

16. 再生可能エネルギー導入政策のモデル分析

Analysis of the policies and measures for promoting electricity from renewable energy sources using Applied General Equilibrium Model

林 周*・盛岡 通**

Amane HAYASHI, Tohru MORIOKA

ABSTRACT : Renewable energy (Solar power, Wind Power, Biomass, etc) is a power generation system which does not discharge carbon dioxide in process of power generation, and in order to consider as what can build sustainable energy system, it attracts attention as an effective means. In European Union and the United States, various policies for making renewable energy spread in electricity market is implemented focusing mainly on obligation of acquisition of the electric power generated by renewable energy in. This paper, through overview of the renewable-energy spread policy of some countries, analyzes and evaluates the effect and economical influence by the promotion policy for the photovoltaics and the wind power to which spread of the future is expected. The economical influences of measures toward the spread of renewable energy are verified analyzed by using the applied general equilibrium model. As a result, the introduction on the renewable energy is influenced by the investment subsidy to the renewable energy, which source is revenue of a carbon tax, and the change of the demand characteristic (consuming structure) accompanied by the increase of green consumers.

KEYWORDS ; Renewable Energy(RE), Photovoltaic, Wind Power, Applied General Equilibrium Model

1. はじめに

再生可能エネルギー (RE : Renewable Energy) は、発電の過程で二酸化炭素を排出しない発電システムであり、エネルギーシステムを持続可能なものとするために有効な手段として注目されている。代表的な再生可能エネルギーとして、太陽光発電や風力発電があり、特に太陽光発電は世界で第1位の導入量となっているように徐々に普及が進んでいる。しかし、長期的には地球温暖化問題への対策において、CO₂ 排出量の削減に向けてより大規模な導入を図る必要があると考えられる。ヨーロッパ、アメリカでは、再生可能エネルギーにより発電した電力の買い取りの義務付けを中心として、再生可能エネルギー普及のための様々な政策が実施されている。日本でも今後、先行している海外の導入政策事例の評価を行った上で、多様な政策メニューを実施し本格的に再生可能エネルギー導入と市場自立化を図る必要がある。

再生可能エネルギー導入を技術面から評価した研究として、技術別に太陽光発電発電システムの導入量を世界での地域別の評価したもの¹⁾や、習熟曲線による導入量とそれによる導入量の予測等を行った研究^{2), 3)}がある。また、再生可能エネルギーの政策とその導入効果を分析した研究として、太陽光発電システム設置形態やパネルの材質等の技術要素別に補助金による導入効果の予測を行った研究⁴⁾等がある。奥島[2000]⁵⁾は、補助金以外に炭素税、グリーン電力制度による太陽光発電の導入量変化と CO₂ 排出量削減効果を産業連関分析により CDP 一定の制約下でのマクロレベルでの CO₂ 削減効果を併せて評価している。

これら既往研究においては、技術と政策による導入量評価及び CO₂ 産業連関分析に基づいたライフサイクルでの CO₂ 削減効果等を扱っているが、再生可能エネルギー事業を一つの産業として捉え、導入・普及を図

* 大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻博士後期課程 PhD fellow of Environmental Eng., Graduate School of Eng., OSAKA Univ

** 大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻教授 Prof. of Environmental Eng., Graduate School of Eng., OSAKA Univ.

る各種の政策により導入量が増加し、その影響が産業に波及することをマクロな経済システムの枠組みで評価した扱った研究は少ない。

そこで本研究は、再生可能エネルギーによる発電事業を産業として自立させるような効率的な施策を検討することを目的として、まず先進国の再生可能エネルギー導入普及政策の整理を通じて、再生可能エネルギー導入政策の分類を行い、政策実施の論理を明らかにする。次に再生可能エネルギーとして事業化の可能性が高く、将来の普及期待される太陽光発電と風力発電を対象として、その導入促進政策による産業への効果とコスト低減効果を分析・評価した。

2. 再生可能エネルギーの現状と導入普及に関する政策・措置

2.1 再生可能エネルギーの普及と問題点

1998年現在、太陽光発電の導入量は約13万kW、風力発電は3.8万kWである。政府の現行の目標では2010年にそれぞれ、500万kW、30万kWとなっているが、風力発電は現実には既にそれを追い越す勢いで導入が進んでおり、表1に示した現状での再生可能エネルギー普及に関する問題点を踏まえ、目標値とそのため

