

2015 年度 卒業論文

太陽光発電普及に対する政策効果の分析

慶應義塾大学 経済学部
石橋孝次研究会 第 16 期生

吉野 絢哉

はしがき

大学1年生の時、電力自由化についてサークルで勉強していたこともあり電力市場には興味があった。しかし、サークル時代は自分の主張を裏付けるデータの活用ができず、説得力を出せなかった。そんな中、石橋孝次研究会に入り計量経済学を学び、この手法を用いて何かできないかと考えていた。特に需要関数の推定に関してゼミで勉強し、需要関数を推定することで、どのような要因が需要を決定しているかを明らかにし、将来の需要を予測できることに興味を持った。

電力市場の中でも、太陽光発電の分野は、FIT制度の廃止が検討されており今後の需要にどのような影響を与えるのかを需要関数の推定を用いて分析できるのではないかと考え、太陽光発電に関する論文を執筆することに決めた。研究を進めるにつれてFIT制度の前にRPS制度という再生可能エネルギーの普及政策が施行されていたことが分かった。そこで、私は両制度が太陽光発電の普及にどのような影響を及ぼしたかを比較する論文を執筆したいと考えた。先行研究を探す中で大橋・明城(2009a)の太陽光パネルの普及シミュレーションに沿って、FIT制度とRPS制度のどちらを採用、またはうまく組み合わせれば太陽光パネルの普及を促すことが出来るのかを分析したいと考えた。東日本大震災の影響から、原子力発電の是非が議題に上がることが多くなり、新しい発電源として再生可能エネルギーが注目され始めた。そんな中、エネルギー政策の流れに逆行するように、FIT制度の廃止が検討されている。この廃止が今後の再生可能エネルギー、太陽光発電政策にどのような影響を与えるかを考察し、今後の太陽光発電の普及を促す制度設計を、一般の電力消費者や電力会社の観点からも検討する。

ゼミで取り組んできた計量経済学、産業組織論を活かし、私の最も取り組みたかったテーマである需要関数の推定、そしてそれを用いたシミュレーションができた。サークル時代、データの活用が出来ず説得力がなかなか出せなかった課題を、本論文で高い意欲を持って挑戦することができた。

目次

序章	1
第1章 住宅用太陽光発電の現状分析	2
1.1 FIT 制度の概要	2
1.2 RPS 制度の概要	3
1.3 その他の制度の概要と住宅用太陽光発電の普及状況	4
第2章 住宅用太陽光発電普及政策の効果検証の理論分析	6
2.1 普及政策の存在しない場合の市場均衡(ベンチマーク)	6
2.2 FIT 制度下での市場均衡	8
2.3 RPS 制度下での市場均衡	10
2.4 FIT 制度と RPS 制度の市場均衡の比較	11
2.5 経済厚生とセカンドベスト下での市場均衡の比較	12
2.5.1 ファーストベストの均衡点	12
2.5.2 セカンドベストの均衡点	14
第3章 住宅用太陽光発電普及政策の効果検証の実証分析	17
3.1 FIT 制度の政策効果を分析した先行研究	17
3.2 RPS 制度の政策効果を分析した先行研究	22
第4章 住宅用太陽光パネルの需要関数の推定	26
4.1 需要関数のモデル	26
4.2 利用したデータソース	27
4.3 回帰結果	28
4.4 両制度の比較と総括	33
第5章 住宅用太陽光パネルのシミュレーション分析	34
5.1 シミュレーションに用いる需要関数と仮定	34
5.2 シミュレーション結果	35
5.2.1 FIT 制度のシミュレーション結果	35

5.2.2 RPS 制度のシミュレーション結果	36
5.2.3 FIT 制度と RPS 制度のシミュレーション結果	38
5.3 CO2 削減効果	39
第 6 章 結論	44
参考文献	46

序論

2012年に新たな住宅用太陽光発電に対する普及制度である「固定価格買取制度」が始まった。これにより統計上は太陽光パネルの設置台数を大きく伸ばし普及政策としての効果を大きく示した。以前までに取り組まれてきた普及政策は大きく分けてFIT制度、RPS制度の2つである。本論文ではその2つの政策について比較した理論分析、そして個々の制度の効果を検証した実証分析を行う。そして、2つの政策の効果を需要関数の推定を通して、シミュレーションやCO₂削減効果の観点から政策の効果を分析する。本論文の目的は需要関数の推定を行い、FIT制度やRPS制度の制度設計を変化させることによって、今後の需要がどのように変化するかをシミュレーションし、分析することである。しかし、需要を増加させることだけを考慮して制度設計を変えるだけでなく、一般の電力消費者や電力会社への影響も考慮しながら進めていかなければならない。本論文ではFIT制度やRPS制度が需要の増加だけではなく、どのような相手にどのような影響を及ぼすかも考察しながら分析を行う。再生可能エネルギー政策、特に太陽光発電の分野において、どのような制度設計にすべきかを考察し、今後の展望について分析していく。

第1章では太陽光発電の現状について分析する。FIT制度やRPS制度が太陽光パネルの普及にどのような影響を与えたのかを統計データから分析し、また個々の制度についても分析する。第2章では日引・庫川(2013)の先行研究を参考にして理論の面からFIT制度とRPS制度のどちらが望ましいかを分析する。第3章では住宅用太陽光発電普及に関する実証分析を行った先行研究について紹介する。FIT制度については大橋・明城(2009a)を参考に行っている。この先行研究ではシミュレーションとCO₂削減効果の分析も行っている。RPS制度についてはCarley(2009)を参考に行っている。第4章では実際に太陽光パネルの需要関数の推定を行っている。都道府県別のパネルデータを用いて、3つの需要関数のモデルを仮定して回帰分析を行った。第5章では得られた需要関数を用いて今後の需要がどのように変化していくのかを理論値推定を行い、シミュレーションを行った。シミュレーションの結果を用いて太陽光パネルの普及がどれほどのCO₂削減効果をもたらしたかを分析した。第6章では、分析の結果からどのような結論が得られるかを考察した。

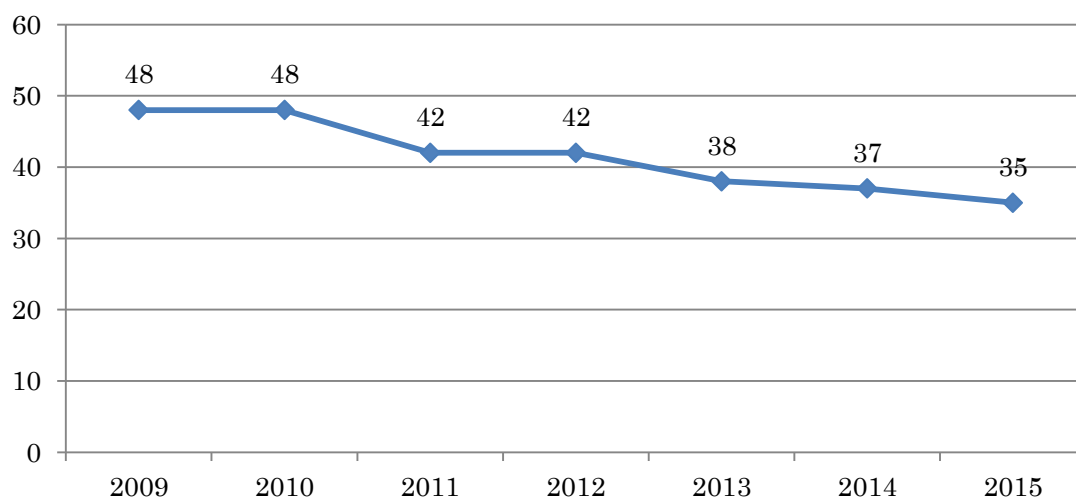
第1章 住宅用太陽光発電の現状分析

再生可能エネルギーの普及を促進するために政府は固定価格買取制度(FIT 制度)や再生可能エネルギー利用割合基準(RPS 制度)、補助金政策などを行ってきた。これらの政策が再生可能エネルギーの普及にどのような影響を与えたのかを分析する。特に住宅用太陽光発電に注目し分析する。本章では FIT 制度や RPS 制度の概要に触れ、普及政策の効果を各種統計の結果から分析する。

1.1 FIT 制度の概要

経済産業省資源エネルギー庁によると、「固定価格買取制度(FIT 制度)とは再生可能エネルギーで発電した電気を電力会社が一定価格で買い取ることを国が約束する制度」と定められている。また、買取価格は高く設定されているため、電力会社に負担がかかる。それを防ぐ為に賦課金という形で一般家庭の電力料金に一定額を上乗せし、集め太陽光発電の買い取りに活用している。対象となる再生可能エネルギーは太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスの 5 つである。住宅用などの 10kW 未満の太陽光パネルの場合は自分で消費した後の余剰の電力が買い取り対象となる。買取価格、買取期間は発電方法、電源の大きさ(kW)に応じて決まっている。住宅用(10kW 未満)の買取価格、買取期間は平成 26 年度では 1kWh あたり 37 円、10 年間となっている。FIT 制度の目的としては発電設備の高い建設コストの回収をサポートし、現在まだコストの高い再生可能エネルギーの導入を支えることである。

図1-1 太陽光発電の買取価格の推移



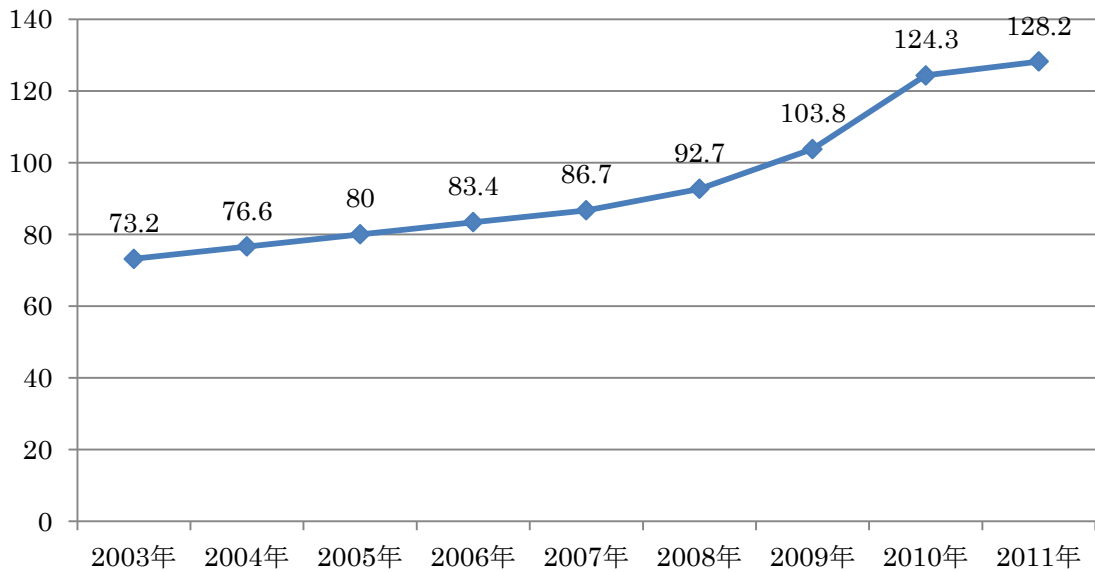
出所：資源エネルギー庁ホームページ

図 1-1 は住宅用太陽光発電の買取価格の推移を表している。FIT 制度は発電設備の導入のコストを早期回収することを目的として始まった政策である。そのため、技術革新や生産コストの削減により発電設備の導入コストが低下した場合、それに合わせて買取価格も低く設定される。そのため図 1-1 で表されているように、買取価格は発電設備の開発コストの削減、成熟に合わせて低下している。ただし注意すべきは、例えば 2012 年に FIT 制度の認定を受けた発電設備については設定された買取期間 10 年間は 1kWh あたり 42 円で買い取ることが約束されており、その後の買取価格が変更されたとしても、42 円が変わらず買い取ることが約束されている。2009 年からのデータが図 1-1 で表されているが、2009 年から余剰電力買取制度が始まっており、現行の固定価格買取制度(FIT 制度)は 2012 年から始まった。現行の FIT 制度は余剰電力だけでなく発電した電力全てを買い取る場合もあるが、住宅用太陽光発電については家庭で使って余った余剰電力のみの買い取りとなっている。

1.2 RPS 制度の概要

RPS 法ホームページによると、2011 年まで続いた RPS 制度(Renewables Portfolio Standard)とは「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(以下、「新エネルギー等利用法」)に基づき、エネルギーの安定的かつ適切な供給を確保するため、電気事業者に対して、毎年、その販売電力量に応じた一定割合以上の新エネルギー等から発電される電気の利用を義務付け、新エネルギー等のさらなる普及を図るものとある。利用目標については、総合資源エネルギー調査会及び環境大臣、農林水産大臣、国土交通大臣の意見を聞いて定めていた。対象エネルギーは風力、太陽光、地熱、水力、バイオマスの 5 つである。各電力会社は義務を履行するために、自ら発電する、他から新エネルギー等電気を購入する、または他から新エネルギー等電気相当量を購入することが出来る。正当な理由がなく義務を履行しない場合は勧告、命令を行い、違反した場合 100 万円以下の罰金に処する等の罰則がある。この RPS 制度は 2002 年に開始され、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」の施行に伴い 2011 年に廃止されている。図 1-2 は RPS 制度の目標値の推移である。2003 年から始まった RPS 制度は目標値を右肩上がり高く設定してきた。年月が経つにつれ、再生可能エネルギーの発電設備が整い再生可能エネルギーの利用可能性が高まったことが考えられる。なお、図 1-2 で用いられたデータは一定の期間で目標値の修正が行われる。そのため、改正後の目標値を RPS 制度の正規の目標値として用いた。

図1-2 RPS制度の目標値(億kW)

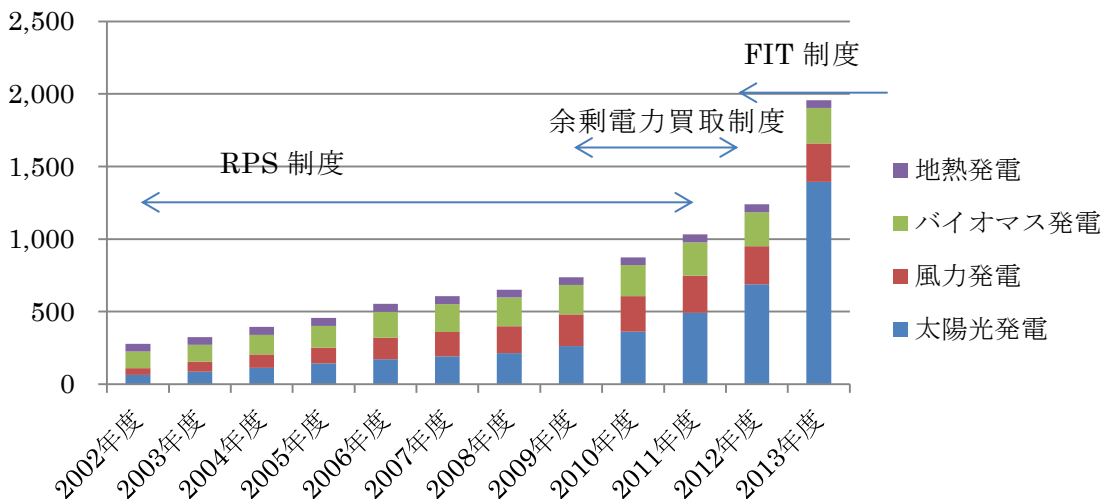


出所：RPS 法ホームページ

1.3 住宅用太陽光発電の普及状況

上記で紹介した FIT 制度と RPS 制度の導入と普及状況について統計結果を用いて分析する。

図1-3 再生可能エネルギーの発電設備容量の推移(万kW)



