

Title	再生可能エネルギーのイノベーションと普及：風力発電と太陽光発電(イノベーション政策と政策研究(5),一般講演,第22回年次学術大会)
Author(s)	井上, 芳範; 宮崎, 久美子
Citation	年次学術大会講演要旨集, 22: 962-965
Issue Date	2007-10-27
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/7438">http://hdl.handle.net/10119/7438</a>
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

## 再生可能エネルギーのイノベーションと普及—風力発電と太陽光発電

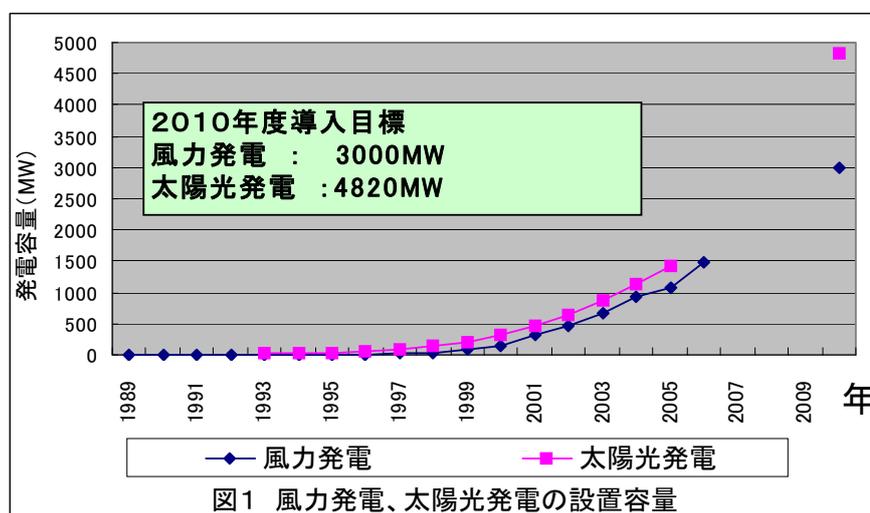
○井上 芳範、宮崎久美子（東京工業大学）

## 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、利用に当たり大容量化技術や経済性面で問題がある。その結果、企業経営では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。本稿では日本の風力発電システム及び太陽光発電システムの技術と市場の相互作用に焦点をあてて普及過程を分析し、エネルギー政策への改善提案を行う。

## 2. 問題提起

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。風力発電に関しては、2010年導入目標3000MWに対し2005年度末で1078MWと近年急速の導入が進んできたが、目標に対し36%の達成



率である。太陽光発電に関しては、同様に2010年導入目標4820MWに対し2005年末で1422MW、目標に対し30%の達成率である(図1参照)。目標到達が危ぶまれる中、2010年の目標を達したとしても電源構成に占める比率は、風力発電で1.6%、太陽光発電で2.6%と非常に低い目標値である。しかも自然エネルギー利用率を考慮した需要電力量で換算すると風力発電は1/5程度に、同様に太陽光発電は1/10程度に減じられる。これに対し、再生可能エネルギー利用の先進国といわれている欧州のトレンドを見てみると、風力発電だけで2000年には12.3GW(全発電量の2.1%)から2010年には75GW(全発電量の10.6%)、2020年には180GW(全発電量の21%)に推移する計画である。

以下では、風力発電及び太陽光発電の普及に影響する技術イノベーションの発生と普及について述べる。

## 3. 再生可能エネルギーの普及モデル

図2に風力発電及び太陽光発電の普及モデルを示す。風力発電の普及を促進していく上で最も重要なのは経済的要因である。これらのシステムから得られる電気ですべて投資コストを回収できるようにならねばならない。投資コストを回収するためには設備を大型化し、規模の経済を高めることが必要となる。ところが市場で利用していくには品質と安全性に関する要求レベルが高い反面、発電の価値が相対的に低く経済性に問題がある。地球温暖化対策を背景に、風力発電機器や設置工事に要

するコストを削減し、既存の発電システムと競合できる再生可能エネルギーシステムの供給圧力が発生する。これに対し、産業単独で解決できる問題でないことから、政府、産業、学術団体が関わり上述の問題を制度的に解決していく行為が発動される。技術開発の重点は安全、性能向上、製造コストの削減におかれ、この技術が市場に浸透していくには産学連携で技術知識を高めることで対応が取られる。産業が製造に関わる知識を高め学習効果により設置コストを低減し、現在価値ベースでランニングコストが既存の発電システムと競合し共存できるレベル迄競争力を付けるよう政府が設置支援を行う対応をとることになる。もし、既存発電システムに経済的に競合できなかったとしても、地球温暖化対策やエネルギーセキュリティによる外部要因を受け、再生可能エネルギーシステムのクリティカルポイントを回避する新たなシステム的な取り組みがこのインスティテューショナルに行われる。