2.2 政策と措置

再生可能エネルギー導入政策の代表的なものについて表2に整理した。以下に概要を述べる。

(A) 規制措置

主として、電力系統を保有する電力会社に対して行政当局から再生可能エネルギーによる電力（RES-E）の買い取りを義務付ける政策である。買い取りの価格に関しても自主的に決められる場合と当局の規制を受ける場合とがある。また、買い取り価格と電力料金の差額を政府の負担で補填する場合もある。

(B) 補助金

設備投資に対する直接的な初期コスト低減策である。直接的な補助金の他には発電電力量当たりの購入単価への補助もある。

(C) 炭素税

化石燃料の持つ外部環境コストを価格に内部化し、CO2排出量のより少ないエネルギーの優位性を高めるための経済的手段。税収を省エネ投資に回すこともできる。

(D) グリーン電力制度

消費者・需要家のグリーン志向を刺激し、RE発電の普及に結び付けようという

表 1 太陽光・風力発電に関する普及の問題点

要因	太陽光発電	風力発電
制度的	・ 設置一件当たりの補助金額が少ない	・ 各種法律による道路、柵等の付帯設備の設置が必要 ・ 煩雑な工事認可手続き
	・ 電力買い取り制度による投資回収の保証がされていない ・ 再生可能エネルギー全体に対する政府予算が他のエネルギーに比べて小さい	
経済的	・ 材料費が高く、発電コストが既存電源よりも高い	・ 風力資源の多い僻地や海岸線等に設置する際の追加的送電設備の費用負担が必要
	・ 化石燃料等の競合するエネルギー価格に環境コストが反映されていない	
技術的	・ 出力変動による系統連携における電力品質の低下	
土地利用	・ 共同住宅等に設置する場合のシステム、電力の所有権の問題 ・ 大規模システム設置は広大な土地が必要	・ 各種法律による立地困難性 ・ オフショア設置 ・ 風資源と立地容易性との地理的乖離

表 2 再生可能エネルギー導入政策

施策カテゴリー		概要
買い取りの義務付け		RES-Eの電力系統への接続を認め電力を買い取る
取引量の下限の義務付け		RES-Eの最低買い取り量の設定をする
補助金		設置システムの設備容量に応じた補助金額の交付 電力会社によるRES-Eの買い取り補助
税控除	所得税控除	
	投資税控除	
炭素税		競合する化石燃料エネルギー価格の上昇
グリーン電力	プロジェクト貢献型	・ 電力会社の用意する特定のプロジェクトや基金に対して市民、企業が電力料金に追加料金を支払う ・ 設置されるRE設備や発電電力量と支払う金額は無関係
	直接投資型	・ 特定のRE設備への投資に顧客が直接参加する。
	電源の選択方式	・ REを含む各種の発電形態から電源を選択できる ・ 上乗せ料金と組み合わせる
グリーン証書		・ RES-Eに「グリーン証書」を発行、全ての顧客に購入を義務付ける ・ 電力市場以外に証書の取引市場ができる

制度であり、消費者は通常の電力料金に加えて定額、あるいは使用電力量に応じた一定の金額を自由意思に基づいて支払う。これを再生可能エネルギーへの投資、補助金等の基金とする制度である。

以上挙げた政策・措置のうち、炭素税、補助金、グリーン電力制度について経済モデルによりその影響の分析を行う。

3. 分析モデルの構築

3.1 応用一般均衡モデルの概要

応用一般均衡モデルを用いて分析を行う。以下にその概要を示す。

経済には家計と企業が存在すると仮定される⁶⁾(図1)。家計は財・サービスの購入に際してある選好を持ち、所与の予算制約の下で自身の効用を最大化するように行動する。企業は、与えられた技術の下で生産活動を行い自身の利潤を最大化するように行動する。これらの行動は、ある市場構造の下で、需要と供給が一致するように市場において調整される。市場の構造とは、市場に参加する家計や企業の数、これらの持つ情報、市場と市場のつながり等さまざまなものを含む。家計の選好、企業の生産技術、市場の構造はそれぞれ、効用関数、生産関数、市場均衡条件というかたちで方程式体系として定式化される。これらを一連の方程式として扱い、それらを解くことで、対象とする経済システムがどのような均衡状態になるのかを知ることが可能である。本研究の目的である、政策の波及効果や国民経済的影響等を検証するのに適したモデルであると考えその適用を図った。