出所：自然エネルギー財団ホームページ

図 1-3 は再生可能エネルギーの設備容量の推移を表したものである。図で表されている通り、再生可能エネルギー普及に対して実行された政策は特に太陽光発電において効果が大きく出ていることが分かる。この理由は太陽光発電設備設置の手軽さや一般家庭でも導入することが可能であることから、この様な効果が得られたのではないかと推測できる。RPS 制度の効果について注目すると制度実行の初めは効果があまり見られなかったが、着々と設置容量を増やしていった。特に太陽光発電での効果が最も大きかったと考えられる。図 1-2 で目標値が増加したことを確認したが、その増加に合わせて設置容量も増加していったとも考えられる。RPS 制度が実行されていた 2002 年から余剰買取制度が始まった 2009 年までの太陽光発電の設備容量の年平均増加率は 23%であった。次に余剰電力買取制度について考える。この制度は 1.2 節で紹介した通りだが、固定価格買取制度(FIT 制度)の前身の制度である。この制度も RPS 制度と同様に設置容量の増加に一定の効果があつたと考えられる。特に太陽光発電については大きな効果が見られ、余剰電力買取制度の開始から終了までの 2009 年から 2012 年の太陽光発電の設備容量の年平均増加率は 38%であった。最後に FIT 制度についてであるが、2012 年から 2013 年の図 1-3 の変化を見ても大きな効果があつたと考えられる。特に太陽光については約 2 倍の増加があつた。統計上では各制度の結果、発電設備容量の増加が認められるが、実証分析においてはどのような結果が得られるのかを本論文では分析する。

第 2 章 住宅用太陽光発電普及政策の効果検証の理論分析

この章では日引・庫川 (2013) を参考に FIT 制度と RPS 制度の住宅用太陽光発電普及に対する効果を理論分析する。個々の制度の効果を分析するだけでなく 2 つの制度を比較することによって制度の望ましさを理論分析する。また、日引・庫川 (2013) は Tamas *et al.* (2010) の仮定の一部を変えたものである。具体的には電力会社にあたる一般電気事業者の市場の仮定が完全競争であったが、独占的な市場を日引・庫川 (2013) では仮定している。日本の電力市場については地域独占であるので、独占的な市場を仮定して理論分析を行った。

2.1 普及政策が存在しない場合の市場均衡(ベンチマーク)

理論分析を行う上での仮定について述べる。一般電気事業者(火力発電や原子力発電の事業者)は 1 社であると仮定する。そして、一般電気事業者は独占的企業である。また、単位発電あたり δ の限界外部費用がかかる。この限界外部費用は発電によって発生する CO₂ の発生や騒音などが当てはまる。次に再生可能エネルギー事業者(太陽光発電などの事業者)は 1 社であると仮定し、競争的な行動をする。また、再生可能エネルギーは環境に優しく CO₂ を発生しないため外部費用は発生しないと仮定する。再生可能エネルギー事業者は発電した電力を一般電気事業者に売却する。そして、一般電気事業者は購入した電力を合わせた電力を小売市場で消費者に売却する。つまり、再生可能エネルギー事業者が発電した電力を一般電気事業者が買い取るステップ 1 とその後買い取った電力と自社で発電した電力を合わせた電力を一般の消費者に向けて販売するステップ 2 が存在する。ステップ 1、ステップ 2 において一般電気事業者は独占的な価格支配力を発揮できるものとする。

小売市場(ステップ 2)における電力需要関数、一般電気事業者の発電費用関数、再生可能エネルギー事業者の発電費用関数は以下のとおりである。

$$P = a - b(Q_G + Q_R) \quad (2.1)$$

$$C_G = \frac{1}{2} c_G Q_G^2 + FC_G \quad (2.2)$$

$$C_R = \frac{1}{2} c_R Q_R^2 + FC_R \quad (2.3)$$

(2.1)は電力需要関数、(2.2)は一般電気事業者($i = G(\text{General})$)の発電費用関数、(2.3)

は再生可能エネルギー事業者($i = R(\text{Renewable})$)の発電費用関数である。ただし P は電力の小売価格(ステップ 2 の価格)、 Q_i は企業 i の発電量、 c_i 及び FC_i はそれぞれ企業 i の限界費用のパラメーター及び固定費用である。

まずはベンチマークとして再生可能エネルギー普及対策がなかった場合の市場均衡を求める。この場合、再生可能エネルギー事業者の電力供給関数は利潤最大化の一階の条件より以下の通りである。

$$p_R = MC_R \equiv c_R Q_R \quad (2.4)$$

p_R は再生可能エネルギー事業者によって発電された再生可能エネルギー市場(ステップ 1)の価格である。また、一般電気事業者の利潤関数は以下の通りである。

$$\pi_G = P(Q_G + Q_R) - C_G - P_R Q_R \quad (2.5)$$

(2.1)から(2.4)式を考慮すると、一般電気事業者の利潤最大化条件は以下の通りである。

$$MR_G \equiv a - 2b(Q_M + Q_R) = MC_G \equiv c_G Q_G \quad (2.6)$$

$$MR_G \equiv a - 2b(Q_M + Q_R) = ME_R \equiv 2c_R Q_R \quad (2.7)$$

ここで MR_G は一般電気事業者の限界収入、 ME_R は一般電気事業者によって購入される再生可能エネルギーに対する限界支出である。(2.6),(2.7)式よりベンチマークである再生可能エネルギー普及政策が行われない場合の市場均衡は

$$Q_G^0 = \frac{ac_R}{b(2c_R + c_G) + c_R c_G} \quad (2.8)$$

$$Q_R^0 = \frac{ac_G}{2b(2c_R + c_G) + 2c_R c_G} \quad (2.9)$$

$$Q^0 = Q_G^0 + Q_R^0 = \frac{[a(c_G + 2c_R)]}{[2b(2c_R + c_G) + 2c_R c_G]} \quad (2.10)$$

$$p^0 = \frac{ab(2c_R + c_G) + 2ac_R c_G}{2b(2c_R + c_G) + 2c_R c_G} \quad (2.11)$$

$$p_R^0 = \frac{ac_R c_G}{2b(2c_R + c_G) + 2c_R c_G} < p^0 \quad (2.12)$$

各変数の上付き添字 0 は対策がない場合の市場均衡であることを示している。(2.12)式から分かるように一般電気事業者を通して再生可能エネルギーが小売市場で取引さ

れるとき、再生可能エネルギー市場の価格は小売市場の電力価格よりも低くなる。この理由は、一般電気事業者が再生可能エネルギー市場において価格支配力を発揮し再生可能エネルギーの調達価格を低くしようとするからである。

図 2-1 ベンチマークの市場均衡

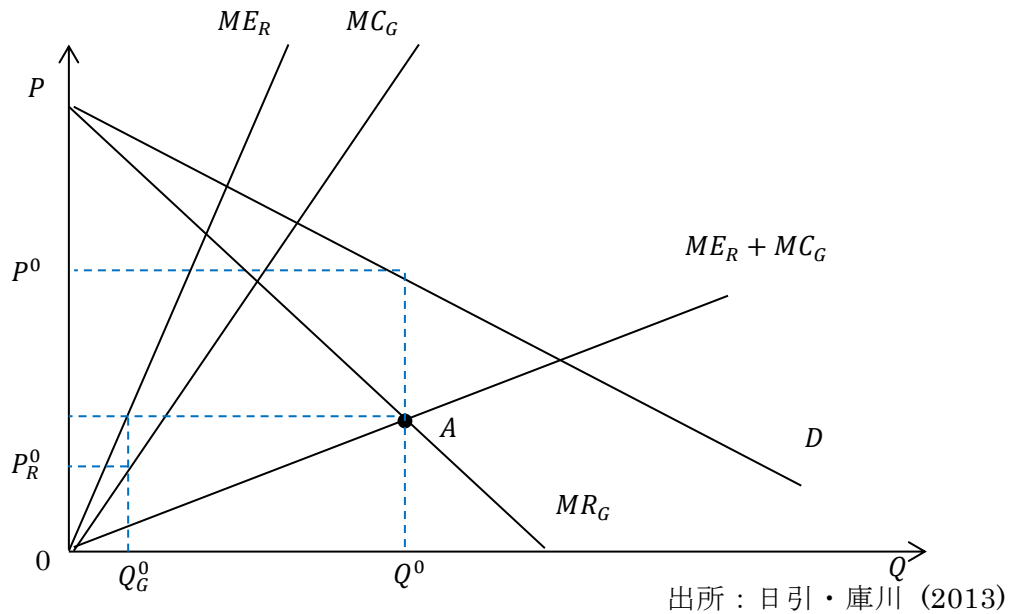


図 2-1 はベンチマークの市場均衡を表したものである。点 A において(2.6),(2.7)式が成立している。よってベンチマークの均衡点は点 A になる。

2.2 FIT 制度下での市場均衡

次に再生可能エネルギー普及政策として FIT 制度を採用していた場合の市場均衡を考える。いま、政府が再生エネルギー発電量について、 $Q_R = \bar{X} (> Q_R^0)$ となる政策目標を持ち、それを達成するために必要な再生可能エネルギー買取価格 P_R^{FIT} を設定する場合の市場均衡を考える。再生可能エネルギー事業者の利潤最大化条件である(2.4)式より政策目標 $Q_F = \bar{X}$ を実現するために必要な買取価格 P_R^{FIT} は以下通りである。

$$p_R^{FIT} = MC_R \equiv c_F \bar{X} \quad (2.13)$$

また一般電気事業者の利潤最大化条件、 $Q_R = \bar{X}$ より一般電気事業者の発電量 Q_M^{FIT} 及び市場に供給される発電量 Q^{FIT} 、小売市場における電気料金 P^{FIT} は以下の通りである。

$$Q_G^{FIT} = \frac{a - 2b\bar{X}}{2b + c_G} \quad (2.14)$$

$$Q^{FIT} = Q_G^{FIT} + Q_R^{FIT} = \frac{a + c_G\bar{X}}{2b + c_G} \quad (2.15)$$

$$p^{FIT} = \frac{ab + c_G(a - b\bar{X})}{2b + c_G} \quad (2.16)$$

(2.13)式から(2.16)式の結果から、再生可能エネルギー買取価格 p_R^{FIT} を引き上げ、再生可能エネルギーの導入量 \bar{X} を増加させると、一般電気事業者の発電量 Q_G^{FIT} は減少する一方で、市場全体の発電量 Q^{FIT} は増加し、小売市場の電力価格 p^{FIT} は低下することが分かる。

図 2-2 FIT 制度下の市場均衡

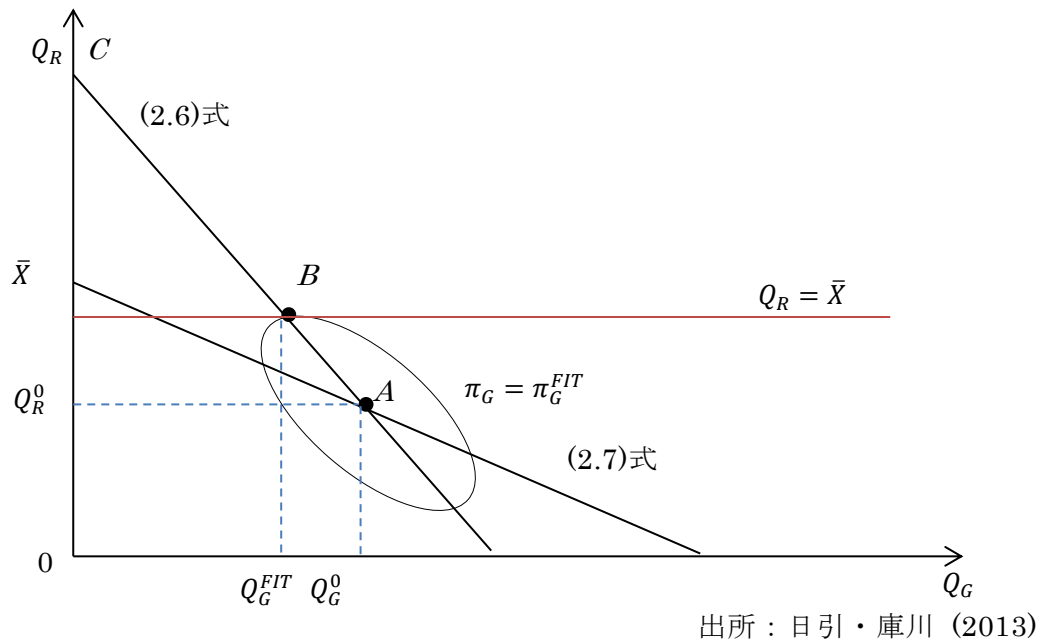


図 2-2 は FIT 制度下の市場均衡である。この時の均衡点は点 B で表される。なお、点 A はベンチマークの均衡点で図 2-1 の点 A と対応している。市場均衡点 B が導出される過程については、まず政策目標値 \bar{X} が決定され、一般電気事業者の利潤最大化条件の 1 つである(2.6)式との交点が市場均衡となる。また、点 B を通る楕円は FIT 制度下での一般電気事業者の利潤が π_G^{FIT} の時の等利潤曲線となっている。また、政策目標値 \bar{X} を高くした場合の均衡は線分 AC 上に存在する。つまり線分 AC が FIT 制度下の均衡点の軌跡となっている。

2.3 RPS 制度下での市場均衡

次に再生可能エネルギー普及政策として RPS 制度を採用していた場合の市場均衡を考える。政府が一般電気事業者に対して(2.17)式のように発電量の一定割合 θ の再生可能エネルギー電力を再生可能エネルギー市場(ステップ 1)から購入を義務付けているとする。

$$Q_R = \theta Q_G \quad (2.17)$$

(2.5)式に(2.17)式を代入すると一般電気事業者の利潤は以下の通りとなる。

$$\pi_G = P(Q_G + Q_R) - C_G - P_R(\theta Q_G)^2 \quad (2.18)$$

利潤最大化より一般電気事業者の発電量 Q_G^{RPS} 、市場に供給される再生可能エネルギーの発電量 Q_R^{RPS} 、小売市場の電力料金 P^{RPS} 、再生可能エネルギー電気価格 P_R^{RPS} はそれぞれ以下の通りである。

$$Q_G^{RPS} = \frac{(1 + \theta)a}{2b(1 + \theta)^2 + c_G + 2\theta^2 c_R} \quad (2.19)$$

$$Q_R^{RPS} = \frac{(1 + \theta)\theta a}{2b(1 + \theta)^2 + c_G + 2\theta^2 c_R} \quad (2.20)$$

