

中国における太陽光発電の展望と課題

Prospects and issues of solar photovoltaic power in China

関 思 超 *

Kan Sichao

This paper presents an approach to evaluate the promotion of solar photovoltaic (PV) in mainland China. In this study the author assumes three strategies to achieve the PV installation goal through 2020. Based on the learning curve of PV module production and the subsidy policies on renewable electricity power in China, the author simulates the trend of PV module cost and the amount of subsidy under each strategy. By analyzing the outcomes the author finds out that increasing installation after the cost reduction of PV system results in the least subsidy while the takeoff of domestic market at an early stage would help to promote the development of domestic PV industry.

Keywords: solar photovoltaic, learning curve, China

1. 背景と目的

近年、中国では風力や太陽エネルギーなど再生可能エネルギーが気候変動への対策だけではなく、将来の経済成長のエンジンとしても期待されている。だが、中国政府にとっては財政コストがかかりすぎるため、十分な支援策が行えず、太陽光発電の国内市場がまだ不活発な状況になっている。2008年のシリコン価格の下落により、太陽光発電コストの大幅な低減が見込める状況になってきており、中国国内市場に対して、飛躍的な成長に期待がかけられるようになった。

将来の中国における太陽光発電のコストや産業規模などの予測は多いが¹⁾、本研究では、中国における2020年までの国内導入目標を実現する戦略を三ケース設定して、輸出も考慮した費用負担と産業育成の面から各導入戦略を評価する。また、中国の太陽電池モジュール生産の学習曲線を踏まえ、2020年まで各戦略での太陽光発電に対する補助金負担を見積もる。

まず、次の章でモデルを説明し、シミュレーション結果に対する討論を第三章で行い、第四章で結論をまとめる。

2. モデル

2.1 モデル概要

モデルの構成を図1に示す。国内モジュール生産量は国内導入量と輸出量で構成され、学習曲線に基づきモジュール

の価格を決定する。太陽光発電システムのコストはモジュールコストの割合が最も大きいので、モジュールの価格から太陽光発電システムのコストを計算する¹⁾。システムコストの計算及びこれに基づいた買取価格の計算を2.4で詳しく説明する。

太陽光発電システムのコストから、中国で現行の再生可能エネルギーの買取制度を踏まえ、それぞれの導入戦略選択肢における補助金の金額を計算する。補助金負担は戦略を評価する指標の一つになる。

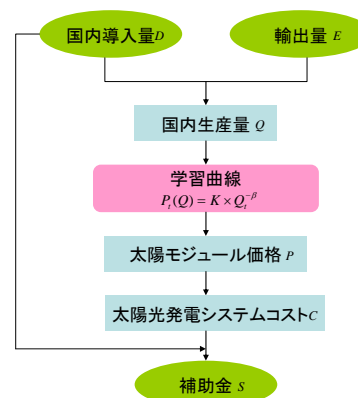


図1 モデル構成

モデル設定の前提：

- ①技術進歩はモジュールの価格低減に大きな影響を与えるが、定量化分析が難しいため、本研究では経験の蓄積による価格削減だけを考える
- ②結晶シリコン系太陽電池モジュールを対象に学習曲線を見積もる

* (財)日本エネルギー経済研究所 産業・戦略ユニット 新エネルギーグループ 研究員
〒104-0054 東京都中央区勝どき 1-13-1 イヌイビル・カチドキ
e-mail kan.sichao@tky.iecej.or.jp

¹⁾本研究では、モジュールコストは太陽光発電システム初期投資の50%を占めると仮定する。

③太陽電池の転換効率の向上は考慮していない

2.2 国内導入戦略設定

2007年に発表された「再生可能中長期発展計画」では、2020年までの国内導入量を1,800MWにする目標が掲げられたが、これは2020年における中国国営送電会社の国家電網の太陽光発電能力が20,000MWに引き上げられることを意味している。本研究では、中国における太陽光発電の国内導入目標を2020年までに20,000MWとすることを前提に、図2に示すような目標達成するための三つの戦略を仮定する：

