

技術と市場の相互作用 —太陽光発電の普及過程より—

○井上芳範, 宮崎久美子 (東工大)

1. はじめに

近年、環境汚染や地球温暖化現象等が問題となり、個人や企業の意識が変化し、環境ビジネスに大きな注目が集まっている。しかし地球温暖化対策に有効であるはずの再生可能エネルギーの多くはエネルギー密度が低く、利用にあたり大容量化技術や経済性面で問題がある。その結果、施設導入コストと投下資金回収のバランスが成立しないことに起因して普及拡大には繋がらないことが起こる。事実、日本における太陽光発電の導入実績は電源構成の 0.5% 以下である。本稿では日本の太陽光発電の普及過程から技術イノベーションの効率性と有効性を分析し、今後の政策について提案する。

2. 問題の提起

我が国の電源構成をみると 1990 年から 1999 年まで火力発電の伸長率が一番高く、次いで原子力、水力の順になっている。2010 年に向け火力発電は少し傾斜がゆるくなるが依然として増加傾向にある。原子力は更なる伸長を示している。太陽光発電に関しては、2010 年導入目標 4820MW に対し 2004 年度末で 1134MW と近年急速の導入が進んできたが、目標に対し 23% の達成率である。このような状況の中、住宅用システムが牽引役となって 2004 年導入実績 73% (828MW) から、2010 年導入目標である 81% (3900MW)¹ まで伸長させることが課題となっている。

3. 分析の枠組み

3. 1 普及理論

革新性の連続は 5 つの採用者カテゴリーに分けられる。すなわち革新的採用者、初期少数採用者、前期多数採用者、後期多数採用者及び採用遅滞者である (ロジャース、1990)

3. 2 ビジネスプロセスと経済的価値

ビジネスにおいて、イノベーションの普及が成功要因である場合がある。そのためには技術イノベーションの可用性を高め、それを利用する可能性を持つ多くの人々に利用してもらうこと、供給する側のビジネス成立のために参入プレーヤーの経済的価値創造が必要となる。太陽光発電を通じて生み出される経済的価値は、WTP² から発電の機会費用を引いた残りと考えることができる。この考えにもとづけば、WTP より川上では参入プレーヤーである個人住宅のオーナー³、ハウスメーカーやディーラー、機器製作メーカー各々が競争戦略により経済的価値を獲得できる構造であればよい。WTP より川下では電力需要家が電力会社を通じて経済的価値を便益として得られる構造であればよい。

次に、太陽光発電ビジネスは分業構造を持つビジネスシステムである。ビジネスシステムの優劣は客観的には利益や付加価値で評価するが、利益や付加価値は様々な要因の複合的結果であるため、効率性、有効性、模倣の困難性、持続可能性、発展の可能性で評価することが提唱されている (加護野 2004)。本稿ではこのうち効率性と有効性について分析する。

1) 効率性

効率とは一般にインプットとアウトプットへの変換率として定義される。効率の基準は一定の資源の使用から最大の効果を生む選択肢の選択にある (Simon 1947)。太陽光発電システムは太陽電池モジュールと系統連携装置から構成される技術システムである。太陽電池モジュールは太陽輻射光のエネルギーを半導体により電気出力に変換するが、半導体の材料制約と固体性能の制約を受ける。ローゼンバーク

¹ 太陽光発電協会 2006

² Willingness to pay (Brandenburg, 1996)

³ 太陽光発電は発電電力を自家消費する傍ら余剰電力を売電することから個人事業とみなす。

の技術不均衡論 (Rosenberg, 1976) に基づけば、技術システムの性能向上は相互関係にある部品の性能が向上している必要があり、そこでは技術自体の内的な論理が技術革新を規定すると考えられる。本研究では発電性能を向上させる技術に焦点を当て、太陽電池モジュールの効率と材料適合について、論文発行数、特許出願件数、生産量の時系列推移で以って技術イノベーションを追跡する。また、既存研究では技術の進化過程に関して、収益の低下などの段階をへて性能アップする自然軌道 (Nelson, 1977) が文献で報告されているが、異なる環境下にある太陽電池の技術軌道を分析する。