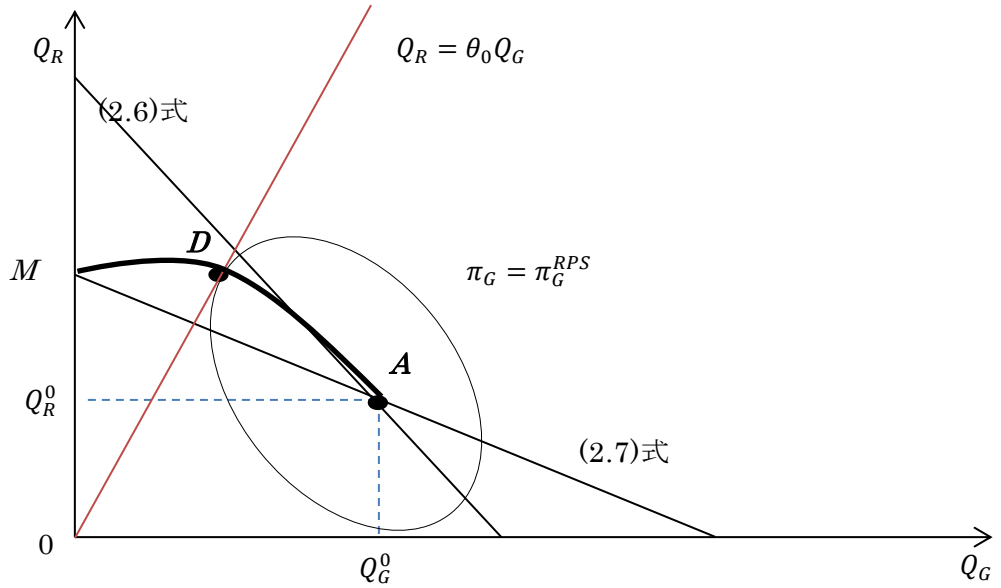
$$p_R^{RPS} = c_R Q_R^{RPS} = \frac{c_R(1 + \theta)\theta a}{2b(1 + \theta)^2 + c_G + 2\theta^2 c_R} \quad (2.21)$$

$$Q^{RPS} = \frac{(1 + \theta)^2 a}{2b(1 + \theta)^2 + c_G + 2\theta^2 c_R} \quad (2.22)$$

$$P^{RPS} = \frac{a\{b(1 + \theta)^2 + c_G + 2\theta^2 c_R\}}{2b(1 + \theta)^2 + c_G + 2\theta^2 c_R} \quad (2.23)$$

図 2-3 は RPS 制度下の均衡点を図で表したものである。点 D が RPS 制度下の均衡点である。(2.17)式で表される利用基準と再生可能エネルギー発電量 Q_R の関係式と等利潤曲線 $\pi_G = \pi_G^{RPS}$ の接点 D が均衡点となる。また、利用割合基準 θ の変化に合わせて均衡点は曲線 AM 上を移動する。つまり曲線 AM が RPS 制度下の均衡点の軌跡となる。厳密に考えると軌跡は曲線 AM を含む楕円になっている。そのことから過剰に再生可能エネルギー利用割合基準 θ を増加させすぎるとかえって再生可能エネルギーの発電量を減らすことにつながることに注意する必要がある。

図 2-3 RPS 制度下の市場均衡

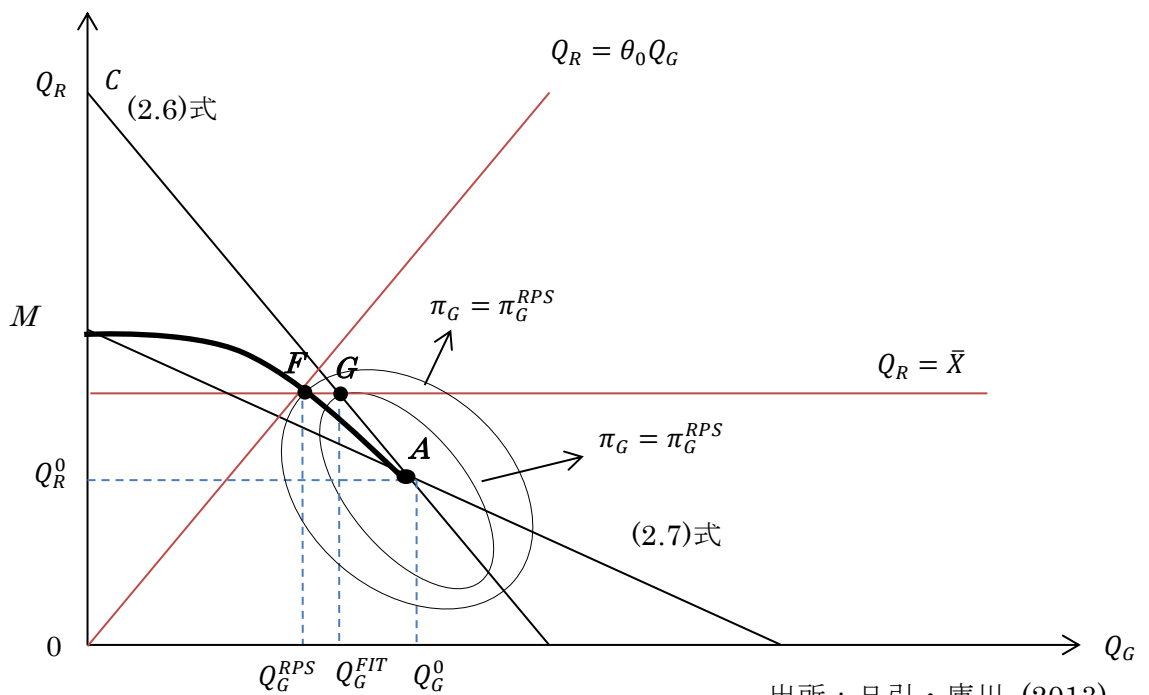


出所：日引・庫川 (2013)

2.4 FIT 制度と RPS 制度の市場均衡の比較

この節では FIT 制度と RPS 制度の各均衡点の比較を行う。比較を行うために FIT 制度と同じ政策目標 $Q_R = \bar{X} (> Q_R^0)$ を達成するような RPS 制度を考える。

図 2-4 FIT 制度と RPS 制度における市場均衡の比較



出所：日引・庫川 (2013)

図 2-4 は FIT 制度と同じ政策目標 $Q_R = \bar{X} (> Q_R^0)$ を達成するような RPS 制度の均衡点 F と FIT 制度の均衡点 G を図で表したものである。また、点 A は再生可能エネルギー制度が存在しない場合の市場均衡である。図からわかる通り、RPS 制度下の一般電気事業者の発電量は FIT 制度よりも少なくなる。この理由としては FIT 制度下では一般電気事業者が発電を増加させる場合、発電費用が増加するのみであるが、RPS 制度下ではそれに加えて再生可能エネルギーも購入する必要があるため購入費用がかかる。そのため RPS 制度の方が一般電気事業者の発電を控えると考えられる。この結果 RPS 制度の等利潤曲線は FIT 制度の等利潤曲線よりも外側にあるため、RPS 制度の方が FIT 制度よりも一般電気事業者の利潤は低くなる。

2.5 経済厚生とセカンドベスト下での市場均衡の比較

この節では経済厚生を導入し、第 1 に市場均衡と社会的に望ましいファーストベストの均衡点との比較を行う。第 2 に各制度のセカンドベストの均衡点の比較を行う。

2.5.1 ファーストベストの均衡点

まずは第 1 の市場均衡と社会的に望ましいファーストベストの均衡点との比較を行う。そのために経済厚生 SW を以下のように仮定する。

$$SW = \int_0^Q (a - bQ)dQ - \frac{1}{2}c_G Q_G^2 - \frac{1}{2}c_R Q_R^2 - (FC_R + FC_G) - \delta Q_G \quad (2.24)$$

社会厚生最大化の一階の条件は以下の通りである。

$$P(Q_G + Q_R) \equiv a - b(Q_G + Q_R) = SMC_G \equiv c_G Q_G + \delta \quad (2.25)$$

$$P(Q_G + Q_R) \equiv a - b(Q_G + Q_R) = MC_R \equiv c_R Q_R \quad (2.26)$$

この条件から経済厚生的に最適な一般電気事業者発電量 Q_G^* 、再生可能エネルギー事業者発電量 Q_R^* は、

$$Q_G^* = \frac{ac_R - (b + c_R)\delta}{b(c_G + c_R) + c_G c_R} \quad (2.27)$$

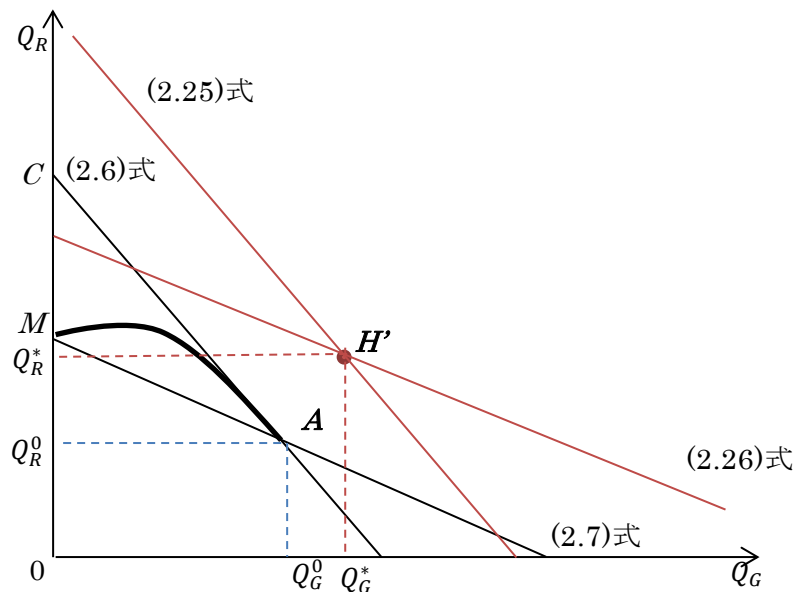
$$Q_R^* = \frac{ac_G + b\delta}{b(c_G + c_R) + c_G c_R} \quad (2.28)$$

政策がない場合の市場均衡の非再生可能エネルギー発電量 Q_G^0 と比較すると非再生可

能エネルギーの発電による外部不経済の指標 $\delta > \frac{abc_R^2}{\{(b+c_R)(b(c_G+2c_R)+c_Gc_R)\}} = \bar{\delta}$ のとき、非再生可能エネルギーによる発電量が社会的に過大となり、 $\delta < \bar{\delta}$ の時過小となる。前者については火力発電などの非再生可能エネルギーによる発電の外部不経済による過大発電の効果が、一般電気事業者の価格支配力による過小発電の効果を上回るために生じる。また、再生可能エネルギーによる発電量においても同様に比較すると、政策のない場合の再生可能エネルギーによる発電が社会的に過小になることが分かる。この理由としては、一般電気事業者による価格支配力が存在する事や外部不経済が内部化されていないことが挙げられる。

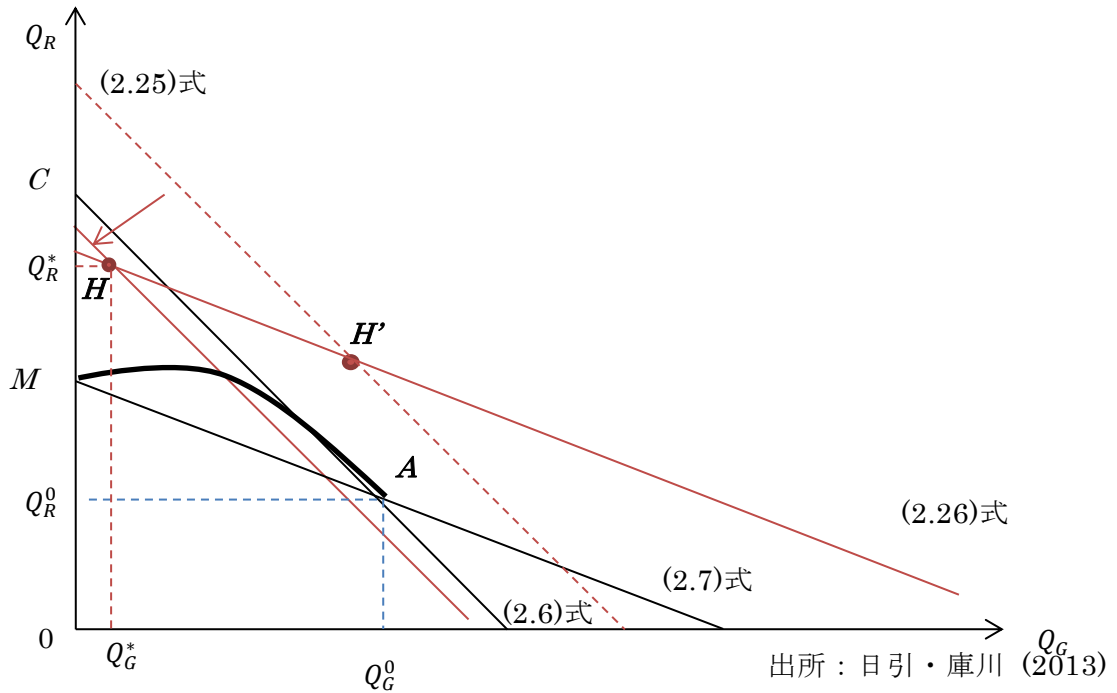
図 2-5 は $\delta < \bar{\delta}$ の時の社会的に最適な配分、図 2-6 は $\delta > \bar{\delta}$ の時の社会的に最適な発電の配分をそれぞれ表したものである。外部不経済が小さい時、均衡点は点 H' で表される。この時一般電気事業者の発電量は市場均衡時よりも社会的に最適な発電量の方が大きくなる。つまり、市場均衡の状態では過小になるということである。反対に外部不経済が大きい時、均衡点は点 H で表され、一般的事業者の発電は過大となる。図 2-5 と図 2-6 から分かる通り、外部不経済 δ が大きくなると(2.26)式上を左上へ移動していく。つまり、社会的に最適な配分が、再生可能エネルギー事業者の発電量が増加し、一般電気事業者の発電量が減少する。今後の議論は、一般電気事業者による発電による外部不経済が十分に大きい ($\delta > \bar{\delta}$) と仮定して考察する。

図 2-5 $\delta < \bar{\delta}$ の時の社会的に最適な配分



出所：日引・庫川 (2013)