- 戦略1：コストの削減に伴い導入量を増やす（一定成長率で導入）
- 戦略2：年間の新規導入量が同じ
- 戦略3：導入初期に注力する場合（年間漸減的に導入）

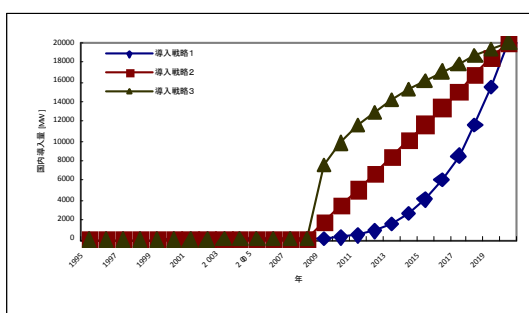


図2 三つの国内導入戦略

2.3 学習曲線

学習曲線は、継続して行われる人間活動において知識と経験が蓄積され、より無駄がなくなり巧妙に行われることをモデル化したものである。太陽電池の生産コストに関する学習の特徴は多くの文献で分析されている^{2), 3), 4)}。過去の多く実測結果から、学習曲線を定式化すると以下のようになる。

$$P_n(Q) = K \times Q_n^{-\beta} \quad (1)$$

- ここで P_n：n番ユニットの単位あたりのコスト
- Q_n：1からn番ユニットまでの累積生産量
- K：第一番ユニットの生産コスト
- β：累積生産に伴うコストの減少割合

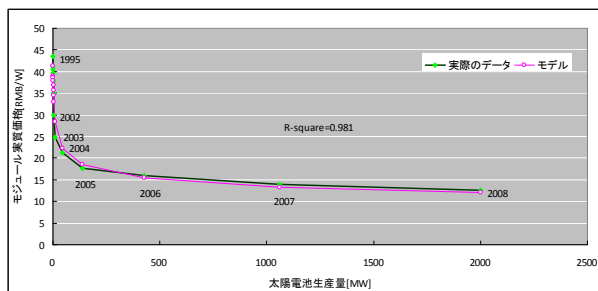


図3 中国における太陽電池モジュール学習曲線

(データ)：「中国太陽光発電産業発展研究報告2004」、「The Renewable Energy Industry Development Report 2008」及びインターネット情報

1995年～2008年の中国における太陽電池の生産量とモジュール価格データに基づいた中国の太陽電池モジュールの学習曲線を図3に示す。2005年～2007年のデータはシリコン素材価格高騰の影響を除いた価格である。2004年については価格データが入手できなかったため、2003年と2005年の平均値を用いた。

2.4 太陽光発電に対する補助金の計算

(1) 買取価格計算

2006年に発効した「中華人民共和国再生可能エネルギー法」では、再生可能エネルギー発電の固定価格全量買取制度 (feed in tariff) が確定された。具体的な実施は国務院の価格管理機関が行い、「再生可能エネルギー発電価格と費用分担管理試行方法」²⁾によって、「コストプラス利益」という原則に基づいて送電システムに接続した再生可能エネルギーの買取価格を設定することになった。しかし現在のところ太陽光発電の買取価格はまだ規定されていないため、発展改革委員会 (NDRC) が事業者から提案された価格を審議し、ケースバイケースで買取価格と期間を決めている。本研究では「China PV Report 2007」で提示された計算式に基づき、太陽光発電の買取価格を下記のように推定する：

$$\text{買い取り価格} = \frac{\text{単位発電システムコスト} \times \text{導入容量}}{\text{年間発電量}}$$

ここで、

年間発電量=システム容量×年間有効利用時間数(1300時間³⁾)