2) 有効性

事業システムの評価基準の中で最も大切なのが顧客にとっての価値である (加護野, 2004)。一方では、事業に参加するすべての参加者に誘因を貢献以上に与えないと組織は存続し続けることは出来ない (桑田 1998)。そこで、個人事業としての太陽光発電の経済性や設置動機要因をアンケート結果により検証する。次に、二要因理論 (ハーズバーグ, 2003) により将来の促進要因を検討する。二要因理論によれば、責任や達成といった動機付け要因が満足感となり貢献をすることにつながるが、金銭的インセンティブなどの衛生要因は課業とは関係ないことから満足要因とならない。しかながら、衛生要因は不満足要因とならない程度にする必要がある。本稿では個人事業としての太陽光発電事業における考察を述べる。尚、アンケート回答の分析には数値化理論Ⅲ類をモデルとしたコレスポンド分析を用いる。

4. 分析結果

4. 1 効率性

太陽電池の材料に関するモジュールの論文発行、特許出願⁴、生産量の推移を図 1 に示す。特許出願は量産に入る前から既に相当数出願されており、市場のフィードバックが少ない中で技術イノベーションが行われた。生産量が低くても特許が多く出願されたのはサンシャイン計画による先導的開発があったからである。個別には①単結晶シリコン系は高効率であるが高純度原料を使用するため高価となり、生産量は比較的少ない。②多結晶シリコンでは生産量の増加に伴い特許は継続して出願された。低品位というギャップの存在がイノベーション活動を高め、生産量のフィードバックを受けプロセスイノベーションが発生した。ソーラグレードシリコンの性能をカバーする設計や、安定化を高める製法が開発されるからである。③アモルファスシリコン系では発展途上にある技術が対抗する技術に性能上劣位にあったとしても、将来の材料不足の懸念がより多くの技術イノベーションを発生させた。

次に技術イノベーションの軌道を図 2 に示す。1970 年代からサンシャイン計画による基礎技術開発が進められ、1980 年代に単結晶シリコン系、多結晶シリコン系、アモルファスシリコン系が初期市場に投入された。それ以降も 1990 年代、200 年代と引き続き改良開発が進められている。1990 年代にはバルク系で、単結晶シリコンにアモルファスシリコンを接合し、両者の特性を補完し合う技術イノベーションが発生した。2000 年代には薄膜系で、材料の省資源化対応と高効率化が一挙に進められた。アモルファスシリコンで得た製造に関する知識水準が高まると、同じ作製プロセスが利用できる微結晶シリコンとハイブリッド構造化して、両者の特性を補完する技術イノベーションが発生した。