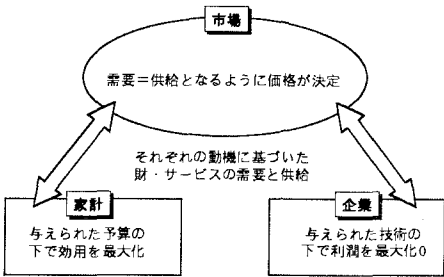


図1 経済主体の関係

3.2 モデル構造

本研究でのモデルの全体構造を図2に示す。産業は資本・労働をコブダグラス型関数で付加価値要素とし、他産業からの中間投入財とレオンティエフ型生産関数で結合し生産を行う。表3に産業の分類を示しているが、既存産業から部品、建設工事等の関連産業を分離統合することにより、太陽光発電と風力発電を新たな産業として設定する。これら2つの部門は電力を生産財とし、他の財・サービスと同様に市場取引されると仮定する。生産された財・サービスは国内財と輸出される財に分離され、国内財は輸入された財と合成され国内市場で取引される。

合成財は産業への中間投入需要、政府、家計、投資部門にそれぞれ別れて消費される。政府は家計からの直接税・生産税(炭素税)・輸入税・輸出税を所得として受け取り、政府消費・政府貯蓄(投

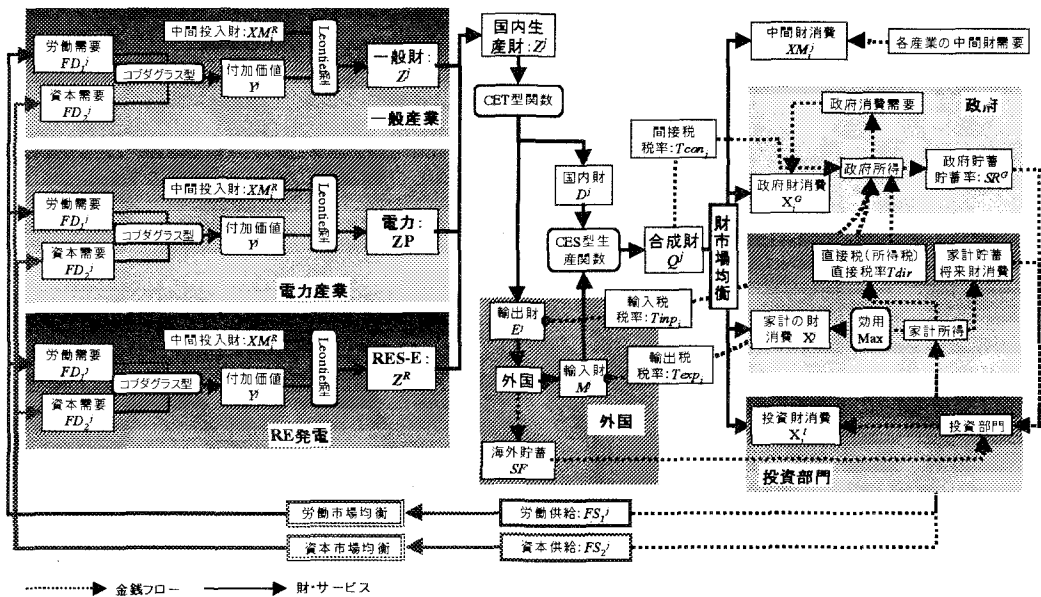


図2 モデルの全体構造の模式図

資)として支出する。

家計には、産業部門から雇用者所得や営業余剰などの要素所得が分配され、それに加え海外からの経常移転によって所得を形成する。家計所得は最終消費及び政府への直接税として支出され、残りは家計貯蓄として投資される。投資部門は、家計貯蓄・政府貯蓄・海外からの資本移転を原資として資本形成を行い、各産業主体に分配される。資本形成は各産業から財・サービスを購入する形で行なわれる。最終的に市場均衡式やその他制約条件を定式化し、家計の効用を最大化することにより、それぞれの財、労働・資本等生産要素の均衡解を算出する。