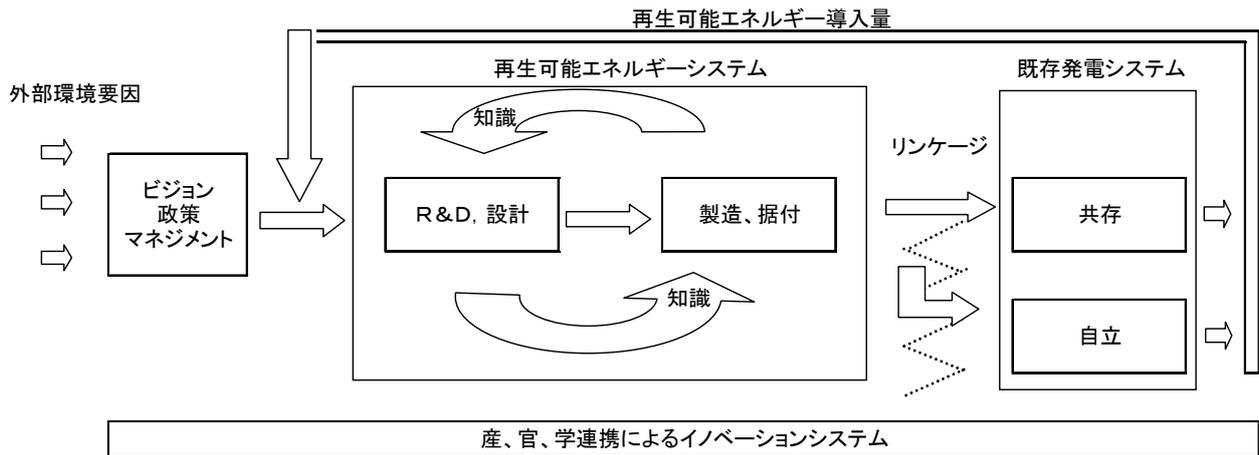


図2 再生可能エネルギーの普及モデル

4. 技術軌道と経済性評価

再生可能エネルギーシステムに関する知識は R&D, 設計、製造、据付を重ねることにより高まり、その軌道は技術軌道となる。以下、風力発電システムと太陽光発電システムに関する技術軌道及びこれらが経済性に影響する過程を概観する。

4. 1 風力発電

ドミナントデザインであるデンマークのオリジナルデザインにピッチ制御が採用された。それまではストール制御により定格風速以上の風速域では失速現象により風力エネルギーを電力に変換できなかったが、ピッチ制御の採用により発電機のもつ性能に近づけるように、補完関係にある翼における変換効率が上がるようになった。その結果パワー係数が向上した。つまり、モジュールユニット内で統合性能が向上した。次の段階では製品システムのユニット間でイノベーションが発生した。可変速機能の採用である。製品システムが外部環境に対して非線形特性を持つような場合、系内レベルで技術不均衡を解消しただけでは非線形特性はリニア特性に対し性能差を解消することは出来ない。このために相互関係にある系と協調して単独では行えない外部環境からの干渉を非干渉化することによってリ