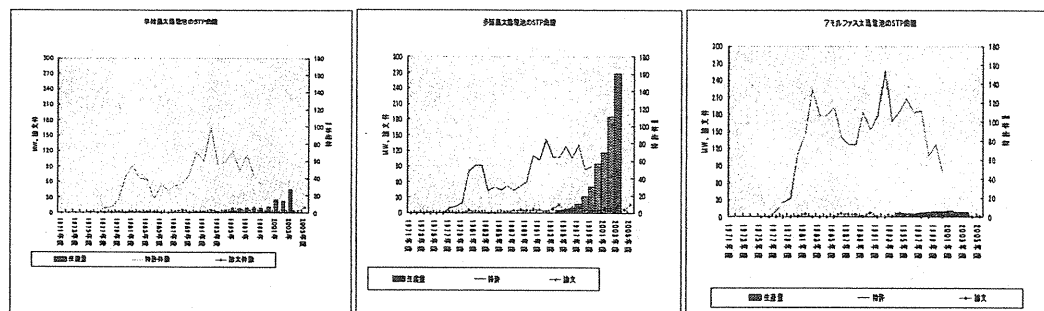


図 1 太陽電池の STP 推移

出所：生産量データのみ NEDO

⁴ 論文データベースはJST JDream、特許データベースはNRI CYBER PATENTを使用。キーワード検索による。

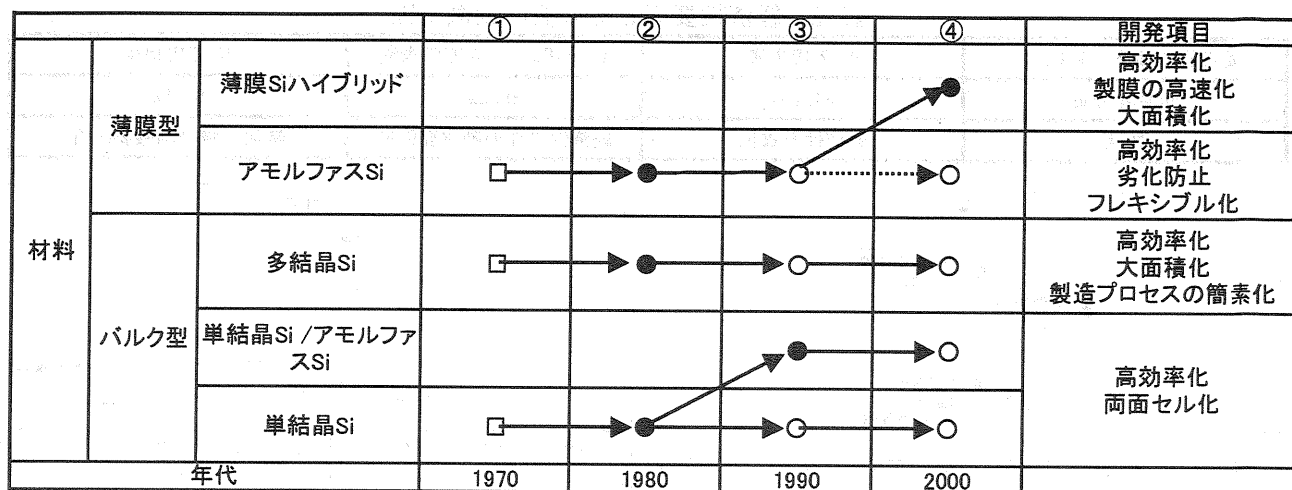


図 2 技術イノベーションの軌道

これらの技術イノベーションにより、現状のモジュール変換効率は 1980 年代の生産開始時点より向上するとともに、薄膜系技術の進歩により材料の省資源化の方向に向かっていることが窺える。(表 1 参照)

表 1 太陽電池のモジュール変換効率

	単結晶 Si	多結晶 Si	アモルファス Si	アモルファス Si/ アモルファス SiGe	薄膜 Si ハイブリッド
2005 年モジュール効率 (%)	13~18	12~16	8	8	11~13
1980 年代モジュール効率 (%)	14~16	約 13	約 6.5	—	—

出所：日本セラミックス協会、2006、太陽光発電導入ガイドブック、2000、PV メーカーカタログ

4. 2 有効性

住宅用太陽光発電システムの導入動機、妥当価格、将来の推進要因に関するアンケート回答⁵をもとに経済性との相関分析やコレスポンデンス分析により以下のことが分かった。①個人住宅オーナーの4割は経済的収益バランス⁶を度外視しても太陽光発電を導入する(表 2 参照)。人間性の二重性格が個人住宅を通して自然環境に対する責任感やエネルギー製造の達成感となって表れ、満足要因が増加し設置コスト増加に伴う収益減少の結果で知覚される不満足要因が増加してもそれを打ち消していると考えられる。②環境やエネルギーコストを重視する設置者は必ずしも購入費用の低下を動機要因としないが、電力会社からの余剰電力購入を強い動機要因とする(図 3 参照)。余剰電力買取り制度は二要因理論における不満足要因であるのでこれ以上悪化させないことが重要である。③太陽光発電余剰電力買取り制度の法制化や税制上の優遇は今後の強い導入促進要因となる(図 4 参照)。このことは税制化により個人に義務を果す傍ら、個人がその責任達成感を知覚することによって促進要因となりうることを示唆している。④一般のマーケティングで重要視されるメーカの広告は強い動機要因となっていない。今後の広報活動はもっと環境意識を高める内容を盛り込んだ方が良いことを示唆している。

⁵ (財)新エネルギー財団発行、住宅用太陽光発電システムアンケート調査解析報告書(2004)

⁶ 筆者の試算で経済的収益バランス点を 40 万円/kW とした。

表 2 経済性要因とその他の動機要因

妥当設置価格 (kW 当)	40 万円未満	40 万円以上 70 万円未満	70 万円程度
回答者分布	54.1%	39.2%	0.2%
属性	経済性を重視	経済性以外の動機要因有	特別に強い動機要因有