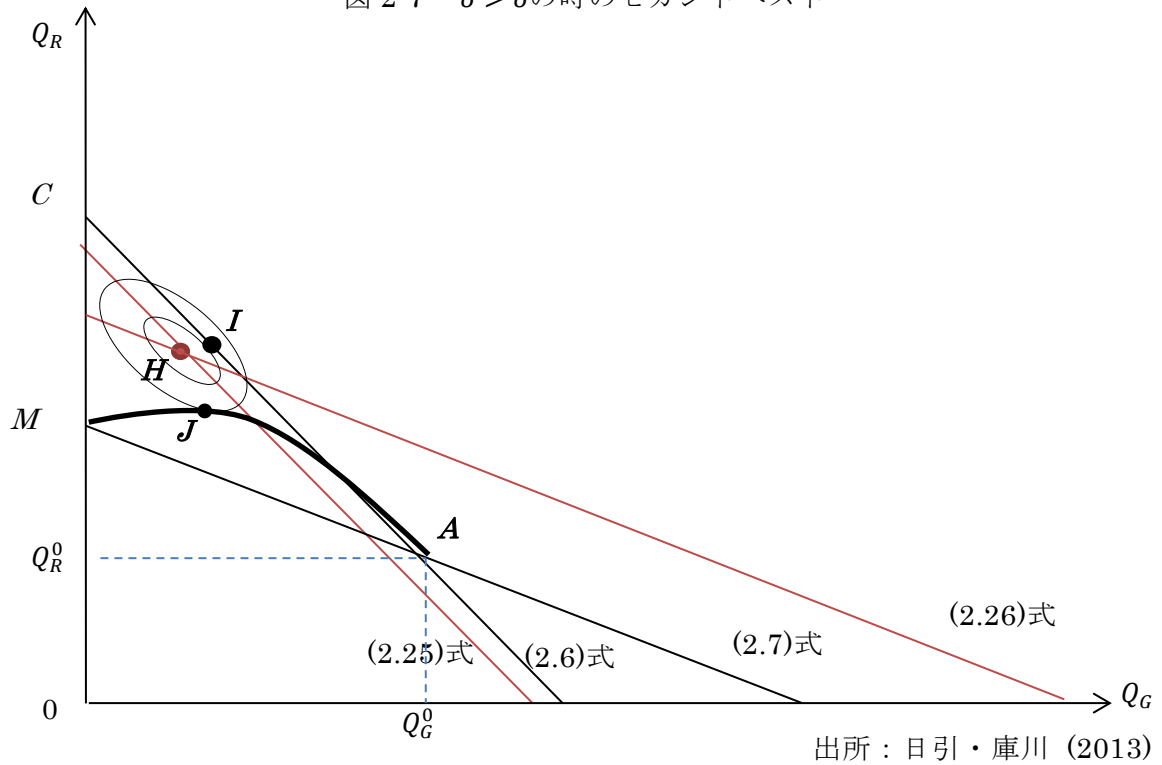
図 2-6 $\delta > \bar{\delta}$ の時の社会的に最適な発電の配分



2.5.2 セカンドベストの均衡点

FIT 制度と RPS 制度のセカンドベストの均衡点について考察し、経済厚生について比較する。まずは図 2-6 のようにファーストベストの均衡点 H が達成される ($\delta > \bar{\delta}$) 場合について考える。図 2-7 は図 2-6 で表された均衡点 H の図に FIT 制度の均衡点の軌跡である線分 AM 、RPS 制度の均衡点の軌跡である曲線 AM に対してファーストベストの均衡点 H からの等社会厚生曲線と接する点 I 、 J を表したものである。この点 I が FIT 制度のセカンドベストの均衡点、点 J が RPS 制度のセカンドベストの均衡点である。図 2-7 の場合、FIT 制度に接する等社会厚生曲線の方が RPS 制度に接する等社会厚生曲線よりも内側にあるため FIT 制度の方が社会厚生の観点から望ましいことが分かる。しかしながら注すべきなのが、(2.25)式は限界外部費用 δ が大きいほど均衡点 H は(2.26)式に沿って左上に移動する。その結果、FIT 制度に接する等社会厚生曲線の方が RPS 制度に接する等社会厚生曲線よりも外側にある状況が生まれ、RPS 制度の方が社会厚生の観点から望ましくなる。これは、外部不経済の内部化の効果(RPS 制度の効果)の方が価格支配力是正の効果(FIT 制度の効果)よりも重要になるため生じる結果である。

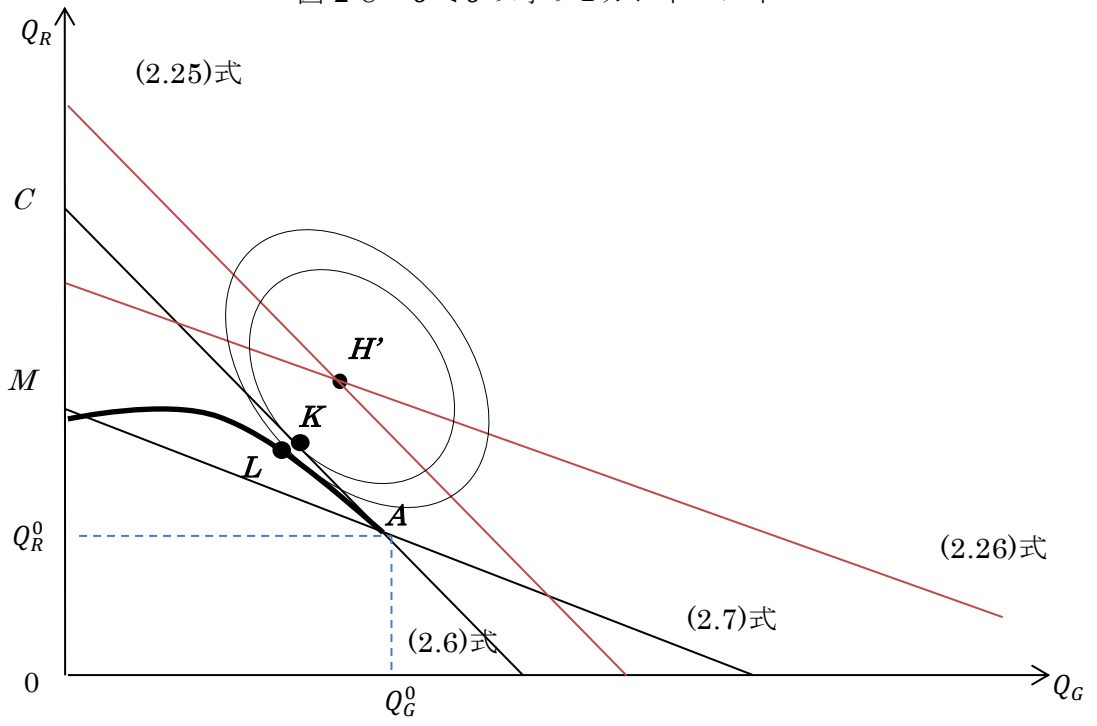
図 2-7 $\delta > \bar{\delta}$ の時のセカンドベスト



次に図 2-5 のように、ファーストベストの均衡点 H' が達成される ($\delta < \bar{\delta}$) について考える。図 2-8 は図 2-5 で表された均衡点 H' の図に FIT 制度の均衡点の軌跡である線分 AM 、RPS 制度の均衡点の軌跡である曲線 AM に対してファーストベストの均衡点 H' からの等社会厚生曲線と接する点 K 、 L を表したものである。この点 K が FIT 制度のセカンドベストの均衡点、点 L が RPS 制度のセカンドベストの均衡点である。 $\delta < \bar{\delta}$ の場合、必ず線分 AM の方が曲線 AM よりも上方にあるため FIT 制度に接する等社会厚生曲線の方が RPS 制度に接する等社会厚生曲線よりも内側にあるため FIT 制度の方が社会厚生の観点から望ましいという状況になる。この理由は限界外部費用 δ が小さい時、外部不経済の内部化の効果 (RPS 制度の効果) よりも価格支配力是正の効果 (FIT 制度の効果) の方が重要になるからである。以上の結果をまとめると以下の通りである。

- (1) $\delta > \bar{\delta}$ の時、限界外部費用が小さい時は、FIT 制度の方が望ましく、限界外部費用が大きい時は RPS 制度の方が望ましい。(図 2-7 参照)
- (2) $\delta < \bar{\delta}$ の時、FIT 制度によるセカンドベストの方が RPS 制度よりも高い社会厚生を達成できるため、FIT 制度の方が望ましい。(図 2-8 参照)

図 2-8 $\delta < \bar{\delta}$ の時のセカンドベスト



出所：日引・庫川 (2013)

第3章 住宅用太陽光発電普及政策の効果検証の実証分析

この章では FIT 制度、RPS 制度の効果を検証した実証分析の先行研究を紹介する。FIT 制度では大橋・明城 (2009a) の先行研究を紹介し、RPS 制度では Carley (2009) の先行研究を紹介する。本論文ではメインとなる FIT 制度や RPS 制度の効果を示す変数は Carley (2009) を参考にし、他の変数については大橋・明城 (2009a) を参考にした。また、シミュレーションについては大橋・明城 (2009a) の仮定を参考に設定した。

3.1 FIT 制度の政策効果を分析した先行研究

この節では大橋・明城 (2009a) の先行研究を紹介する。大橋・明城 (2009a) では住宅用太陽光発電システムについての需要・費用関数を推定し、推定された構造モデルを用いて普及の経路をシミュレーションしている。また、FIT 制度の効果を示す変数、指標としてオーナーシップコスト (oc) という変数を用いて分析している。オーナーシップコストは以下のように表される。

$$oc_{jt} = p_t^{sys} - G_t - ev_{jt} \quad (3.1)$$

導入から T 年間のコストとして、太陽光発電システム価格を p_t^{sys} 、補助金による控除額を G_t 、将来の発電電力の割引現在価値を ev_{jt} として表している。またシステム価格は太陽光モジュールと周辺機器の価格に施工費用を加えたものである。将来の発電電力の割引現在価値を ev_{jt} は、 p_t をモジュール価格、 p_t^{other} を周辺機器価格及び施工費用、 r を消費税率、導入時における発電量 E_{jt} 、売買電力 SE_{jt} が T 期間続くと仮定すると、

$$ev_{jt} = \left(p_{jt}^{SE} * SE_{jt} + p_{jt}^{BE} (E_{jt} - SE_{jt}) \right) * (1 - \delta^T) / (1 - \delta) \quad (3.2)$$

ここで p_{jt}^{BE} は電力価格、 p_{jt}^{SE} は売買電力の買取価格、 δ は割引因子を表している。すなわち、 $p_{jt}^{SE} * SE_{jt}$ は余剰電力の売買額、 $p_{jt}^{BE} (E_{jt} - SE_{jt})$ は太陽光発電による電力節約額を表す。

需要関数のモデルは、都道府県別の 1997 年から 2007 年までのパネルデータを用いる。被説明変数を都道府県別の太陽光システム導入量 (q_{jt}) とし、オーナーシップコストの関数として推定する。大橋・明城 (2009a) では線形モデル、対数線形モデル、両対数線形モデルの 3 つの関数形にて需要関数を推定している。

$$\text{線形モデル} \quad q_{jt} \equiv \alpha * oc_{jt} + \sum_k \beta_k x_{jkt} + \varepsilon_{jt} \quad (1)$$

$$\text{対数線形モデル} \quad q_{jt} \equiv \alpha \log(oc_{jt}) + \sum_k \beta_k x_{jkt} + \varepsilon_{jt} \quad (2)$$

$$\text{両対数線形モデル} \quad \log(q_{jt}) \equiv \alpha \log(oc_{jt}) + \sum_k \beta_k x_{jkt} + \varepsilon_{jt} \quad (3)$$

表 3-1 は大橋・明城 (2009a) の需要関数の推定結果である。モデル(1)から(3)が OLS による推定結果、モデル(4)から(6)が操作変数を用いた 2SLS による推定結果である。操作変数として太陽光パネルの原料となる多結晶シリコンの価格を用いている。モデル(1)から(6)までの全てのモデルにおいてオーナーシップコストの係数は有意に負となっている。また、世帯数、日照時間、新規着工住宅戸数の係数は有意に正であった。しかし、一世帯当たりの消費電力、電力充足率についてはモデルによって係数に違いがみられた。これについては線形モデルについて多重共線性が発生していることが理由として考えられる。また、所得水準は全てのモデルで有意にならなかった。大橋・明城 (2009a) では今後の普及シミュレーションにあたってモデル(6)を採用した。この理由としては決定係数、オーナーシップコストに対する弾力性、対数の性質を考慮して決定した。対数の性質とは、両対数モデルを採用した場合、オーナーシップコストがマイナスとなる場合、需要量が発散してしまうため両対数モデルは採用しなかった。以降の大橋・明城 (2009a) の論文ではモデル(6)を採用し考察していく。

表 3-1 需要関数の推定結果

被説明変数：都道府県別の太陽光システム導入量(q_{jt})						
	OLS			2SLS		
説明変数	(1) Linear	(2) Log-Log	(3) Log-Linear	(4) Linear	(5) Log-Log	(6) Log-Linear
切片	-36.572 (2561.500)	-27.759*** (3.867)	-30.803*** (3.715)	9027.500** (3180.400)	-22.403*** (4.169)	-28.464*** (3.848)
oc	-32.166* (17.315)	-1.035*** (0.253)	-0.021*** (0.005)	-144.740*** (28.084)	-2.184*** (0.387)	-0.048*** (0.008)
電力充足率	-783.990 (1660.100)	2.012*** (0.319)	2.026*** (0.319)	-3583.500* (1808.900)	1.788*** (0.330)	1.779*** (0.332)
世帯数	2.197E-04 (1.579E-04)	0.380*** (0.093)	0.380*** (0.093)	1.863E-04 (1.645E-04)	0.436*** (0.095)	0.446*** (0.096)
平均所得	-1.151 (1.118)	0.029 (0.209)	0.026 (0.209)	-0.211 (1.178)	0.109 (0.214)	0.117 (0.215)
新規住宅	0.146*** (0.027)	0.426*** (0.096)	0.426*** (0.097)	0.148*** (0.028)	0.378*** (0.099)	0.368*** (0.100)
消費電力	-0.644** (0.236)	1.661*** (0.406)	1.672*** (0.406)	-0.941*** (0.253)	1.624*** (0.414)	1.643*** (0.417)
年間日照時間	2.417*** (0.412)	1.988*** (0.215)	1.984*** (0.215)	2.050*** (0.434)	1.800*** (0.224)	1.757*** (0.227)
トレン ド	552.400*** (38.617)	0.973*** (0.054)	0.970*** (0.054)	550.670*** (40.192)	0.901*** (0.058)	0.880*** (0.059)
R^2	0.580	0.817	0.816	0.545	0.809	0.807
F-stat	87.565***	283.274***	282.440***	75.961***	269.748***	265.175***
oc弾力性	-2.430	-1.035	-0.991	-10.933	-2.184	-2.292

※括弧内の数値は標準誤差を表す 有意水準: * 5%, ** 1%, *** 0.1%

出所：大橋・明城 (2009a)

次に費用関数の推定について述べる。大橋・明城（2009a）では太陽電池市場の逆需要関数を $p_t(Q_t)$ とすると、企業 i の生産量が q_{it} のときの限界収入は以下の通りで表される。

$$mr_{jt}(q_{it}|\alpha) = \frac{\partial p_t(Q_t)q_{it}}{\partial q_{it}} = \frac{q_{it}\partial p_t(Q_t)}{\partial Q_t} + p_t(Q_t) \quad (3.4)$$

各企業が各期の利潤を最大化するように生産量を決定していると仮定すると、クールノー均衡では上記の限界収入と企業の限界費用が等しくなる。このことを利用して限界費用の推定を行っている。また、費用関数は以下のように Cobb-Douglas 型関数で与えられていると仮定する。

$$mc_{it}(k_{it}, l_{it}, z_t, t; \theta) = \theta_{i0} k_{it}^{\theta_1} l_{it}^{\theta_2} z_t^{\theta_3} t^{\theta_4}, \quad i = 1, \dots, F. \quad (3.5)$$