地域によって、太陽光の日射量が異なるため、年間の有効利用時間数も異なる。本研究では、中国におけるメガソーラーの年平均利用時間数を採用することとする。

単位発電システムコスト(1kW)に関しては、下記の表のように見積もる4：

表1 システムコスト試算¹⁾

システムコスト(1kW)		
初期投資[人民元/kW]	①	モジュールコスト/50%
資本金	②	初期投資*30%
年間償還ローンの基本金	③	(初期投資*70%)/20
年間融資利息	④	5.94%
年間償還ローン利息(20年間平均)	⑤	(初期投資*70%)*3.19%
設備減価償却費(20年間)	⑥	(初期投資*80%)/20
減価償却費相投資金(基本金と利息)	⑦	設備減価償却費*-1
変動コスト(1.5%)	⑧	初期投資*1.5%
年間資本金収益(10%)	⑨	初期投資*30%*10%
税率	⑩	6.48%
税金と収益含むコスト計算式		(③+⑤+⑥+⑦+⑧+⑨)*(1+⑩)

システムの利用年数を20年間とし、初期投資の30%を事業者の投資、70%を銀行融資(融資期間20年間)で賄うと仮定する。銀行融資の利息が5.94%⁵⁾の場合、融資期間20年

²⁾ 「再生可能エネルギー法」の実施細則の一つである

³⁾ 「China PV Report 2007」;

⁴⁾ 銀行融資利息以外に全部「China PV Report 2007」に参照

⁵⁾ 中国工商銀行最新発表した長期融資利息

間で年間平均利息金額は総融資額の 3.19%である。

(2) 補助金計算

「再生可能エネルギー発電価格と費用分担管理試行方法」によると、送電企業は算定された買取価格で再生可能エネルギー発電を全量買取することを義務付けられている。全国⁶での電気料金に再生可能エネルギー上乗せ料金(0.002RMB/kWh)を徴収して、買取価格は現地の石炭火力発電価格を超えると、徴収された上乗せ料金で超過した部分を負担する。この買取制度に基づいて、新規太陽光発電に対する年間補助金は下記の式で計算する(補助開始年を2009年、補助期間を20年にする)：

$$\text{新規太陽光発電に対する年間補助金額} = \text{年間発電量} * (\text{太陽光発電買い取り価格} - \text{石炭発電価格})$$

シミュレーション開始の Y_0 年(2009年)から n 年目、 Y_n 年に太陽光発電に対する年間補助金総額 S_{Y_n} は：

$$S_{Y_n} = \sum_{y=Y_0}^{Y_n} ((GP_y^{pv} - GP_y^{coal}) / (1 + \gamma)^{(Y_n - y)}) \times ele_y, Y_0 \leq y \leq Y_n \quad (2)$$

GP_y^{pv} : y 年における太陽光発電の買い取り価格；

GP_y^{coal} : y 年における伝統電源の買い取り価格；

ele_y : y 年における新規太陽光発電導入量；

γ : 割引率 (5%)。

$GP_y^{pv} \leq GP_y^{coal}$ の場合 : $GP_y^{pv} - GP_y^{coal} = 0$

太陽光発電の価格は通常石炭火力など電気料金と同等のコスト水準になると補助金が必要ではなくなるが、このコスト水準がグリッドパリティ(Grid Parity: GP)である。前述の買取制度によると、中国のグリッドパリティは石炭火力発電のコストである。2020年までの石炭発電の平均買取価格を下記の表に示す：

表 2 中国における石炭火力発電の平均買い取り価格

	2006	2010	2015	2020
石炭火力発電の平均買い取り価格 [RMB/kWh]	0.31	0.349	0.404	0.469

(出所)「China PV Report 2007」にもとに作成

3. シミュレーション結果とその考察

モジュール生産量が国内導入と海外輸出で構成されるため、モジュール価格の削減に輸出の貢献もある。本研究では、輸出なし、低輸出と高輸出三つのケースを考え、それぞれのケースで国内導入戦略を討論する。

