陽光発電システムの買い控えが生じる恐れがある。よって、買取価格は2012年度と2013年度で同じ値とするか、あるいは2013年度に買取価格を上方改定する場合でも、2012年度にシステムを購入した消費者に対して2013年度からは改定後の買取価格を適用するといった措置を採るのが現実的であろう。

2. 前提条件データが分析結果に与える影響

前節までに実施した分析はさまざまな前提条件データの設定のもとで行われたものであり、データ設定が変化すれば、結果として得られる推奨固定買取の推計値も当然異なる。ここでは、いくつかの重要な前提条件が分析結果に与える影響について定性的に述べる。

本論文での分析の特徴の1つは、太陽光発電システムの純コストの将来にわたる総和を最小とするように将来普及目標を定めることである。この純コスト想定 の計算結果について詳しくみると、例えばII-2節で示した分析において、習熟考慮・V2G利用ありのケースで純コストが単年度ベースで負に転じるのは、系統電源の燃料費相当分 u_t が18.8円/kWhにまで上昇し、それから系統安定化コスト $s_t = 2.08$ 円/kWhを差し引いたものが太陽光発電コストとほぼ同水準になる2050年度以降となった。したがって、化石燃料のコスト想定の高低が各年の純コストに大きな影響を及ぼし、結果的に太陽光発電導入の将来目標値、ひいては設定すべき電力買取価格の値を大きく左右する。

ここで行った分析のように長期にわたる動学的な最適化を扱う場合には、割引率の想定も結果に大きな影響を及ぼす。割引率を高く設定すると、太陽光発電システムの純コストが遠い将来に負になることによる便益が小さく評価され、近い将来での高い純コストが相対的に強調されることになるので、太陽光発電の普及を遅らせるのが望ましい結果となる。割引率を低く設定すれば、その逆の結果となる。また、本分析では純コストの計算対象期間を十分に長くとったが、これを例えば数十年程度に短くしてしまうと対象期間内において純コストが負に転じるだけの時間が確保できないことから、太陽光発電システムを普及させないのが最適であるとの解が得られうる。

さらに、前節の分析では太陽光発電システムの設置に対する設備容量当たりの補助金額が2011年度以降一定

であると想定したが、公的支出抑制のため設置補助金の水準が低く設定されることになれば、望ましい普及目標の実現に必要と見積られる投資回収年数の水準を維持するために、買取価格の推奨値を上方修正すべきことになる。

3. 分析方法に関する課題

本論文で適用した分析方法に基づく固定買取価格の決定手順を整理すると、以下の7つのステップからなる。

- ・ステップ1：太陽光発電システムの導入量、導入コストおよび導入のための経済的支援措置の水準（設置補助金あるいは電力会社による電力買取に伴い設置者にもたらされる総収益）の直近までの各年度の実績データを得る。
- ・ステップ2：太陽光発電システムの導入量とコストの実績値から、累積導入量とシステムコストとの関係を表す習熟曲線を回帰分析によって推定する（習熟考慮の場合）。
- ・ステップ3：ステップ1と2で得た情報に基づき、将来の太陽光発電システムの最適導入経路を導出する。
- ・ステップ4：実績データに基づき、太陽光発電システムの投資回収年数と導入量との関係を表す投資回収年数受容曲線を、回帰分析によって推定する。
- ・ステップ5：ステップ3で得られた次年度の最適導入量を実現するために達成されるべき投資回収年数を、ステップ4で得られた投資回収年数受容曲線から求める。
- ・ステップ6：上で得られた投資回収年数を達成するために必要な経済的導入支援水準（ここでは固定買取価格）を導出する。
- ・ステップ7：上に従って次年度の経済的支援水準を定め、次年度の末に太陽光発電システムの導入量と導入コストの最新の情報を観測して、再びステップ1以降のプロセスを実施する。

上記の手順を概念図として示すと、図5のようになる。新たに観測される太陽光発電システムのコストと導入量データが異なれば、それに従って望ましい将来普及量も大きく異なりうる、という本論文での知見に鑑みれば、常に最新の情報に基づいて最適な経済的導入支援の水準を定めることを趣旨とする本手順の重要性が理解できる。