ここで k_{it} は企業の生産キャパシティ、 l_{it} は生産成熟度、そして z_t は原材料価格、 t はトレンド項、 θ_{i0} はメーカー別のダミー変数である。

表 3-2 は費用関数の推定結果である。モデル(1)は単純な OLS 推定の結果であるが、Durbin Watson 検定によって自己相関が存在した。また、BP テストにより不均一分散が存在することが分かった。モデル(2)は残差に自己相関モデルを想定して推定した結果である。モデル(3)はそれに加えて不均一分散を仮定した推定結果である。シリコン価格とトレンド項については全てのモデルで有意な結果が得られた。これらの需要関数と費用関数を用いて、今後の太陽光パネルの普及のシミュレーションを行っている。普及のシミュレーションを行うために、買取価格の仮定、太陽光システムの限界費用の仮定を置いている。買取価格の仮定は、(1)既設及び新規導入分の電力買取価格は 2007 年のまま、(2)既設及び新規導入分の電力買取価格は 10 年間 48 円/kWh とする、(3)2010 年導入分の電力買取価格は 10 年間 48 円/kWh とし、以降の導入分については段階的に買取価格を下げていき、制度導入後 5 年目以降は 2007 年水準に戻すものとする、の 3 つである。また、太陽光システムの限界費用の仮定は(a)2007 年のまま一定、(b)2008 年以降、過去と同じペース(年率 3.6%)で低下し続ける、(c)2008 年以降 5 年で半減し(つまり年率 13%で低下し)、2013 年以降は一定、これらの 3 つである。つまり、買取価格の 3 つの仮定と太陽光システムの限界費用の 3 つの仮定の組み合わせである 9 種類のシミュレーションを行っている。シミュレーションの結果は、最も 2030 年の累積導入量(GW)が多かったのが(2c)で 142.21GW で、最少が(1a)で 12.44GW であった。

表 3-2 費用関数の推定結果

被説明変数：限界費用	OLS	FGLS	
説明変数	(1)	(2)	(3)
キャパシティ	-0.0148 (0.014)	-0.013 (0.012)	0.002 (0.006)
学習効果	-0.016 (0.014)	-0.011 (0.012)	-0.011** (0.003)
多結晶シリコン価格	0.205*** (0.029)	0.191*** (0.026)	0.171*** (0.012)
トレンド	-0.221*** (0.031)	-0.238*** (0.028)	-0.255*** (0.010)
企業固有効果			
三洋電気	4.207	4.194	4.093
カネカ	4.208	4.204	4.122
京セラ	4.176	4.157	4.046
三菱電機	4.205	4.193	4.093
シャープ	4.095	4.082	3.964
エア・ウォーター	4.188	4.186	4.131
キャノン	4.206	4.198	4.135
松下電工	4.181	4.184	4.128
三菱重工業	4.195	4.202	4.129
残差の自己相関	No	Yes	Yes
残差の不均一分散	No	No	Yes
Durbin Watson 統 計量	0.727**		
BP 統計量	4.950		
ρ		0.387	0.387
F 統計量	209.950***		
Wald χ^2 統計量		6.76E+05***	4.89E+06***

※括弧内の数値は標準誤差を表す 有意水準: * 5%, ** 1%, *** 0.1%

出所：大橋・明城 (2009a)

3.2 RPS 制度の政策効果を分析した先行研究

この節では Carley (2009) の先行研究を参考に RPS 制度の効果の実証分析について紹介する。Carley (2009) では被説明変数として再生可能エネルギーによる合計発電量の全体の発電量に対するシェアを用いた実証分析と、再生可能エネルギーの発電量を被説明変数とした実証分析を行っている。それぞれの被説明変数の分析において固定効果モデル、予測誤差分散分解モデルで回帰している。Carley (2009) の実証結果で扱う変数と実証結果は以下の通りである。

表 3-3 変数について

変数	定義	
RE share	再生可能エネルギーのシェア	Cont
RE total	再生可能エネルギー発電量	Cont
RPS	RPS 制度が適用されているか	Bin
House score	LCV House of Representative pro-environment のスコア	Cont
Per capital natural resource employees	自然エネルギー単位の従業員の数	Cont
Petrol/coal manufacturing GSP	石油・石炭の関税率	Cont
Gross state product per capita	単位当たりの生産量	Cont
Growth rate of population	人口の変化率	Cont
Electricity price	平均電力価格 (cent/kWh)	Cont
Electricity use per capita	1 人当たりの電力使用量	Cont
Percent regional RPS	RPS 政策を行っている州の割合	Cont
Wind potential	水力発電の面積(10,000km ²)	Cont
Biomass potential	バイオマス発電の原料の量	Cont
Solar potential	ソーラーエネルギー発電量	Cont
Tax index	税率の加重指標	Cont
Subsidy index	補助金などの加重指標	Cont
Deregulation	規制緩和されているか	Bin

出所：Carley (2009)

表 3-4 RE share の推定結果

被説明変数：再生可能エネルギー発電量のシェア(RE share)		
説明変数	(1)固定効果モデル	(2)FEVD モデル
RPS	-0.031 (0.152)	-0.036 (0.093)
House score	1.857*** (0.496)	1.900*** (0.164)
Per capital natural resource employees	1.897*** (0.408)	1.891*** (0.101)
Petrol/coal manufacturing GSP	-10.699* (6.534)	-11.701*** (3.981)
Gross state product per capita	0.0001*** (0.00003)	0.0001*** (0.0000008)
Growth rate of population	-0.536 (4.624)	-1.631 (3.641)
Electricity price	-0.345*** (0.064)	-0.333*** (0.028)
Electricity use per capita	-0.156*** (0.030)	-0.156*** (0.005)
Percent regional RPS	0.692* (0.394)	0.779*** (0.252)
Deregulation		-0.826*** (0.087)
Constant	-5.923*** (1.162)	-7.071*** (0.298)
Observations	432	432
Number of state fixed effects	48	
R-squared	0.39	0.89

※括弧内の数値は標準誤差を表す 有意水準: * 10%, ** 5%, *** 1%

出所：Carley (2009)

表 3-5 RE total の推定結果

被説明変数：再生可能エネルギー発電量(RE total)		
説明変数	(1)固定効果モデル	(2)FEVD モデル
RPS	183,491.924* (102,785.038)	184,385.606*** (62,155.865)
House score	-164,018.139 (335,132.544)	-156,436.142 (110,589.551)
Per capital natural resource employees	-383,975.937 (275,936.660)	-383,864.625*** (63,206.071)
Petrol/coal manufacturing GSP	2462,018.422 (4,416,176.967)	2,384,563.268*** (2,662,984.473)
Gross state product per capita	33.364* (18.511)	33.538*** (4.154)
Growth rate of population	3016,393.221 (3,125,762.721)	2,927,149.249 (2,489,515.914)
Electricity price	8356.668 (43,565.541)	9573.563 (17,771.557)
Electricity use per capita	-6178.114 (20,254.411)	-6221.728 (2,023.382)
Percent regional RPS	567,966.908** (266,489.813)	584,575.666*** (167,687.020)
Deregulation		546,348.694*** (58,931.031)
Constant	959,147.754 (790,020.711)	-4,922,441.970*** (211,130.954)
Observations	432	432
Number of state fixed effects	48	
R-squared	0.15	0.99

※括弧内の数値は標準誤差を表す 有意水準: * 10%, ** 5%, *** 1%

出所：Carley (2009)

表 3-4 が再生可能エネルギー発電のシェア(RE share)を被説明変数とした実証分析の結果で、表 3-5 が再生可能エネルギー発電量(RE total)を被説明変数とした実証分析の結果である。なお、年度ダミーや発電方法の potential の変数などについては省略している。データは 1998 年から 2006 年までのアメリカ合衆国の州ごとのデータである。推定結果にあるように、表 3-4 の RE share の推定結果の RPS の変数の係数に注目すると、係数が有意ではない。つまり、全体の発電量に占める再生可能エネルギー発電の割合と RPS 制度の導入の有無は相関がないと推測できる。それに対して、表 3-5 の RE total の推定結果の RPS の変数の係数に注目すると有意で正である。つまり RPS 制度が導入されている州では再生可能エネルギーの発電量が多いということが推測できる。これらの結果が得られた理由は RPS 制度を採用する州はすでに再生可能エネルギーによる発電が普及しており、再生可能エネルギーによる発電比率が高く、それらの州が RPS 制度に加入することで比率に関する推定結果は有意ではなかったということが理由として考えられる。

第4章 住宅用太陽光パネルの需要関数の推定

4.1 需要関数のモデル

大橋・明城（2009a）のモデルを参考に以下のモデルを推定する。また、操作変数として太陽光パネルの原料であるシリコン価格物価指数を用いている。パネルデータを用いて固定効果モデル、ランダム効果モデルを用いてパネル回帰分析を行う。

$$\text{線形モデル} \quad q_{jt} \equiv \alpha * oc_{jt} + \sum_k \beta_k x_{jkt} + \varepsilon_{jt} \quad (1)$$

$$\text{対数線形モデル} \quad q_{jt} \equiv \alpha \log(oc_{jt}) + \sum_k \beta_k x_{jkt} + \varepsilon_{jt} \quad (2)$$

$$\text{両対数線形モデル} \quad \log(q_{jt}) \equiv \alpha \log(oc_{jt}) + \sum_k \beta_k x_{jkt} + \varepsilon_{jt} \quad (3)$$

表 4-1 回帰分析に用いた変数

被説明変数：panelsystem…太陽光パネル設置数	
説明変数	
systemprice	パネル(システム)導入費用(万円/kw)
sunshine	日照時間(時間/年)
fit	全量買取=1 のダミー
buyprice	太陽光発電による電力の公定買取価格(円/kWh)
buyperiod	太陽光発電による電力の公定買取期間(年)
rps	RPS 制度有=1 のダミー
rpstarget	RPS 制度の目標値(億 kWh/年)
salepower	販売(電灯)電力量(百万 kWh/年)※家庭向け電力の販売量
siliconprice	シリコンウェハー価格物価指数(2010年=100とする)
households	世帯数(世帯)
newhouse	新規着工住宅戸数(戸)

表 4-1 は回帰分析に用いた変数の説明である。以上の変数を用いて回帰し、需要関数を推定する。また、siliconprice は操作変数として利用する。

4.2 利用したデータソース

1994年から2014年までの都道府県別のパネルデータを用いた。データのソースについては以下の通りである。panelsystem(太陽光パネルの導入量(kW))は2011年までのデータは資源エネルギー庁ホームページ、2012年以降は一般社団法人太陽光発電協会ホームページから都道府県別のデータを引用した。systemprice(パネル(システム)導入費用(万円/kW))は2005年までのデータは新エネルギー財団、2006年以降は一般社団法人太陽光発電協会ホームページから引用した。sunshine(日照時間(時間/年))は気象庁ホームページから都道府県別のデータを引用し、buyprice(太陽光発電による電力の公定買取価格(円/kWh))は2009年以降(余剰・全量買取)は資源エネルギー庁ホームページから、2009年以前(自主買取)は電気事業便覧(従量電灯Bまたは乙の2段目)から引用した。buyperiod(太陽光発電による電力の公定買取期間(年))のデータソースはbuypriceと同じだが、2009年以前(自主買取期間)についての買取期間は1年とした。rpstarget(RPS制度の目標値(億kWh/年))はRPS法ホームページから引用、salepower(家庭向け販売(電灯)電力量(百万kWh/年))は電力調査統計月報から各電力会社の営業エリア別のデータを用いた。households(世帯数(世帯))は住民基本台帳に基づく全国人口・世帯数表から都道府県別のデータを引用し、newhouse(新規着工住宅戸数(戸))は住宅着工統計(建築着工統計調査)から都道府県別のデータを引用した。最後に、操作変数であるsiliconprice(シリコンウェハー価格物価指数(2010年=100))は国内企業物価指数から引用した。表4-2は利用したデータの記述統計を表している。1994年から2014年までの各都道府県のデータについての記述統計である。記述統計について分析すると、panelsystemは最小値から最大値までの幅が大きく、変動が大きいことが分かる。また、systempriceは最大で200であったが技術革新などの影響から38.5まで低下している。fitとrpsの平均値を比較するとrpsの方が大きい値となっているが、これはFIT制度はまだ始まったばかりで、RPS制度の方が長い期間で行われていた制度だからである。

表 4-2 記述統計

変数名	平均	標準偏差	最小値	最大値
panelsystem	3414.815	4348.531	0	42485
systemprice	82.78571	39.27838	38.5	200
sunshine	1921.106	224.6744	1283.4	2452.6
fit	0.1428571	0.3501045	0	1
buyprice	28.1554	9.495661	19	48
buyperiod	3.571429	4.067847	1	10
rps	0.4285714	0.4951225	0	1
rpstarget	40.42381	48.3468	0	128.2
salepower	35227.95	27113.41	2151	103421
siliconprice	155.7353	53.8434	79.64167	250.75
households	1057381	1110469	194073	6492408
newhouse	24578.69	30018.05	2076	192427

4.3 回帰結果

本節では、回帰結果について述べる。それぞれの変数の期待される符号は以下の表 4-3 の通りである。表 4-3 にある期待される符号について考察する。**systemprice**(パネルシステム導入費用(万円/kW))が増加すると消費者はパネルの購入を控えると考えられるため、符号は負になる。**sunshine**(日照時間(時間/年))が長くなると太陽光パネルによる発電量が増加すると消費者は考えるため、パネルの需要が増加すると考えられるため符号は正になる。**fit**(全量買取=1 のダミー)が 1 である時、FIT 制度が導入されることによって太陽光パネル導入費用を回収しやすくなるため、太陽光パネルの需要は増加すると考えられる。**buyprice**(太陽光発電による電力の公定買取価格(円/kWh))が高くなると、太陽光パネルの導入費用が早く回収できるため、太陽光パネルの需要は増えると考えられる。**buyperiod**(太陽光発電による電力の公定買取期間(年))が長くなると、高い価格で電力を売ることが出来るので、太陽光パネルの需要は大きくなると考えられる。**rps** (RPS 制度有=1 のダミー)が 1 である時、RPS 制度が導入されることによって、太陽光パネルの普及が進むため需要は増加すると考えられる。

rpstarget(RPS 制度の目標値(億 kWh/年))が高くなると、再生可能エネルギーの発電割合を増加させる必要があるため、太陽光パネル普及の促進が高まり需要が増加する

と考えられる。salepower(販売(電灯)電力量(百万 kWh/年))が増加すると、太陽光パネルの導入によって得られる電気料金の節約効果が増大すると考えられるため太陽光パネルは増加すると考えられる。households(世帯数(世帯))が多くなると、潜在的消費者が多くなるため太陽光パネルの需要は高まると考えられる。newhouse(新規着工住宅戸数(戸))が多くなると、太陽光パネルを導入する機会が多くなると考えられるため、需要が増加すると考えられる。