3.3 応用一般均衡モデルによる分析の手順

本研究のシミュレーションは以下の手順を用いた。

① 基準均衡のためのデータベース作成

応用一般均衡モデルはある一時点の基準均衡を反映するようにモデルを推定する。基準均衡時におけるそれぞれの財の生産額、消費額、生産要素投入額などを行列の形でまとめて表す。

② モデルの推定

①で作成した初期状態のデータを元に、モデルを構成する方程式と係数の組合せを等しくして、初期状態における係数を推定する。

③ 比較静学の基準となる均衡解の算出

②で推定した係数を基に一度モデルの最適解（基準均衡解）を求める。

④ 政策実施後の均衡解の算出及びその差異の検証

政策実施を表現したモデルを構成する外生変数を変化させ、基準均衡解と比較することでその政策の効果を評価する

3.4 初期データの推計

(A) 各産業の初期データ

各産業は表3に示したように分割され、太陽光発電と風力発電以外は1995年度産業連関表⁷⁾及び国民経済計算⁸⁾から産業内投入・間接税、輸出入、消費支出、貯蓄額等のデータを援用した。太陽光発電・風力発電については以下に述べる。

(B) 太陽光発電及び風力発電の産出額

まず、基準となる1995年度の太陽光及び風力発電の設備容量(kW)から、それぞれのシステムについて設備稼働率及び電力購入単価等を平均化したものから年間の総発電電力量を求める。それぞれの産出額は、電力会社への売電及び、自家消費分とに分けられる。太陽光発電の産出額は、まず電力会社の系統を通じて売電された電力量をもとめ、残りが自家消費されたと考え、自家消費分は家計消費分とした。風力発電は補助事業によるものが大半であることから、全て電力会社の購入分とした。

(C) 投入額

RE発電部門への投入額は、太陽光発電と風力発電のそれぞれのシステム設置に係る標準的な費用構成の項目を基に、関連する各産業からの投入として、産出額から資本・労働投入分と間接税分を引いた投入額に対して比例配分した。これを表3に示した産業分類に対応し表4 発電容量、発電量及び発電額^{9), 10), 11)}た形で配分した。資本・労働投入を電力産業の投入係数と同様であると仮定し算出した。

表 3 産業の分類

農林水産業
鉱業
食料品・繊維・紙・パルプ
化学製品・金属製品・鉄鋼・非鉄金属
機械
建設
化石燃料
電気
太陽光発電
風力発電
ガス・熱供給・水道・廃棄物処理
商業・金融・保険・不動産
運輸
その他

	容量(万kW)	発電量(100万kWh)	発電額百万円)
太陽光発電	3.9	38.73	968.2
風力発電量	0.9486	15.76	173.4

4. シミュレーション結果

対象とする施策として、①炭素税を4段階に賦課し、税収をRE産業への補助金として還元する場合、②家計のグリーン電力参加率が向上する場合、の2つケースについて個別に効果をシミュレーションした。以下にその結果を示す。

4.1 炭素税収のRE産業への補助金還元

既往研究等¹²⁾で検討されている税率を参考に5千円/t-C~3万円/t-Cまでの4段階の炭素税を表3の「化石燃料」産業に対して課し、それによる政府の税収を太陽光発電への補助金として還元した場合を検討した。その結果を示す(図3, 図4)。5千円/t-C, 1万円/t-C, 2万円/t-C, 3万円/t-Cのそれぞれの税収に対して、生産額は37,443百万円, 41,163百万円, 46,056百万円, 50,193百万円と各々増加している。太陽光発電の設備容量は最大で約200万kWに増加している。