3.1 輸出なし(国内生産=国内導入)

国内で生産された太陽電池が全量国内で消費される場合について、三つの国内導入戦略でのモジュール価格の推移

と補助金額の推移を図4と図5に示す。2020年になると、三つの戦略の累計導入量は同じになるので、学習曲線によって2020年のモジュール価格は同様になるが、戦略3の2020年以前のモジュール価格は他の二つの戦略より低い。つまり、最初に大量導入すると、より早く価格が下がることが分かる。戦略3ではコストが高いうちに太陽光発電を大量導入することにより必要な補助金額も他二つの戦略より高くなることが図5で示された。つまり、最初に少量を導入して、コストが下がるに伴い徐々に導入量を増やす戦略の場合、国民の負担がより小さくなることが示唆される。

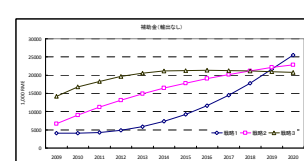
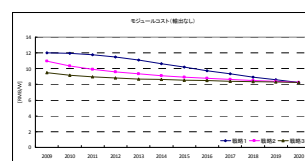


図 4 NEx モジュールコスト 図 5 NEx 年間補助金金額

3.2 輸出あり

中国で生産される太陽電池の9割以上が輸出されている現状から、国内太陽電池の生産量を見積もる場合には輸出の影響を考慮しなければいけない。本研究では低輸出と高輸出二つ輸出ケースを想定する。輸出量は世界需要量の10%と設定する。低輸出ケースについては世界太陽光発電導入量の伸び率を20%、高輸出ケースは伸び率を40%仮定する。それぞれのシミュレーション結果を図6~9に示す(低輸出ケース：図6と7；高輸出ケース：図8と9)。

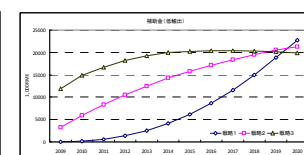
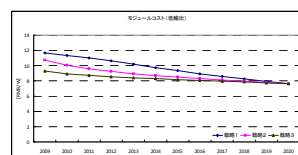


図 6 LEx モジュールコスト 図 7 LEx 年間補助金金額

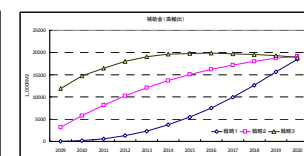
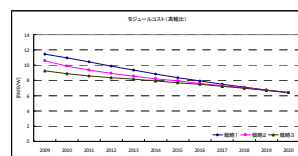


図 8 HEx モジュールコスト 図 9 HEx 年間補助金金額

上記の図によると、二つの輸出ケースとも、輸出なしのケースと同様に戦略3をとると、いち早くコスト削減することが出来るが、費用負担が大きい。さらに、輸出が多く自国導入量が少ない場合でもモジュールのコストが低減できるので、輸出が多ければ多いほど、補助金負担だけを考慮すれば戦略1の優位性が強くなる。

この状況になる原因は中国のグリッドパリティ(石炭火力発電の買い取り価格)が低く設定⁸されたことである。な

⁶ 農村消費電力は対象外

⁷ 0~20%の割引率は結論に影響せずため、割引率に対する感度分析を今回行わない。

⁸ 表 2 に参照

ぜならば、中国では石炭火力発電の買取価格を基準として再生可能エネルギー発電を補助するからである。事実、グリッドパリティを高くすれば、必ずしも戦略1の補助金負担が少なくなる訳ではない。グリッドパリティが高いケース（2009年～2020年：1.5RMB/kWh）の年間平均補助金を表3-aに示す。表3-bには図5、図7と図9の曲線に基づき算出された年間平均補助金を示す（すなわち、表2に示されたグリッドパリティ）。