表 4-3 期待される符号

被説明変数：panelsystem…太陽光パネル設置数		
説明変数		期待される符号
systemprice	パネル(システム)導入費用(万円/kW)	-
sunshine	日照時間(時間/年)	+
fit	全量買取=1 のダミー	+
buyprice	太陽光発電による電力の公定買取価格(円/kWh)	+
buyperiod	太陽光発電による電力の公定買取期間(年)	+
rps	RPS 制度有=1 のダミー	+
rpstarget	RPS 制度の目標値(億 kWh/年)	+
salepower	販売(電灯)電力量(百万 kWh/年)※家庭向け電力	+
siliconprice	シリコンウェハー価格物価指数(2010年=100とする)	-
households	世帯数(世帯)	+
newhouse	新規着工住宅戸数(戸)	+

表 4-4 回帰分析結果

被説明変数：都道府県別の太陽光システム導入量(q_{jt})						
	A 固定効果モデル			B ライダム効果モデル		
説明変数	(1)線形	(2)両対数	(3)対数線形	(4)線形	(5)両対数	(6)対数線形
切片	-17983.1*** (-10.43)	-26.44*** (54.00)	-14320*** (-5.80)	-4365.50*** (-3.10)	25.5634*** (65.82)	338.902 (0.17)
systemprice	-8.07** (-2.01)	-4.619*** (-48.30)	-970.879** (-2.01)	-10.4471*** (-2.72)	-4.6333*** (-53.35)	-1261.8*** (-2.72)
sunshine	3.66507*** (5.59)	0.000158 (1.25)	3.53809*** (5.52)	4.2465*** (6.69)	0.00035*** (2.83)	4.11592*** (6.59)
fit	4026.313*** (5.36)	0.4264*** (2.90)	3867.62*** (5.18)	5885.639*** (7.53)	0.2694164* (1.86)	5668.41*** (7.23)
buyprice	-169.432*** (-3.55)	0.0496*** (5.00)	-159.53*** (-3.17)	-157.665*** (-3.21)	0.04633*** (4.85)	-145.12*** (-2.83)
buyperiod	219.7531 (1.42)	-0.316*** (-9.75)	183.4788 (1.11)	75.97489 (0.48)	-0.2999*** (-9.68)	30.11182 (0.18)
rps	-1601.192 (-1.45)	-1.022*** (-4.68)	-1644.538 (-1.48)	-2470.422** (-2.07)	-0.9432*** (-4.31)	-2521.72** (-2.11)
rpstarget	34.84682*** (2.59)	0.0153*** (5.79)	34.5993*** (2.57)	54.26708*** (3.79)	0.01399*** (5.34)	53.8922*** (3.77)
salepower	0.062119* (1.91)	7.96e-06 (1.25)	0.063117** (1.96)	0.0141001 (1.40)	7.4e-06*** (2.74)	0.0146535 (1.46)
households	0.014245*** (16.08)	-2.53e-07 (-1.45)	0.01423*** (16.10)	0.004386*** (13.74)	2.48e-7*** (3.46)	0.00439*** (13.76)
newhouse	0.0188363 (1.48)	-4.3e-06* (-1.72)	0.0186646 (1.47)	-0.09987*** (-10.05)	1.52e-06 (0.81)	-0.9993*** (-10.08)
N	987	986	987	987	986	987
R^2 Within	0.6656	0.9323	0.6664	0.5987	0.9317	0.5999
Between	0.5252	0.1592	0.5246	0.6027	0.5062	0.5996
overall	0.2713	0.6427	0.2712	0.5888	0.8432	0.5885

※括弧内の数値は t 値を表す 有意水準: * 10%, ** 5%, *** 1%

表 4-4 は回帰した結果である。3つの需要関数のモデルに関して A 固定効果モデル、B ランダム効果モデルを用いて回帰している。決定係数の観点や係数の有意の観点から今後のシミュレーション分析では(5)の両対数モデルのランダム効果モデルを採用する。以降、(5)のモデルについて考察する。まずは各係数の符号について期待される符号と比較しながら考察する。期待される符号と一致しないのが、buyperiod、rps である。他の符号については期待される符号と一致している。FIT 制度についての係数の符号については、fit の符号が正で有意であることから FIT 制度を導入すると、太陽光パネルの需要が高まると考えられる。また、同様に buyprice の符号が正で有意であることから、買取価格を高くすると太陽光パネルの需要が高まると考えられる。しかしながら、buyperiod は期待される符号と異なり負で有意で、買取期間を長くすると太陽光パネルの需要が低くなると考えられる。これについては、買取期間の変化があまりなく FIT 制度後は 10 年で変化がないことが他の要因と多重共線性を引き起こした可能性が考えられる。次に、RPS 制度についての係数の符号について考察する。rps の符号は期待される符号と異なり負で有意で、RPS 制度を導入すると太陽光パネルの需要が低くなるという結果になった。これについては、RPS 制度はあくまでも再生可能エネルギーによる発電割合を向上させることを目的としたもので、太陽光発電に直接ではなく間接的に影響を及ぼす政策であることがこのような結果になった理由として考えられる。また、rpstarget の符号は正で有意であることから、RPS 目標値を高く設定すると太陽光パネルの需要が高まることが考えられる。RPS 制度を導入する事自体が太陽光発電普及に対して重要なだけでなく、具体的な数値目標が重要であるところらの結果から考えられる。そのほかの変数についても考察していく。太陽光パネルの価格については導入費用(パネル価格+施工費用)が高くなると太陽光パネルの需要が低くなるという結果が得られた。そのほかの外生変数については、日照時間が長くなる、家庭向け電力の販売量が多くなる、世帯数が多くなると太陽光パネルの需要が高まることが考えられる。しかし、新規着工住宅戸数は太陽光パネルの需要には影響しないという結果が得られた。

表 4-5 回帰分析結果 2

被説明変数：都道府県別の太陽光システム導入量(q_{jt})			
	ライダム効果モデル		
説明変数	(1) 線形	(2) 両対数	(3) 対数線形
切片	-7967.1*** (-6.55)	21.94784*** (45.67)	-4374.337** (-2.05)
systemprice	-8.661487** (-2.16)	-3.705177*** (-38.70)	-932.4359** (-2.16)
sunshine	4.091404*** (6.21)	0.0003053** (2.08)	3.968855*** (6.17)
fit	4301.176*** (11.88)	-0.774677*** (-7.86)	4055.543*** (9.08)
rps	1977.795*** (8.31)	0.278101*** (4.96)	1919.955*** (7.53)
salepower	0.0163305 (1.55)	0.0000101*** (3.62)	0.0169586 (1.62)
households	0.0041796*** (12.91)	1.57e-07** (1.99)	0.0041731*** (12.86)
newhouse	-0.0902368*** (-9.18)	5.68e-06*** (2.58)	-0.0900601*** (-9.13)
N	987	986	987
R² Within	0.5752	0.8951	0.5751
Between	0.5876	0.4964	0.5858
overall	0.5651	0.8149	0.5644

※括弧内の数値は t 値を表す 有意水準: * 10%, ** 5%, *** 1%

表 4-5 は FIT 制度と RPS 制度を単純比較するために、FIT 制度についての効果を表す変数を **fit** だけを用いて回帰し、RPS 制度についての効果を表す変数を **rps** だけを用いて回帰している。つまり、**fit** と **rps** の変数の係数の大きさを比較することで政策の効果の大きさを比較することが出来る。回帰モデルについてはランダム効果モデル

ルのみを採用し、(1)線形モデル、(2)両対数モデル、(3)対数線形モデルの三種類の需要関数のモデルについて回帰した。各変数の係数の符号について考察していく。まずは fit と rps の係数の大きさの比較である。線形モデルと対数線形モデルは fit と rps の係数の符号は正で有意となった。係数の大きさは fit の方が rps よりも大きく、FIT 制度の方が RPS 制度の方が普及に対する効果が大きいと考えられる。しかし、両対数モデルは fit の符号が負となっていて、期待される符号と異なっている。また、他の符号について考察すると newhouse 以外は期待される符号と一致する。期待される符号と一致していない newhouse については世帯数を表す households と多重共線性が生じている可能性が考えられる。

4.4 両制度の比較と総括

4.3 節で 2 つの回帰分析を行った。表 4-4 と表 4-5 にその結果がまとめられている。まず、表 4-4 から得られた FIT 制度と RPS 制度の太陽光パネル普及に対する効果について考察する。考察の内容は 4.3 節で述べた通りであるが、FIT 制度導入に関しては予想通り太陽光パネルの需要を高めることが分かった。買取価格に関しても予想通り、買取価格を高くすると需要が高くなるが、買取期間に関しては予想に反して太陽光パネルの需要が低くなるという結果が得られた。この結果に関しては、買取期間が FIT 制度導入後 10 年間で一定で変化がなかった。これらの要因からデータ上の問題で他の変数と多重共線性などの問題を引き起こし、予想に反した結果が得られたと考えられる。次に RPS 制度について考察する。RPS 制度導入に関しては太陽光パネルが低くなるという結果が得られた。この結果は予想に反する結果となったが、RPS 制度は FIT 制度と異なり制度の対象が電力会社となっている。つまり、太陽光パネルの消費者に対して電力会社を通じて間接的に効力をもたらしていると考えられる。このことが予測と違った結果が得られた要因であると考えられる。しかし、RPS 目標値については予想通り、高く設定すると太陽光パネルの需要が高まるという結果になった。

最後に、FIT 制度と RPS 制度の効果を単純比較するために回帰式を変えた表 4-5 の結果について考察する。この結果については、両対数モデル以外の 2 つのモデルでは FIT 制度の方が RPS 制度よりも太陽光パネル普及に対する効果が大きいことが分かった。つまり、消費者に間接的に効力をもたらしている RPS 制度のよりも FIT 制度よりも大きな影響をもたらしていると推測できる。

第5章 住宅用太陽光パネルのシミュレーション分析

この章では第4章で得られた需要関数を用いて、太陽光パネルの普及予測を行う。シミュレーションをするにあたっていくつかの仮定を想定し、理論値推定を行うことによって今後の太陽光パネルの普及について分析する。

5.1 シミュレーションに用いる需要関数と仮定

この節ではシミュレーションを行う上で用いる需要関数と仮定について述べる。まずは需要関数についてであるが第4章で求めた表4-4にある(5)両対数モデルのランダム効果モデルで分析した需要関数を用いる。この需要関数を選んだ理由は決定係数の観点からと期待される符号との一致性から選出した。次に仮定については、4つの観点について仮定を置いている。1つ目はパネルシステム導入費用について、2つ目はFIT制度の買取価格について、3つ目はRPS制度のRPS目標値について、4つ目はその他の外生変数についての仮定である。それらの4つの項目についての仮定をまとめたものが表5-1である。4つの項目が今後どのように変化するかを仮定したものである。それぞれの数値が現在までどのような変化をしてきたのかを分析することで、今後の数値の変化を仮定した。

表 5-1 シミュレーションの仮定

パネル導入費用	(a)現在(2014年)と同じ
	(b)1994年から2014年までの低下率の平均である年率7.6%の減少を仮定
	(c)2015年以降5年で半減し(年率13%)、それ以降は一定
買取価格	(1)現在(2014年)と同じ
	(2)2015年から廃止
	(3)5年で24円/kWhにする
RPS目標値	(i)最後の年である2011年と同じ128.2(kWh/年)で一定
	(ii)施行された2003年から2011年までの平均変化率である年率7.4%の増加を仮定
	(iii)5年で倍にし(年率15%)、それ以降は一定
その他の外生変数	2014年の値で一定

5.2 シミュレーション結果

3つのシミュレーション結果について考察する。1つ目がFIT制度の買取価格の仮定とパネル導入費用の仮定を変化させたときのシミュレーション結果、2つ目がRPS制度のRPS目標値の仮定とパネル導入費用の仮定を変化させたときのシミュレーション結果、3つ目がFIT制度の買取価格の仮定とRPS制度のRPS制度目標値の仮定を変化させたときのシミュレーション結果である。

5.2.1 FIT制度のシミュレーション結果

FIT制度の買取価格の仮定(3種類)とパネル導入費用(3種類)の仮定を変化させたときのシミュレーション結果、つまり9種類の仮定の結果について考察する。ただし、RPS制度については導入されていないと仮定している。

図5-1 FIT制度下の累積導入量(kW)

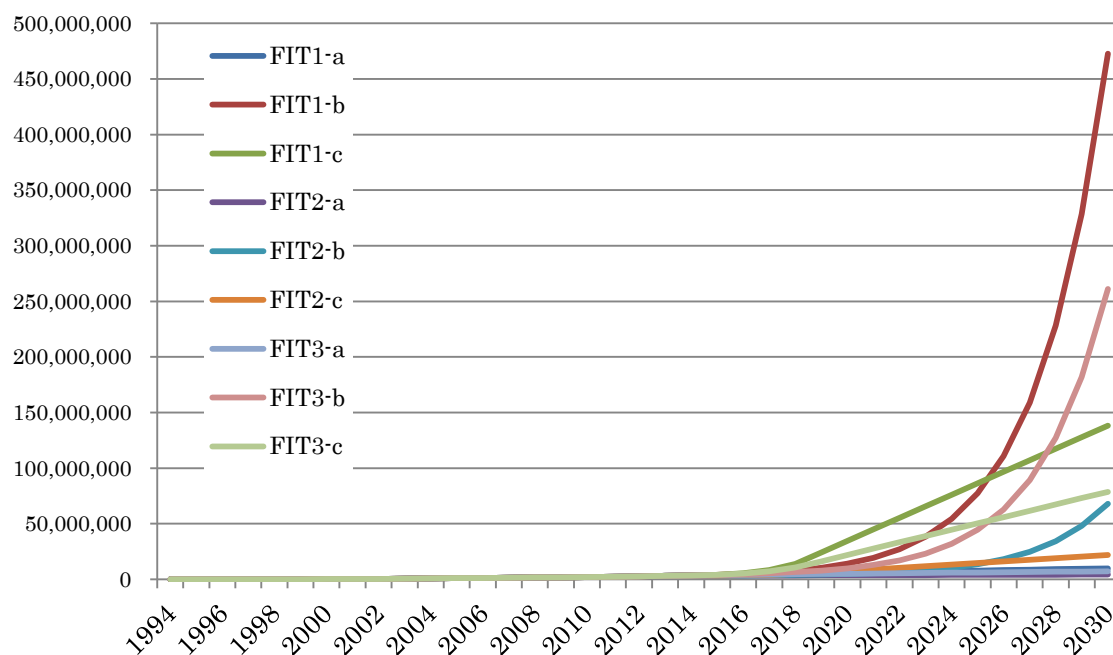


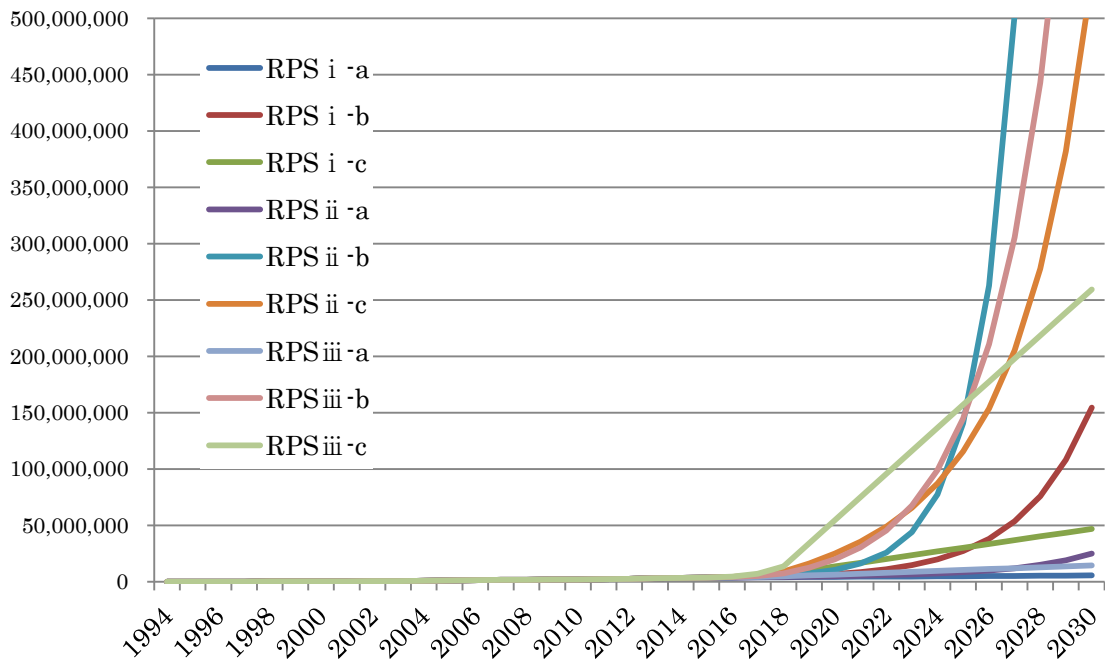
図5-1がシミュレーションの結果をグラフで表したものである。縦軸が太陽光パネルの累積導入量(kW)を表し、横軸が年を表している。1994年から2014年までは実際の観測値を用いており、2015年から本論文で求めた需要関数の理論値を用いて予測している。FIT1-aが表5-1の「仮定(1)買取価格は現在と同じ」と「仮定(a)パネル導入費用は現在と同じ」を用いた時の累積導入量の変化を表したものである。結果につい