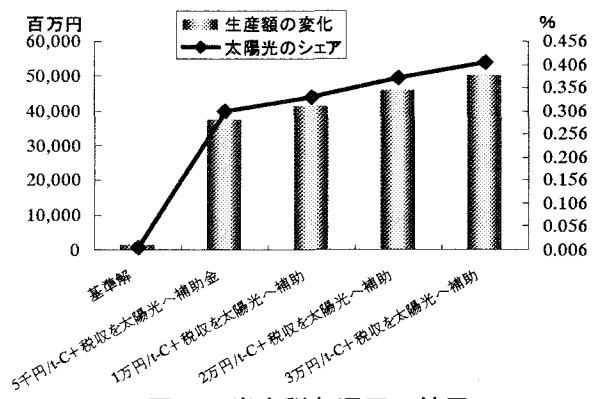


図3 炭素税収還元の結果

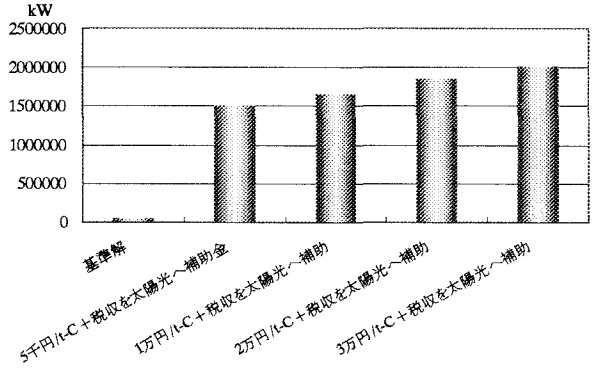


図4 炭素税収還元の結果(太陽光発電容量)

4.2 家計消費性向の変化

家計が追加的に一口500程度の支払いを行いそれが太陽光発電への補助金として使用されるという「グリーン電力制度」を想定した上で、この仕組みへの家計の参加率が増加した場合のシミュレーションを行った。その際、家計消費収支に関する調査¹³⁾を基に、家計消費支出における電力全体に対する消費支出を固定しつつ、家計消費全体における支出を参加率として操作した(図5, 6)。家計の3%がグリーン電力へ参加をした場合、太陽光発電の生産額は約110億円に、電力全体に占める割合は0.012%から約0.085%まで上昇した。また、太陽光発電の設備容量も最大約40万kWに増大した。

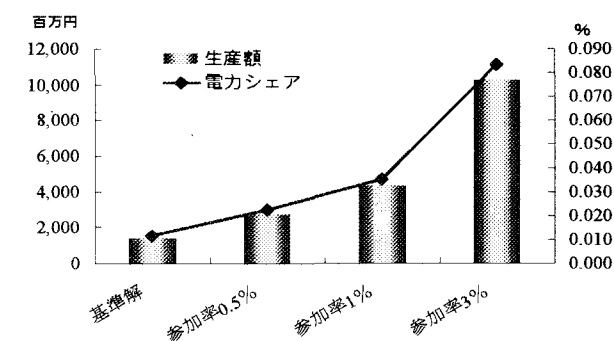


図5 グリーン電力導入結果

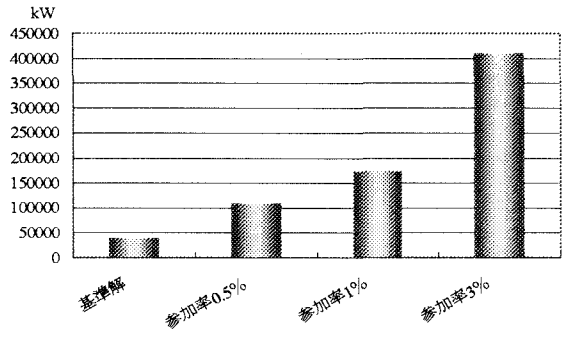


図6 グリーン電力導入結果(発電容量)

4.3 生産コスト低減効果の評価

太陽光発電について、各施策のコスト低減効果について見る。過去の各年度における日本国内の太陽電池生産量とその単位生産量当たりの生産コストの関係を指数曲線によって近似し、施策オプション実施後のRE産業の生産額増加分からこの近似曲線よりコストの変化を見る。ただし、ここでは、生産された太陽電池は全て屋外太陽光発電システム向けのものと仮定している。図8に示したように生産額の増大が大きい施策ほど生産コストの低下効果が大きいことが分かる。

5. 結論及びまとめ

5.1 結論

本分析において、炭素税課税単独では産業全体として炭素集約度に応じて生産水準の低下が見られた。税収を太陽光発電への補助金として目的税化することにより、太陽光発電の生産額は大幅な増加が見られ、電力全体に占めるシェアも増大した。