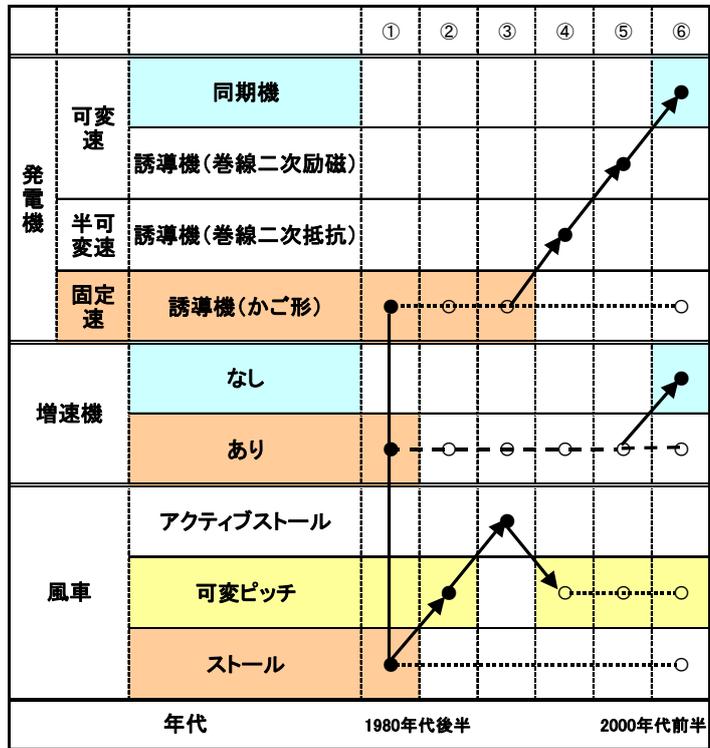


図3. 風力発電の技術軌道

○継続的 ●:イノベーター

ニアに近い特性を得て、製品の全体性能をあげることが出来た。つまり、技術不均衡の解消範囲は系内か系外へと協調を求めて広がり、その両者の統合の結果で性能が向上してきた（図3 参照）。これらの技術が大型機に生かされ、風力タービンの効率アップによるランニングコストの低下が可能となった。さらに集合設置による規模の経済性が見込めるようになってきた。据付、設置において、当初は先行するデンマークやドイツから低価格の輸入機が採用されたが、1996年に中型機が産官連携で開発され、2003年には民間主導で大型機が開発され、引き続き量産効果により設置コストの低減が進み、国内において国産機の導入が増加してきた。

#### 4. 2 太陽光発電

太陽電池の開発プロセスでは、シリコン材料の入手困難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である。初期には高純度のシリコン半導体が使われたが、その後低品位の半導体を活用する技術が開発された。次に薄膜化の技術開発による省資源化のイノベーションが発生した。これらの技術をベースに漸進的に変換効率が向上し、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。（図4 参照） これらの技術が需要の約8割を占める住宅用の太陽光発電システムに採用され、生産量増加に伴う経験効果により設置価格低下が可能となり、経済性が改善されてきた。

技術の発展過程の背後にはNEDOの先導的技術開発があり、シーズ先行形のサンシャイン計画に端を発する技術開発が過去30年間、約2000億円の費用を投じて行われてきた。一般的には、企業は市場を通して収益性の低下を経験し新しい技術に取り掛かるが、このようなステップ踏むことなく次々と新しい技術開発に取り組むことができた。しかも同時に多くの企業が並行して技術開発に取り組んだ。

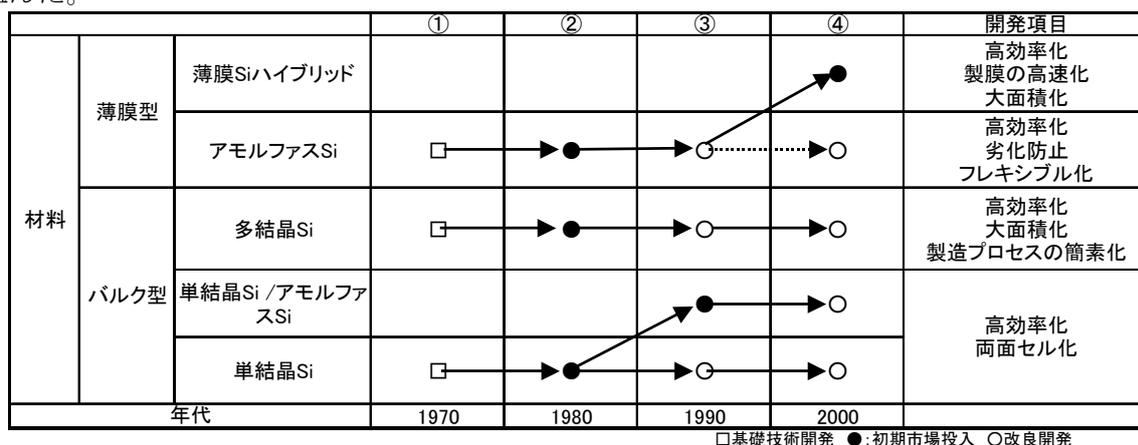


図4. 太陽光発電モジュールの技術の軌道

#### 4. 3 風力発電と住宅用太陽光発電のシステム経済性に関する分析

表1. に風力発電システムと住宅用太陽光発電システムの経済性に関わる設置コストについての回帰式を示す。建設単価は風力発電、太陽光発電ともに対数的に減少してきており、日本においてはこれら

表1 風力発電ならびに太陽光発電の設置コスト

		回帰式	Y	X	R <sup>2</sup>
風力	単機設置	$Y = -33.828\ln(x) + 472.11$	平均設置コスト (千円/kW)	設置容量 (MW)	0.53
	集合設置	$Y = -13.655\ln(x) + 328.85$			0.26
太陽光		$Y = -12.528\ln(x) + 151.59$	平均設置コスト (千円/kW)	設置容量 (MW)	0.94