て考察していく。太陽光発電協会(JPEA)は 2030 年に 100GW=100,000,000kW の累積導入量を目標として掲げている。今回のシミュレーションは住宅用太陽光パネルに限っているが、その中でもこの目標を超えたのは上から FIT1-b,FIT3-b,FIT1-c である。このことから分かる通り、現行の FIT 制度を廃止することは目標値を達成するためには大きな障害になることが分かる。そのため、目標値を達成するためには FIT 制度の買取価格を緩やかに低下させるような仮定(3)のような対策が必要である。特にパネルの消費者としては FIT 制度が廃止されるとなると、駆け込み需要が発生しその後の需要が急落する恐れがある。その結果、太陽光発電に混乱が生じ再生可能エネルギー政策にも影響が出る。現在、FIT 制度による電力買取を一般の電力消費者に負担させていることによる電力価格高騰が懸念されている。太陽光パネルの安定供給、電力自由化による太陽光発電のコスト減少に向けて、スムーズな FIT 制度の運用が必要になる。そのために仮定(2)のような緩やかな買取価格の減少が目標値を達成する事と太陽光発電による電力価格を低下させるためにも重要であることが考察できる。次に累積導入量が下から 3 つまでのシミュレーションについて考察する。累積導入量が低いのは下から FIT2-a,FIT3-a,FIT1-a である。どれも「仮定(a)パネル導入費用が現在と同じ」である。つまり、FIT 制度の買取価格の変化も重要であるがパネル導入費用の減少の方が累積導入量を増やすためには重要であることがこの結果から考察できる。このことから、パネル生産の技術革新を促しパネル価格の低下をもたらしことを優先すべきであることが分かる。FIT 制度はパネル導入費用を早期に回収するという効果もあるが、FIT 制度だけで太陽光パネル普及を進めるのではなく、生産面に関しても価格低下を促す必要がある。先述したが、FIT 制度導入による電力価格の上昇が懸念されている。それを解決するためにも太陽光パネル自体の価格を下落させ、FIT 制度に依存しない太陽光発電の発展を実現しなければならない。

5.2.2 RPS 制度のシミュレーション結果

RPS 制度の RPS 目標値の仮定(3 種類)とパネル導入費用の仮定(3 種類)を変化させたときのシミュレーション結果について考察する。ただし、FIT 制度については導入されていないと仮定する。図 5-2 は RPS 制度下の累積導入量を表している。図 5-1 と同様の軸の設定をしており、観測値と理論値の用い方も同様である。例を用いると、RPS i -a は「仮定(i)RPS 目標値が政策の最後の年である 2011 年と同じ 128.2(億 kWh/年)で一定」と「仮定(a)パネル導入費用が現在(2014 年)と同じ」を用いた時の累積導入量の推移を表したものである。

図5-2 RPS制度下の累積導入量(kW)



まず、上位3つについて考察する。2030年における累積導入量上位3つは上からRPS ii-b, RPS iii-b, RPS ii-cである。これらの3つは大幅に目標値100GWを超えており、需要関数そのものにRPS制度のRPS目標値の係数が過大に出してしまっている可能性が考えられる。しかし、その影響を考えてもRPS制度のRPS目標値を変えることは少なからず太陽光パネルの普及に影響を及ぼしている事が考えられる。特に上位3つを見て分かる通り、RPS目標値を年々に増加させている仮定が並んでいる。つまり、その年のRPS目標値を達成して満足するのではなく毎年RPS目標値を見直し高い目標を持つ必要があること考えられる。また、上位3つの共通点として、パネル導入費用が減少している仮定である、特に(b)の仮定が上位にあることが分かる。つまり、FIT制度と同様に太陽光発電に向けてパネル導入費用の減少が重要である。次に下位3つについて考察する。下位3つは下からRPS i-a, RPS iii-a, RPS ii-aである。このことから分かる通り、どの仮定も「(a)パネル導入費用が現在(2014年)と同じ」である。つまりパネル導入費用が下がらない限り、RPS目標値を上昇させても累積導入量を上昇させることが出来ないことが分かる。つまり、FIT制度と同様に、パネル導入費用を下落することを優先させ生産者側の視点に立つことが重要であると考えられる。RPS制度についてはFIT制度導入と共に廃止された。RPS制度はFIT制度よりも直接的にパネルの消費者に影響を及ぼす制度ではないことは本論文の実証分析でも考察

できたが、それと同様に一般の電力消費者への負担も少ないと考えられる。その理由として、再生可能エネルギー比率を高めるために電力会社が太陽光発電から電力を調達するとしても、現行の FIT 制度の買取価格より低い価格で調達することが出来る。実際に FIT 制度が導入する前の買取価格は 22.9(円/kWh)と推定できる。2008 年の電気事業便覧(従量電灯 B または乙の 2 段目)の価格の各都道府県の平均を用いた。この買取価格は現行の FIT 制度の買取価格 37(円/kWh)を大きく下回るものである。つまり、FIT 制度よりも RPS 制度の方が低い値段で電力会社が調達できるため一般の電力消費者に対する電力価格も安く抑えられ、負担が少なくなる。しかしながら、理論分析でも述べた通り、太陽光パネルを導入する消費者にとっては FIT 制度の方が高い価格で買い取ってもらえるため、パネル導入の負担が小さくなる。これらの 2 者の立場も考慮しバランスのとれた政策を考える必要がある。

5.2.3 FIT 制度と RPS 制度のシミュレーション結果

ここではシステム導入費用の仮定は「(a)現在(2014 年)と同じ」で一定とし、FIT 制度の買取価格の仮定(3 種類)と RPS 制度の RPS 目標値の仮定(3 種類)を変化させたときのシミュレーション結果について考察する。システム導入費用の影響は考えず、FIT 制度と RPS 制度の適切な組み合わせ、共存可能性について考察していく。

図5-3 FIT制度とRPS制度下の累積導入量(kW)

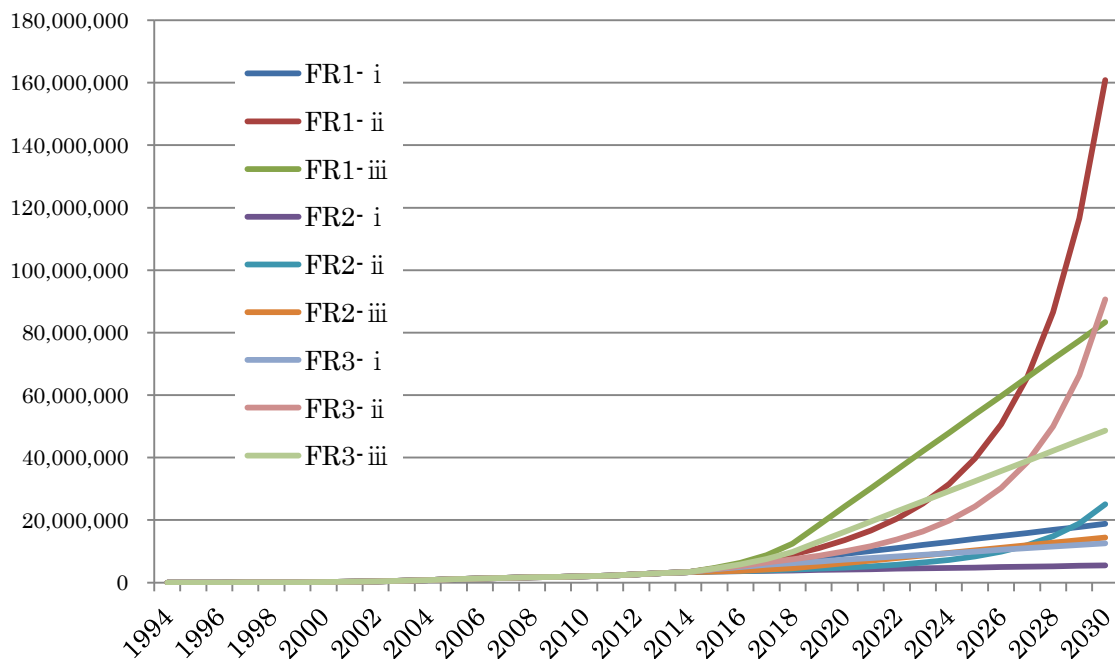


図 5-3 は FIT 制度と RPS 制度の両方の制度を採用した場合の累積導入量を表している。図 5-1 と同様の軸の設定をしており、観測値と理論値の用い方も同様である。例を用いると、FR1-i は「仮定(1)FIT 制度の買取価格は現在(2014 年)と同じ」と「仮定(i)最後の年である 2011 年と同じ 128.2(kWh/年)で一定」の時のシミュレーションの結果である。まず、累積導入量が上位 3 つの結果について考察する。上位 3 つは上から、FR1-ii,FR3-ii,FR1-iii である。FIT 制度の買取価格については「仮定(1)現在(2014 年)と同じ」が累積導入量の高い結果をもたらしていることが分かる。つまり、高い買取価格を維持し続けることが累積導入量を高くすることにつながる。しかし、現在の制度のまま買取価格を設定したら、一般の電力価格を高くするため、一般の電力消費者に負担がかかるという事態につながってしまう。持続可能な再生可能エネルギー政策にするためには、買取価格の低下は必要不可欠である。そのためのヒントとして考えられるのが上位 3 つの中で唯一仮定(1)を含まない FR3-ii のシミュレーション結果である。FIT 制度の買取価格は 5 年後に 24 円/kWh に低下させ、RPS 制度の RPS 目標値は年率 7.4%増加させていく。つまり、FIT 制度の買取価格を低下させる負の影響を RPS 制度の RPS 目標値を高めることでカバーしている。このことから、FIT 制度と RPS 制度を共存させることが出来るとしたら、一般の電力消費者への影響が少ない RPS 制度と、太陽光発電普及の影響が大きい FIT 制度を組み合わせることで両者のメリットを生かすことが出来ると考えられる。次に下位 3 つの結果について考察する。下位 3 つは下から FR2-i,FR3-i,FR2-iii である。FIT 制度の買取価格については「仮定(2)2015 年から廃止」が下位に多く見られる。つまり、急な廃止というのは長期的な目線で見ると効果的な政策ではないことが分かる。また、RPS 制度の RPS 目標値は「仮定(i)最後の年である 2011 年と同じ 128.2(kWh/年)で一定」が下位に多い。つまり現状維持の目標では累積導入量を大きく伸ばすことが出来ないのである。これらのことから、FIT 制度については緩やかな買取価格の低下、RPS 制度については現状維持ではなく年々増加させていく必要があることが考察できる。

5.3 CO2 削減効果

この節では、5.2 節で求めたシミュレーション結果を用いて、太陽光発電の普及による CO2 の削減効果について考察する。CO2 の削減効果を分析するにあたって大橋・明城 (2009a) を参考に分析した。大橋・明城 (2009a) では独立行政法人新エネルギー

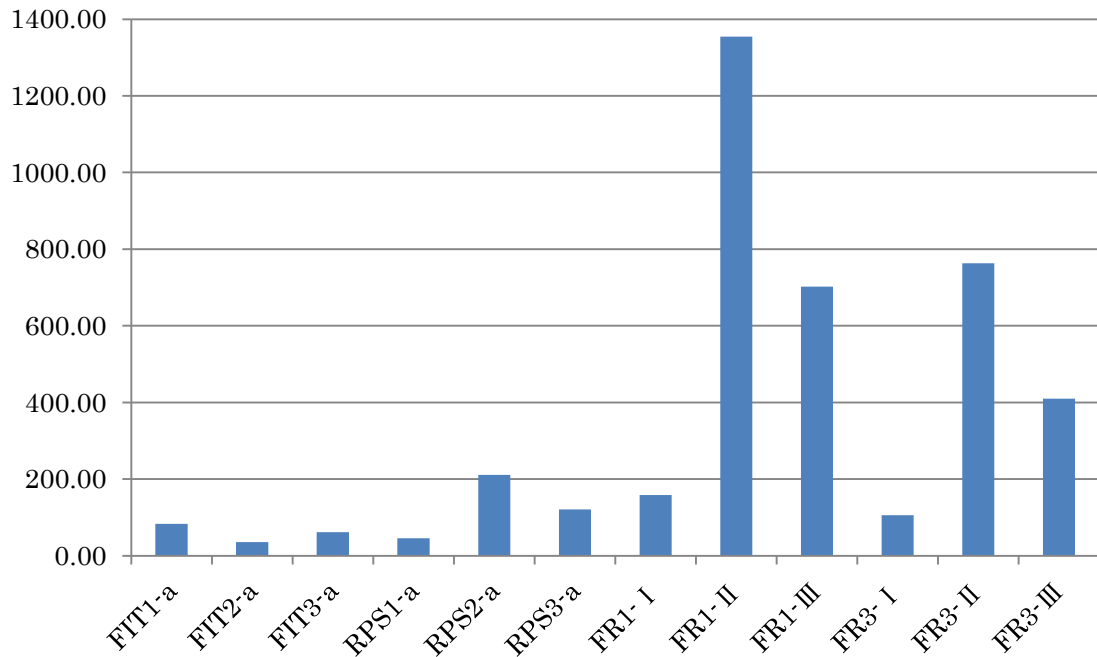
一・産業技術総合開発機構(NEDO)¹にて公表されている太陽光発電の排出原単位に基づいて CO₂ の削減効果を試算している。それによると太陽光発電による発電 1kWh につき電力平均との差 387.0g の CO₂ 削減効果があると考えられ、太陽光発電の耐用年数は 20 年であるとしている。これらのことを用いて、1994 年から 2030 年にかけての住宅用太陽光発電の普及がもたらす CO₂ 削減効果は以下で表される。

$$\Delta CO_2 = \sum_{1994}^{2030} \sum_j 20\rho\mu_{jt}q_{jt}^{sys} \quad (5.1)$$