グリーン電力制度について、家計消費性向の変化による直接的効果が働き、消費セクターへの刺激を与える政策は再生可能エネルギーの普及に有望であるといえる。

このような制度は特定のセクターの追加的投資が必要で

あるが、炭素税というCO₂排出量に応じた費用負担による再生可能エネルギー事業育成施策がより効率的であることが分かった。

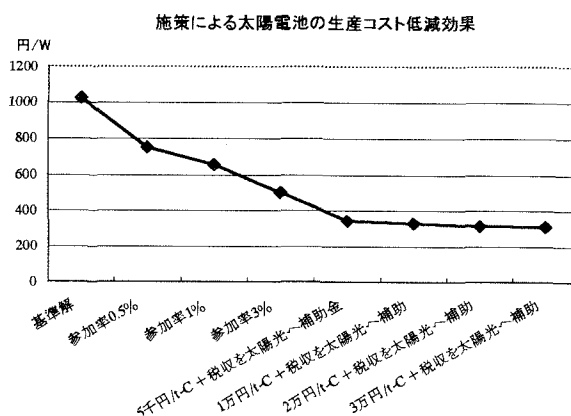


図 7 生産コスト低減効果（太陽光）

5.2 まとめ

本研究では応用一般均衡モデルにより、再生可能エネルギー導入政策のマクロ経済的な枠組みでの評価を行った。今後の課題以下に箇条書きにまとめてみた。

- ①本研究では、消費者の消費性向の変化をを外生的に操作することで表現した。消費者や業務部門等のグリーン購入志向のような産業構造にも影響を及ぼすと考えられる長期的なトレンドを内部化する必要がある。
- ②本研究では、生産関数における投入要素として、エネルギーを明示的に取り扱っていないためグリーンエネルギーと化石エネルギーの代替現象を描くことが出来ておらず、今後の改善点である。
- ③分析に用いたモデルは比較静学モデルであるため、異時点間の比較を行うことが出来なかったが、今後は長期的な施策シナリオの下での既存エネルギーと再生可能エネルギーの代替現象を分析できるようなモデル構築を行うことが必要である。
- ⑤本研究では、需要増加→生産量増加→生産コスト減少というメカニズムを表現しているに過ぎない。需要増加→生産量の増加→生産コスト減少→関連投資の増加→生産量の増加という生産への効果を描くモデル構造を検討することが必要である。

参考文献及び参考資料

- 1) 小杉隆信他：グローバルエネルギーモデルによる太陽光発電システムの普及予測，第 14 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集，pp99-104，1998.1
- 2) 槌谷治紀：学習曲線による新エネルギーのコスト分析，太陽エネルギー学会誌 Vol.25, No6，pp37-41，1999.11
- 3) 正田剛他：新エネルギーの将来コストと導入量の見通し，第 15 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集，pp77-82，1999.1
- 4) 今村栄一・内山洋司，太陽光発電システムの普及展望，電力経済研究 No.36，pp3-14，1996.7
- 5) 奥島啓介：メタボリズム文明型エネルギーシステムの構築に関する研究，地球環境関西フォーラム「メタボリズム文明社会への転換が及ぼす経済影響等の調査」，2000.6
- 6) 土木学会土木計画学研究委員会：応用一般均衡モデルの公共投資評価への適用，土木学会ワンデーセミナーシリーズ 15，1998.6
- 7) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：新エネルギー技術開発関係データ集作成調査（太陽光発電），2000
- 8) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：新エネルギー技術開発関係データ集作成調査（風力発電），2000
- 9) 総務庁：平成 7 年度産業連関表，1999
- 10) 経済企画庁：平成 10 年度国民経済計算年報，1998
- 11) 資源エネルギー庁：新エネルギー便覧平成 10 年度版，通商産業調査会，1999
- 12) 松岡譲他：わが国における二酸化炭素排出量の見通しとその抑制対策の効果について，土木学会論文集 No.580/VII-5，pp27-35，1997.11
- 13) 総務庁統計局：全国消費者実態調査報告 第 1 巻家計収支編，日本統計協会，1996