しかしながら、本論文で用いた分析方法にはさまざま

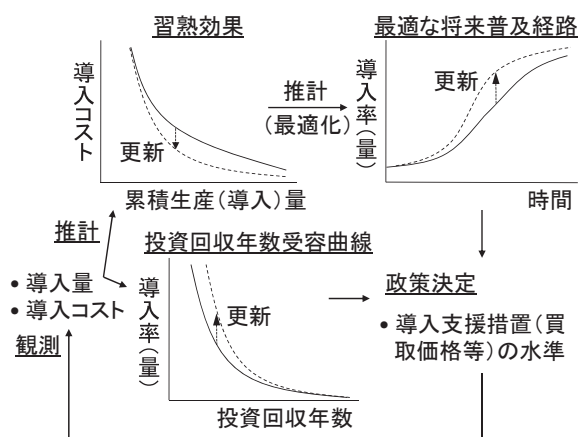


図5 太陽光発電システム導入のための経済的支援水準の決定手順

な改善の余地が存在する。以下に、これらのうち主要と考えられるものを今後の課題として列挙しておく。

- ・本論文では、消費者の選好を投資回収年数受容曲線として表したが、同じ投資回収年数でも、太陽光発電システム導入支援の仕方によって消費者の導入意思が異なることが指摘されている（吉田ほか, 2008）。支援方策の違いが消費者の導入選好に与える影響を明示的に考慮できるような拡張が期待される。
- ・太陽光発電システム導入の純コストの計算にあたって、設置補助金や固定価格買取といった経済的導入支援が社会全体に及ぼす影響は差し引きで0であると考えたが⁶⁾、導入支援に伴って各種産業での生産が誘発されると見積もられることから、その経済的効果を加味した分析を行うことが望まれる。
- ・太陽光発電システムの将来普及経路がロジスティック成長曲線に沿うとしたが、これは必須の仮定ではなく、便宜的に設定したものである。このような仮定を置かず、より純コストを小さくするような将来普及経路を求めることが望ましい。
- ・太陽光発電システムコストの習熟曲線や、投資回収年数受容曲線を定めるパラメータの値として、本論文では点推定値を計算・利用するにとどめたが、推定値は確率分布として得ることができることを考慮し、分析の確率論的拡張を検討する余地がある。
- ・上記に関連して、時間の経過によりパラメータの推定精度が高まる、すなわち信頼区間の幅が狭まる可能性がある。Kelly and Kolstad (1999) が気候感度に関する知見の不確実性を縮小するという観点を加味した最適気候政策の動的検討を行った例などを参考に、

経済的導入支援水準の動的な最適制御を行う可能性についても検討に値しよう。

V. おわりに

本論文では、太陽光発電システムの将来の普及目標量の推移を長期的な費用最小化の観点から定めるべきとの考えのもと、さまざまなシナリオのもとで、目指すべき望ましい太陽光発電システム普及量と、その達成のために近未来に設定すべき太陽光発電電力買取価格の推奨値を導出した。得られた主な知見を総括すると、次の通りである。

- ・太陽光発電システムを大量に導入する場合には、系統安定化のために蓄電池設置等の追加的な費用が必要になる。太陽光発電の普及促進が経済的に望ましいものとなるためには、プラグインハイブリッド車を含む電気自動車を電力系統に接続する V2G 技術の普及を並行して進めることによって、系統安定化に必要な追加的費用を節減することが必要である。
- ・太陽光発電システムコストの最新の観測値によって将来の最適普及量は大きく異なりうることから、太陽光発電の普及政策は毎年のコストの変化に即応して更新することが望ましい。
- ・太陽光発電システムのコストが年度の進行とともに順調に低下する場合は、技術の習熟効果が上方修正され、普及ペースを速めるのが経済的に望ましくなるので、太陽光発電電力買取価格を低くするのではなくむしろ高くするのが望ましいと計算されることがある。
- ・2013年度までの近未来に関しては、補助金額が2011年度の水準から変わらなければ、太陽光発電システムの2012年度までのコストの推移に依らず、買取価格を住宅用（余剰電力買取）で40～41円/kWh程度、非住宅用（電力全量買取）で20～21円/kWh程度に設定することが推奨される。