ρ は太陽光発電 1kWh あたりの CO₂ 削減効果(g/kWh)、 μ_{jt} は太陽光発電 1kW あたりの発電量(kWh/kW)、 q_{jt}^{sys} は都道府県 j における t 期の太陽光発電の導入量を表している。なお、太陽光発電 1kW あたりの発電量(kWh/kW)については太陽光発電協会(JPEA)が公表している 1kW あたりの年間発電量約 1,000kWh という値を用いる。そして、大橋・明城 (2009a) では、CO₂ 削減効果がどれだけの経済価値があるかを、CO₂ の外部性を計量することによって試算している。それに基づいて本論文でも CO₂ 削減効果の経済価値を試算する。大橋・明城 (2009a) では 3 つの手法を用いて試算している。第 1 の方法が市場の取引価格に基づく方法である。環境省の主導によって自主参加型による事業者間の CO₂ 排出権取引が行われている。その価格である 2005 年から 2007 年の取引価格 1212(円/t)を用いる方法である。第 2 の方法が CO₂ の増加がもたらす損害、例えば地球温暖化や生態系の破壊、異常気象などの経済損害額を推計する方法である。Tol (2005) を参考にし、CO₂ の社会的費用の限界費用の平均値である 3044(円/t)を用いて推計した。第 3 の方法が CO₂ 削減目標値を達成するのに必要なグリーン技術の導入や研究開発、産業規制などの対策を実施するのに必要な費用積算に基づく方法である。1990 年比で 2050 年に温室効果ガスを 70%削減するための平均削減費用の上限は 10882(円/t)である。この値を用いて推計する方法である。

¹ NEDO 資料『太陽光発電のライフサイクル評価に関する調査研究』, 2007.

図5-4 1994年から2030年までのCO2削減効果の経済価値(百億円)



※10882 円/t の指標を用いた

表 5-2 CO2 削減効果

	CO2 削減量(億 t)			CO2 削減効果の経済価値(百億円)		
	2020 年	2030 年	1994-2030	1212 円/t	3044 円/t	10882 円/t
FIT1-a	0.03	0.03	0.77	9.34	23.46	83.88
FIT2-a	0.00	0.00	0.33	4.01	10.08	36.02
FIT3-a	0.02	0.02	0.57	6.85	17.21	61.53
RPS1-a	0.01	0.01	0.43	5.15	12.94	46.25
RPS2-a	0.03	0.47	1.94	23.48	58.98	210.86
RPS3-a	0.06	0.06	1.11	13.49	33.88	121.12
FR1-I	0.07	0.07	1.45	17.62	44.26	158.21
FR1-II	0.19	3.42	12.45	150.87	378.91	1354.56
FR1-III	0.46	0.46	6.45	78.22	196.46	702.34
FR3-I	0.04	0.04	0.97	11.80	29.64	105.94
FR3-II	0.11	1.87	7.01	85.00	213.48	763.15
FR3-III	0.25	0.25	3.77	45.64	114.62	409.74

図 5-4 は CO2 削減効果(億 t)をグラフに表したものである。FIT 制度と RPS の効果のみを比較、考察するために「仮定(a)パネル導入費用が現在(2014)年と同じ」のみのシミュレーション結果から試算している。また、同内容の仮定となった試算結果は省略している。また、表 5-2 は CO2 削減効果の詳細である。CO2 削減量(億 t)の欄では 2020 年の列では 2020 年に普及した太陽光パネルが今後 20 年でどれだけの CO2 を削減するかを示した。2030 年の列も同様である。1994-2030 の列では 1994 年から 2030 年の間に普及した全ての太陽光パネルがどれだけの CO2 を削減するかが示されている。次に、CO2 削減効果の経済価値(百億円)の欄であるが、ここには先述した CO2 の削減量を経済価値に変換する 3 つの方法を用いて、経済価値を試算した結果を示した。

結果は、CO2 削減効果が大きいのは上位から FR1-II,FR3-II,FR1-III である。これらの仮定に目立つのは、FIT 制度と RPS 制度を組み合わせた仮定になっていることである。特に FR3-II は FIT 制度の買取価格を低下することで落ち込む需要を RPS 制度の RPS 目標値を高く設定することで高い需要を維持し、CO2 の削減に貢献している。上位 3 つの CO2 削減量(億 t)は、上から 12.45、7.01、6.45 である。これらの CO2 削減量を 10882 円/t の指標を用いて経済価値(百億円)に換算すると、上から 1354.56、763.15、702.34 である。つまり最高の CO2 削減効果がある FR1-II においては市場取引額を用いる方法では約 1.5 兆円、経済損害額を用いる方法では 3.8 兆円、削減費用を用いる方法では 13.5 兆円の削減効果による経済価値があることが分かった。しかしながら、この仮定では FIT 制度の買取価格は現在のままであり、RPS 目標値も高く設定されている。つまり、FIT 制度では一般の電力需要者に賦課金という形で負担がかかり、RPS 制度では、電力会社に負担がかかるという結果になる。それらの点も考慮して政策を決定する必要がある。これらの負担を軽減するために太陽光パネルの効率的な低価格での生産を促し、システム導入費用を低下させる必要がある。その結果、FIT 制度の買取価格を低くしても需要を維持することが可能となり、賦課金による一般の電力消費者への負担が軽減される。RPS 制度についても、太陽光パネルの需要が普及し FIT 制度の買取価格が低下すれば再生可能エネルギーとして太陽光発電による電力を低い価格で買い取ることが出来るようになり、負担が軽減されると考えられる。

次に、CO2 削減効果下位 3 つは下から FIT2-a,RPS1-a,FIT3-a である。最も削減効果が少なかった FIT2-a の CO2 削減量(億 t)は 0.33 である。この削減量を経済価値(百億円)に変換すると、市場取引額を用いる方法では約 400 億円、経済損害額を用いる方法では 1,000 億円、削減費用を用いる方法では 3,600 億円の経済価値があることが分かった。FIT2-a の仮定では CO2 削減効果の経済価値は他と比較して小さいものの、

FIT 制度は廃止され、RPS 目標値も低い設定になっている。そのため一般の電力消費者や電力会社への負担は小さくなっている。しかし、急な FIT 制度の廃止は需要の混乱を招き、急激な需要減にもつながる可能性があるため慎重に決定する必要がある。

第6章 結論

本論文では、太陽光パネルシステムの需要関数を推定し、FIT制度の買取価格やRPS制度のRPS目標値、太陽光パネルシステム導入費用に仮定を設定し、得られた需要関数を用いてシミュレーションを行った。理論分析では外部不経済の大小でFIT制度とRPS制度の望ましさに変化した。FIT制度では価格支配力の是正の効果があり、RPS制度は外部不経済の是正の効果があることが分かった。実証分析を行った結果は、FIT制度下では、現行のFIT制度を廃止することは太陽光発電の普及に悪影響を及ぼすことが分かった。現在、FIT制度による電力買取を賦課金を設けて一般の電力消費者に負担させていることも考慮すると、緩やかな買取価格の減少が重要である。RPS制度下では、RPS目標値を年々に増加させている仮定が累積導入量で上位となった。つまり、毎年RPS目標値を見直し高い目標を設定することが重要である。最後に、FIT制度とRPS制度を組み合わせたシミュレーションでは、高い買取価格の維持が累積導入量を増加させるが、現在のまま高い買取価格を設定したら、賦課金により一般の電力消費者に負担がかかってしまう。一般の電力消費者の負担軽減のためにも、買取価格の低下は必要不可欠である。そして、本論文ではシミュレーションの結果を用いて、CO₂の削減効果を試算した。この試算においては、パネル導入費用は現在(2014年)と同じという仮定を用いている。最もCO₂削減効果が大きい結果が得られた仮定であるFR1-IIにおいては、市場取引額を用いる方法では約1.5兆円、経済損害額を用いる方法では3.8兆円、削減費用を用いる方法では13.5兆円の削減効果による経済価値があることが分かった。また、最もCO₂削減効果が小さい結果が得られた仮定であるFIT2-aにおいては、市場取引額を用いる方法では約400億円、経済損害額を用いる方法では1,000億円、削減費用を用いる方法では3,600億円の経済価値があることが分かった。

大きく分けてFIT制度、RPS制度、2つを組み合わせた制度の3つのシミュレーションをして分析したが、共通することはシステム導入費用を低くすることが、社会厚生観点から必要であるという事である。FIT制度ではシステム導入費用が低下すれば、買取価格を低くしても需要を維持できるため賦課金による一般の電力消費者の負担を軽減することが出来る。また、RPS制度ではシステム導入費用の低下による買取価格の低下から太陽光発電からの電力調達費用が低下し、電力会社の負担を軽減することが出来る。これらの理由から、システム導入費用を技術革新を促すなどにより低下させることが非常に重要であることが考察できた。FIT制度RPS制度の

どちらにもメリットとデメリットが存在する。それらを補い合うような制度設計にするべきであることが、分析を通して考察することが出来た。しかし最も注力すべきことはシステム導入費用の低下を促すことである。FIT 制度には価格支配力是正の効果があることが示されたが、現在の制度では賦課金として一般の電力消費者への負担が大きくなっているのが現状である。買取価格を段階的に低下させるためにもシステム導入費用の低下が必要である。また、外部不経済の是正効果があることが示された RPS 制度であるが、システム導入費用の結果、太陽光パネルの需要が増加し普及すれば CO2 削減効果を試算した通り、外部不経済を減少させることが出来る。これらの考察から、システム導入費用の低下を促すことが重要であることが結論として得られた。

参考文献

- 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2007), 「太陽光発電のライフサイクル評価に関する調査研究」 NEDO 報告書
- 電気事業連合会統計委員会 (1994-2008), 「電気事業便覧」 日本電気協会.
- 牛房義明 (2013), 「再生可能エネルギー固定価格買取制度における余剰買取と全量買取の比較分析」 北九州市立大学『商経論集』第 49 巻第 1・2 号.
- 大橋弘・明城聡 (2009a), 「太陽光発電の普及に向けた新たな電力買取制度の分析」 文部科学省科学技術政策研究会.
- 大橋弘 (2014), 「プロダクト・イノベーションの経済分析」 東京大学出版会.
- 日引聡・庫川幸秀 (2013), 「再生可能エネルギー普及促進策の経済分析～固定価格買取(FIT)制度と再生可能エネルギー利用割合基準(RPS)制度のどちらが望ましいか?～」 独立行政法人経済産業研究所.
- 明城聡・大橋弘 (2009b), 「住宅用太陽光発電の普及に向けた公的補助金の定量分析」 文部科学省科学技術政策研究会.
- David Genesove and Wallace P. Mullin (1998), “Testing Static Oligopoly Models: Conduct and Cost in the Sugar Industry, 1890-1914,” *Rand Journal of Economics*, Vol. 29, No.2, 355-377.
- Meszaros Matyas Tamas, S.O.Bade Shrestha, Huizhong Zhou (2010), “Feed-in tariff and tradable green certificate in oligopoly,” *Energy Policy*, 38, 4040-4047.
- Richard, S. J. Tol (2005), “The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties,” *Energy Policy*, 33, 2064-2074.
- Sanya Carley (2009), “State renewable energy electricity policies: An empirical evaluation of effectiveness,” *Energy Policy*, 37, 3071-3081.
- Steffen Jenner and Felix and Joe Indvik (2013), “Assessing the strength and effectiveness of renewable electricity feed-in tariffs in European Union countries,” *Energy policy*, 52, 385-401.
- RPS 法ホームページ <http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/top/main.html>
- 一般社団法人太陽光発電協会ホームページ <http://www.jpea.gr.jp/>
- 気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 国土交通省ホームページ <http://www.mlit.go.jp/index.html>

再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック

http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/data/kaitori/2015_fit.pdf

資源エネルギー庁ホームページ <http://www.enecho.meti.go.jp/>

自然エネルギー財団ホームページ <http://jref.or.jp/>

新エネルギー財団ホームページ <http://www.nef.or.jp/>

総務省統計局ホームページ <http://www.stat.go.jp/>

日本銀行ホームページ <http://www.boj.or.jp/index.html/>

パナソニックホームページ http://sumai.panasonic.jp/solar/subsidy_info.html

あとがき

本論文のテーマを選んだ理由はゼミで大橋（2014）を勉強した際、その中で太陽光パネルの普及のシミュレーションを行っていたことに興味を持ったからである。未来のことを推測することは私にとって非常に魅力的であった。このことがきっかけで、需要関数の推定とシミュレーションをやってみようと考えた。再生可能エネルギーは現在、東日本大震災を機に注目されている。中でも、太陽光発電は FIT 制度が導入され需要が拡大した。しかし、買取価格が高いことから賦課金による電力価格の上昇が一般の電力消費者の負担を重くしている。そのため、FIT 制度の廃止が議論され現在に至っている。私は、再生可能エネルギーの普及は CO2 削減からも重要であると考えている。この FIT 制度の廃止が今後の再生可能エネルギーの普及にどのような影響を及ぼすのかを検討してみたいと考えた。分析を進める中で FIT 制度の前に RPS 制度が存在していたことを知り、2つの制度の普及に対する効果を比較し分析したいと考えた。また、2つの制度を組み合わせるとどのような効果が出るのか、両制度で互いにデメリットをメリットで補い合うことが出来るのかを検討した。試行錯誤しながら、興味深くシミュレーションを行いながら分析を進めることが出来た。

論文を執筆するにあたって、3年次にグループで三田祭論文を書いた経験があったが、最初から最後まで自分1人で論文を書き上げることは難しく、何度も先行研究を読み、しっかりと理解をしたうえで理論・実証分析に取り組んだ。特に、実証分析はデータの収集から加工、回帰を行い非常に苦労した。最初は多重共線性や欠落変数、操作変数の設定方法などの影響で決定係数が低かったり、明らかに間違った係数の値が出てしまったりした。しかし、ゼミでの卒業論文中間発表で石橋先生をはじめ、4年生、3年生からアドバイスを頂き、1つ1つの課題を解決していくことが出来た。完成するまでに何度も試行錯誤を繰り返したが、需要関数の推定やシミュレーション、電力市場は興味のある分野だったので、楽しみながら分析を進めることが出来た。

最後にテーマ設定から何度も相談に乗ってくださりサポートをしてくださった石橋先生、弱音を吐きながらも最後まで卒業論文に熱心に向き合い互いに励まし合った同期、中間発表での的確なアドバイスをくれた3年生に心から感謝申し上げたい。