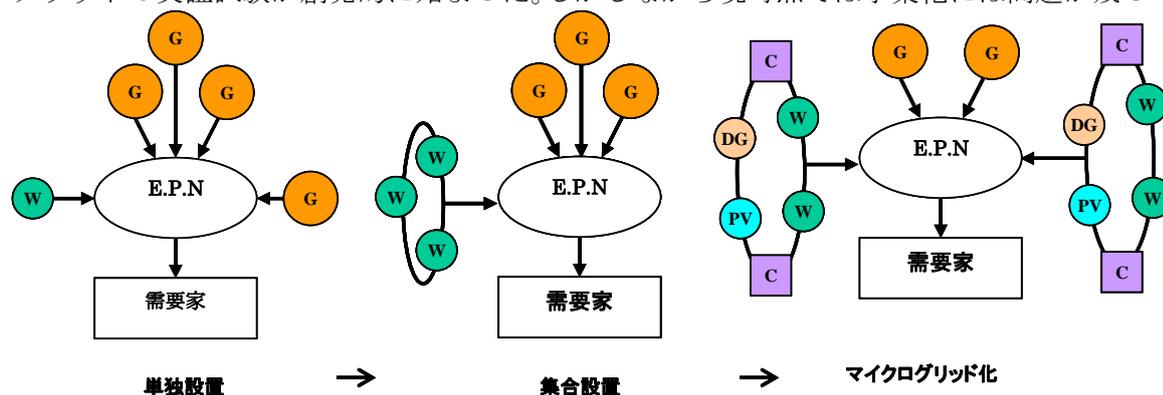
データ出所: NEDO, NEF

ユーショナルな活動が行われてきたことを物語っている。設置においては政府の補助金政策が展開され、風力発電及び太陽光発電の導入が促進されてきた。導入が進むにつれ、企業における製造や設置に関する学習効果により建設単価が低減し経済的な好循環サイクルが進んだ。しかしながらこれら発電システムから得られる電力の買い取り価格

は電力発生コストに対し相対的に低く、一部の集合風力発電施設を除き風力発電と太陽光発電の設置者の事業収益はマイナスとなっているところが多い。

## 5. 新ビジネスモデル

2003 年から再生可能エネルギーの普及拡大を狙ったイノベティブな取り組みがインスティテューショナルに行われた。マイクログリッドの出現である（図 5 参照）。風力発電は大規模化へと発展してきたが自然エネルギーに由来した発生電力の安定性に問題があり、一部の地域で電力系統への連携問題が発生し、新たな設置に制限がかかってきた。このため導入目標と現状とのギャップは縮小できなくなっている。そこでこの不安定電源に対し制御可能な電源と相互補完効果により安定化を改善し、既存電力システムと同質性を高め自立化し地域エネルギー需要を賄おうとするマイクログリッドの実証試験が創発的に始まった。しかしながら現時点では事業化には問題が残っている。



EPN:電力系統 W:風力発電 G:発電システム C: 需要家 MG: マイクログリッド PV: 太陽光発電 DG: 分散電源  
出所: 合田 (2004)をもとに筆者作成

図5 マイクログリッド概念図

## 6. むすび

エネルギー危機や地球環境問題を契機に化石エネルギーシステムからの脱却を背景に、高度産業社会の成長期に築いた既存エネルギーシステムを見直す時期に来ている。これを成功裏に生かすには負の外部経済を認識しながら再生可能エネルギーの潜在的活用を国が主導となって政策を立案推進していくことである。前述では我が国には再生可能エネルギーの普及拡大に向けたインスティテューショナルなポテンシャルパワーが存在し、効果的な取り組みが行われてきたことが明らかになった。このような力が今後の再生可能エネルギーの技術イノベーションの発生ならびに普及に与える影響は大きい。しかしながら先行する EU 諸国に比較し再生可能エネルギーの導入速度は遅い。風力発電及び太陽光発電システムの経済性を高めるには学習効果により設置コストを下げることである。将来目標に目を向けると、風力発電のロードマップには、2020 年までの設置容量として 10.0 GW、太陽光発電のロードマップには同様に 34.2GW が想定されている。一方では、今後 10 年間で 9 機の原子力発電 (12.3GW) が新たに運転開始する計画となっている。いずれロードマップの目標を到達するのであれば、少資源国であるわが国は、昨今の地球温暖化を鑑み 2005 年時点で風力発電と太陽光発電で合計 0.2GW 程度の設置容量から早急に脱するよう、一つのオプションとして原子力開発を振り替えてでも再生可能エネルギー開発にあて、イノベーション活動の学習効果を高めるタイムスロットを確保し、イノベーションをインスティテューショナルに加速することを提案する。

### 参考文献

EWEA, Wind Energy-The Facts, EWEA, 2004

合田忠弘 et al.(2004) マイクログリッド、日本電気協会新聞部

NEDO、2030 年に向けた太陽光発電ロードマップ(PV2030)検討委員会報告書、2004

NEDO、平成 16 年度 風力発電利用率向上調査委員会 風力発電ロードマップ検討結果報告書、2005

経済産業省、平成 19 年度電力供給計画の概要について、2007