本論文で採用した分析方法にはなお改良の余地が残されているが、本論文での議論が太陽光発電などの新エネルギー技術の導入支援政策の検討にあたっての参考になれば幸いである。

注

- 1) これらの発電コスト目標は、NEDO (2009) の太陽光発電ロードマップに掲げられている目標と同じである。

- 2) このほかにも、コストの低下要因を普及による習熟効果だけではなく研究開発投資により誘発される技術革新に求め、研究開発投資額を内生変数として扱う方法がある。
- 3) 習熟考慮ケースで太陽光発電電力量あたりの系統安定化コスト $s_t = 0$ とした場合の2030年度における最適普及量は73.9GWとなり、低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討会(2009)が推奨する普及量である79GWに近い値となる。
- 4) 太陽光発電協会(2011b)によれば、2011年4~9月の間の国内出荷量は住宅用で544MW、非住宅用で62MWである。
- 5) 投資回収年数の計算条件についてはⅢ-2節で述べられるが、参考までに、2010年度設置の太陽光発電システムの単純投資回収年数は、住宅用で13.8年、非住宅用で24.1年であったと見積もられる。2011年度の単純投資回収年数の推計値は、シナリオ1、2のそれぞれに対して住宅用で14.5年、13.2年、非住宅用で31.8年、30.0年となる。非住宅用については新規設置システムに対する補助金が2010年度を最後に打ち切られた影響で、単純投資回収年数が大幅に長期化している。
- 6) 太陽光発電システムの設置補助金についてはその財源たる税を納める者が、固定価格買取に要する費用については電気料金を支払う者がそれぞれ負担するコストとなる一方、その負担分は太陽光発電システム設置者に利益として還元されるので、社会全体での差し引きのコストは、補助金分配等に要する行政コストを除けば0であると解釈することができる(低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討会, 2009)。

参考文献・資料

- Barker, T., Pan, H., Köhler, J., Warren, R., Winne, S. (2006) "Decarbonizing the global economy with induced technological change: scenarios to 2100 using E3MG," *The Energy Journal*, Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilisation Special Issue, pp.241-258.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S., von Stechow, C. (Eds.) (2011) *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, Cambridge University Press.
- Kelly, D. L., Kolstad, C. D. (1999) "Bayesian learning, growth, and pollution," *Journal of Economic Dynamics and Control*, 23 (4), pp.491-518.
- Mansfield, E. (1961) "Technical change and the rate of imitation," *Econometrica*, 29 (4), pp.741-766.
- Messner, S. (1997) "Endogenized technological learning in an energy systems model," *Journal of Evolutionary Economics*, 7 (3), pp.291-313.
- U.S. Department of Energy (DOE) /Energy Information Administration (EIA) (2004) *The Electricity Market Module of the National Energy Modeling System: Model Documentation Report*, DOE/EIA-M06, <http://iranenergy.org.ir/statistic/info/energy/models/03.pdf>. (2011年5月9日アクセス)
- Wene, C.-O. (2000) *Experience Curves for Energy Technology Policy*, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- 朝野賢司(2011)『再生可能エネルギー政策論』エネルギーフォーラム.
- エックス都市研究所、アジア航測、パシフィックコンサルタンツ、伊藤忠テクノソリューションズ(2011)『平成22年度環境省委託事業「再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」報告書』、<http://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/>. (2011年4月26日アクセス)
- 資源エネルギー庁(2010)「再生可能エネルギーの全量買取制度の導入に向けた検討について」再生可能エネルギーの全量買取に関するプロジェクトチーム(第4回)配付資料1、<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100324a03j.pdf>. (2011年4月20日アクセス)
- 資源エネルギー庁(2011a)「買取制度の概要」、http://www.enecho.meti.go.jp/kaitori/2011april_kaisetsu.pdf. (2011年4月20日アクセス)
- 資源エネルギー庁(2011b)総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会・電気事業分科会第13回買取制度小委員会議事録、http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004601/013_gjjiroku.pdf. (2011年4月20日アクセス)
- 資源エネルギー庁(2011c)「平成23年度における太陽光発電促進付加金単価及び太陽光発電買取価格等について」総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会・電気事業分科会買取制度小委員会(第13回)配付資料2、http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004601/013_02_00.pdf. (2011年4月20日アクセス)
- 新エネルギー財団(2008)「平成19年度住宅用太陽光発電システム価格及び発電電力量等について」、http://www.solar.nef.or.jp/system/html/taiyou_sys080508.pdf. (2011年11月16日アクセス)
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)(2004)「新エネルギー関連データ集(平成16年度版)」、<http://www.nedo.go.jp/medata/16fy/>. (2010年8月10日アクセス)
- NEDO(2008a)「太陽光発電新技術等フィールドテスト事業」、http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p07018_1.html. (2011年4月11日アクセス)
- NEDO(2008b)「地域新エネルギー導入促進事業」、<http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p98028.html>. (2011年4月11日アクセス)
- NEDO(2009)「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ(PV2030+)」、<http://www.nedo.go.jp/library/pv2030/>. (2011年