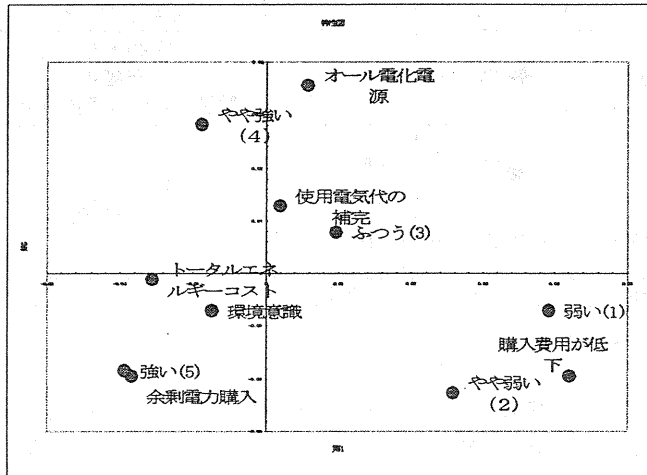


図 3 太陽光発電の設置動機要因

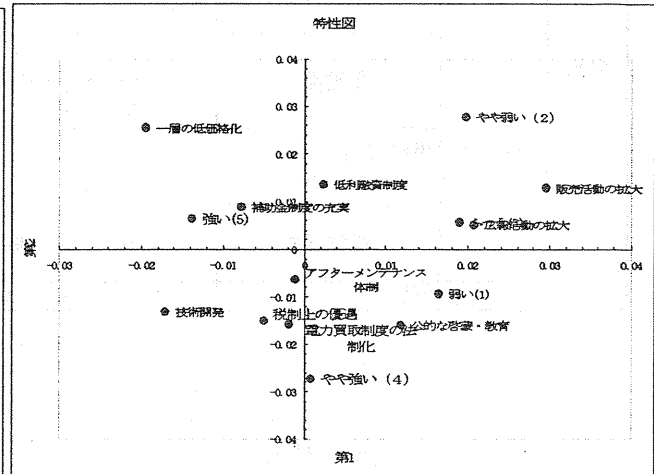


図 4 太陽光発電の将来設置促進要因

5. 結論

太陽電池の開発プロセスでは、材料の入手困難性がきっかけとなって代替性技術軌道を伴うイノベーションが発生したこと、技術不均衡があったとしても、技術イノベーションにより不均衡は解消され、漸進的に技術システムの性能が向上し、太陽エネルギーをより効率的に電力に変換できるようになってきたこと、サンシャイン計画の先導的開発によりコアリジディティに陥ることなく、技術の多様化が進んだことが確認できた。しかしながら、本稿では詳細に議論はされていないが、化石燃料、原子力といった既存のエネルギーシステムとの対比において相対的に高コストであり、直近の 2010 年目標の達成、今後の環境、エネルギー問題に取り組む上で更なる低コスト化が必要である。

太陽光発電の普及段階はまだ革新的採用者から初期少数採用者に移行したフェーズにあると筆者は考えている。今後前期多数採用者へ移行するには満足要因の強化と不満足要因の悪化を防止することが肝要となる。このためには個人の環境意識に働きかける広報活動、余剰電力の買取り制度化が不可欠なものと考えられる。並行して RPS 法、環境税化等の制度面の見なおしが必要である。技術面では、太陽光発電の導入量が増加し自然環境に左右される不安定出力が増加してもそれらを電力系統で受け止める系統連携の技術開発が求められる。

【参考文献】

- Brandenburg I., Stuart J., Value-Based Business Strategy, *Journal of E and M Strategy* 1996
- March J.G., Simon H.A., *Organizations*, John Wiley & Sons, 1958
- Rosenberg N., *Perspectives on Technology*, Cambridge: Cambridge University Press, 1976
- Simon H., *Administrative Behavior*. The Free Press, 1945
- 加護野忠男、井上達彦、『事業システム戦略』、有斐閣、2004
- 桑田耕太郎、田尾雅夫、『組織論』、有斐閣、1998
- (社)日本セラミックス協会 編、太陽電池材料、日刊工業新聞社、2006
- Nelson R., In Search of Useful Theory of Innovation, *Research Policy*, 6, 1977
- Rogers E., *Diffusion of Innovation* 3rd ed., The Free Press, 1982
- フレデリック ハーズバーク、モチベーションとは何か、*Diamond Harvard Business Review* April, 2003