表3 平均年間補助金の比較

a GPが高い場合 b GPが低い場合

	輸出なし	低輸出	高輸出		輸出なし	低輸出	高輸出
戦略1	2,411	451	167	戦略1	10,927	7,649	6,477
戦略2	2,355	1,002	803	戦略2	16,215	13,954	13,124
戦略3	1,039	435	384	戦略3	19,773	18,526	18,077

表3-aによると、グリッドパリティが高く太陽電池の輸出が多くない場合、戦略3を取ると年間平均補助金が少なく、太陽光発電の買取価格がグリッドパリティに到達すると補助金を拠出する必要がない。グリッドパリティが高い場合、目標年の前に太陽光発電のコストがグリッドパリティに到達することが見込める。そのため、いち早く太陽光発電のコストを低減させ、短い期間に補助金を出さず戦略（戦略3）は太陽光発電コストの軽減に従って導入量を増やす戦略（戦略1）より補助金が少ない可能性もある。輸出が多い場合、自国導入量が少ない場合でもモジュールのコストが下がるため、戦略1の方が、費用負担が少ない。

他方、戦略3を取る場合、早急にモジュールの価格を低減させ、国際競争の中で自国産業の価格優位性を確立することが出来る。この意味で、産業育成の角度から考えると、戦略1より戦略3を取るべきである。輸出量をモジュール価格に連動すれば、価格優位がある戦略3を取ると、他の二つの戦略より輸出量が多いことが考えられる。輸出量の牽引より国内太陽電池の生産を増産させ、モジュール価格の軽減を実現すると、補助金負担が軽減する可能性もある。

また、戦略3を取る場合では、目標年前にモジュール価格が十分下がれば、政府が目標を上方修正することも考えられる。グリッドパリティが高い国では、早急に太陽光発電コストを引き下げると、一気に国内需要が増える期待がかけられる。

4. 結論

本研究では、中国における太陽電池モジュールの生産コストの学習曲線に基づき、2020年まで太陽光発電20,000MW導入目標（仮定）に対して三つの導入戦略の分析を行った。シミュレーションの結果を踏まえ、以下三点の結論を導ける：

- ① 一定成長率で導入する戦略（戦略1）を取れば補助金負担は一番小さい。費用負担だけを戦略評価の指標に

すると、太陽光発電のコスト軽減に従って導入量を増やす戦略を選択するのが最適である。実際、今まで中国の太陽光発電市場がまだ動き出されない理由としては、政府にとって太陽光発電が財政のコストがかかりすぎる事が指摘されている。

- ② 結論①を成立させる中国の実情として、中国のグリッドパリティ（石炭火力発電の買取り価格）が低いことがあげられる。グリッドパリティが高い国にとって、戦略3が一番補助金負担が小さい選択肢としても十分考えられる（輸出が少ない場合）。
- ③ 補助金負担のほか、産業育成や国際競争力強化などの角度から見れば、戦略3は適切な選択である。また、動的に考えると、早くコストが下がれば導入目標は上方修正される可能性もある。グリッドパリティが高い国では、戦略3を取る場合には市場育成にも役に立つ。

参考文献

- 1) 李俊峰, 王斯成 et.al; China Solar PV Report-2007, (2007), China Environmental Science Press.
- 2) Bob van der Zwaana, Ari Rablc; Prospects for PV: a learning curve analysis; Solar Energy 74, (2003), 19-31
- 3) Maya Papineau; An economic perspective on experience curves and dynamic economies in renewable energy technologies; Energy Policy 34, (2006), 422-432
- 4) Johan Albrecht; The future role of photovoltaics: A learning curve versus portfolio perspective; Energy Policy 35, (2007), 2296-2304
- 5) Wang Zhongying, Ren Dongming and Gao Hu; The Renewable Energy Industry Development Report 2008 (GOC/WB/GEF China Renewable Energy Scale-up Program), (2009), 33-62, Chemical Industry Press.
- 6) 中国再生可能エネルギー発展オフィス; 中国太陽光発電産業発展研究報告, (2006), 16-38