- 1月14日アクセス)
- 新エネルギー導入促進協議会（2009）「平成20年度住宅用太陽光発電システム導入状況に関する調査」、<http://www.nepc.or.jp/topics/pdf/0900817.pdf>.（2011年1月14日アクセス）
- 新エネルギー導入促進協議会（2011）「新エネルギー等事業者支援対策事業」、<http://www.nepc.or.jp/jigyuu/>.（2011年4月20日アクセス）
- 総合資源エネルギー調査会需給部会（2009）「長期エネルギー需給見通し（再計算）」、<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g90902a01j.pdf>.（2011年1月14日アクセス）
- 太陽光発電協会（2009）「平成21年度住宅用太陽光発電導入支援対策費補助金申請受付の開始及び説明会のお知らせと概要について」、<http://www.j-pec.or.jp/information/doc/PR20090331WEB.pdf>.（2011年4月20日アクセス）
- 太陽光発電協会（2010）「平成22年度住宅用太陽光発電導入支援対策費補助金申込受付の開始及び説明会のお知らせと概要について」、<http://www.j-pec.or.jp/information/doc/pr20100423.pdf>.（2011年4月20日アクセス）
- 太陽光発電協会（2011a）「日本における太陽電池出荷量の推移」、<http://www.jpea.gr.jp/pdf/qlg2010.pdf>.（2011年6月20日アクセス）
- 太陽光発電協会（2011b）「日本における四半期ごとの太陽電池出荷量の推移」、http://www.jpea.gr.jp/pdf/qlg_cy.pdf.（2011年12月5日アクセス）
- 太陽光発電普及拡大センター（2011a）「平成20・21年度住宅用太陽光発電補助金交付決定件数・設置容量データ」、http://www.j-pec.or.jp/information/doc/pdat_h20-21koufu_20110106sl.pdf.（2011年4月20日アクセス）
- 太陽光発電普及拡大センター（2011b）「平成22年度住宅用太陽光発電補助金交付決定件数・設置容量データ」、http://www.j-pec.or.jp/information/doc/pdat_h22koufu_20110125sl.pdf.（2011年4月20日アクセス）
- 低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討会（2009）『低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策について（提言）』、http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mlt_roadmap/comm/com05_h20a.htm.（2011年1月14日アクセス）
- 内閣府経済社会総合研究所（2011）「四半期別GDP速報」（2011年6月9日公表）、http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/sokuhou/kekka/toukei/qe111_2/def_fy1112.csv.（2011年6月20日アクセス）
- 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット（EDMC）（2011）『EDMC/エネルギー・経済統計要覧（2011年版）』省エネルギーセンター。
- 畠瀬和志（2007）「新エネルギー技術の普及にロジスティック曲線を適用した地球温暖化の動学的最適化モデル」『三田学会雑誌』100（3）、pp.151-164.
- 堀雅夫、金田武司（2010）「プラグイン自動車・電力系統間の双方向電力流通システム—そのコンセプトと効果—」『自動車技術会学術講演会前刷集』52（10）、pp.9-14.
- 吉田好邦、金山真之、松橋隆治（2008）「選好分析による住宅用太陽光発電の普及可能性評価」『日本太陽エネルギー学会誌』34（1）、pp.47-53.