

太陽光発電補助政策の定量分析-中国の例

Quantitative analysis of the subsidy policy for solar photovoltaic – a case study of China

関 思 超 *
Kan Sichao

1. 背景と目的

中国では、2006年に発効した「再生可能エネルギー法」によって、再生可能エネルギー発電の固定価格全量買取制度が確定された。重要な買取価格の設定については、「投資費用プラス利益」という原則に基づいて設定することになったが、現在は、入札で買取価格を決める方法が採用されている。

本研究では、中国の太陽光発電買取価格の二つの決定方式、すなわち、投資費用プラス利益計算方式と入札方式に対して、定量化分析を行う。次の章で「投資費用プラス利益」で算定した固定買取価格方式の買取負担を見積り、現行の入札買取方式の持続可能性に対する評価を第三章で行う。

2. 投資費用プラス利益方式

本章では、「投資費用プラス利益」で計算した太陽光発電コストを買取価格とし、全量買い取ることを義務付けられている送電企業の買取負担を推計する（2020年累積導入量目標を20GWとする）。買取負担は、買取価格が現地の石炭火力発電価格を超過した部分で、全国での電気料金に再生可能エネルギー上乗せ料金（0.002RMB/kWh）を上乗せして徴収したものから、補填される。2020年までの買取負担は以下図1のようになる。

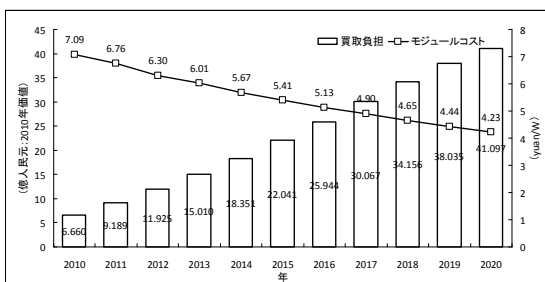


図1 2020年までに太陽光発電に対する年間買取負担

「投資費用プラス利益」方式の場合、2020年での太陽光発電に対する年間買取負担はおよそ41億人民币（2010年価値に換算）にのぼると予測される。これは2009年における中国全国から徴収された再生可能エネルギー上乗せ料金の

* (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.ieej.or.jp

総額、約45億人民币と同程度である。

3. 入札方式と最新の入札結果に対する定量化評価

石炭火力発電と比べ、太陽光発電のコストが高すぎるため、中国政府は当面の間入札方式でそれぞれのプロジェクトの買取価格を決める方針を選択した。今年6月に中国政府は陝西、青海、甘肅、内モンゴル、寧夏、新疆で実施される13件、合計280MWの太陽光発電プロジェクトは入札で行うと公表した。今回の入札結果と買取価格に対する評価を表1に示す。

表1 2010年における大規模太陽光発電所プロジェクトの入札結果に対する評価

	買取価格 (人民币/kWh)	8%の投資収益率を満たすためのモジュールコスト (人民币/W)	学習曲線で推測したモジュールコスト (2010年) (人民币/W)	プロジェクト全体の内部収益率
1	0.8687	5.928	7.087	3.76%
2	0.7288	4.974		2.19%
3	0.7288~0.9907	4.974~6.761		2.19%~5.03%
4	0.7288~0.9907	4.974~6.761		2.19%~5.03%
5	0.7803	5.325		2.78%
6	0.7288~0.9907	4.974~6.761		2.19%~5.03%
7	0.8847	6.038		3.93%
8	0.7978	5.445		2.98%
9	0.8444	5.763		3.50%
10	0.9791	6.682		4.91%
11	0.7288~0.9907	4.974~6.761		2.19%~5.03%
12	0.7288~0.9907	4.974~6.761		2.19%~5.03%
13	0.9907	6.761		5.03%

入札結果によると、13のプロジェクトのうち12のプロジェクトは大手国営発電企業の子会社が落札し、残り一つは地方国営会社が落札した。今回入札の結果では、大半のプロジェクトの収益性は十分とは言えない。中国太陽光発電プロジェクトの規模がまだ小さいため、資金力がある発電会社は太陽光発電事業による損失をカバーできるが、今後太陽光発電の導入規模の拡大に伴い、事業の収益性を考慮しないとイケない。その時、事業者（発電会社）がプロジェクトのコストを削減するために、太陽電池の購入価格を低く抑えることは、太陽電池関連産業の発展には障害になる。

参考文献

- 1) 李俊峰, 王斯成 et.al; China Solar PV Report-2007, (2007), China Environmental Science Press.
- 2) 時璟麗; Study on Renewable Power Pricing Mechanism, (2008), 化学工業出版社, 北京.

太陽光発電補助政策の定量分析-中国の例

Quantitative analysis of the subsidy policy for solar photovoltaic – a case study of China

闕 思超*
Kan Sichao

How to set and maintain an appropriate tariff is at the core of the Feed-in-Tariff policy. In this paper two approaches for deciding the purchase price (tariff) of solar photovoltaic (PV) in mainland China are evaluated by conducting quantitative analysis. The author finds out that, in the case of the “cost plus profit” approach, which was supposed to be applied, the fiscal demand for purchasing PV power would grow too high. On the other hand, under the “decide-by-bidding” approach, which is currently applied, the excessive stress on low price might result in unsustainable problems.

Keywords: solar photovoltaic, Feed-in-Tariff, China

1. 背景と目的

ドイツはじめとした欧州諸国が再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (FIT) を導入して以降、欧州での太陽光発電の普及が加速的に拡大してきた。FIT 制度は欧州以外にも広がり、タイでは 2007 年に再生可能エネルギーFIT 制度が導入され、日本では 2009 年 11 月から太陽光発電余剰電力に対して買取を実施し、2012 年から買取対象を全量全量に拡大する予定である。中国では、2006 年に発効した「再生可能エネルギー法」によって、再生可能エネルギー発電の固定価格全量買取制度が確定された。具体的な買取価格と買取期間の設定に関しては、エネルギー源によって異なる。

FIT 制度を実施している国に対して、買取価格の設定は最も重要な課題である。最初から買取価格を定め、定期的に見直す手法や、入札方式もある。中国の場合、「再生可能エネルギー法」の実施細則の一つである「再生可能エネルギー発電価格と費用分担管理試行方法」によって、「投資費用プラス利益」という原則に基づいて買取価格を設定することになった。しかし、現在は、太陽光発電に対して、入札で買取価格を決める方法が採用されている。これは入札により、政府が国内太陽光発電の最低コストを把握することが目的と思われる。

本研究では、中国の太陽光発電買取価格の二つの決定方式、すなわち、「投資費用プラス利益」計算方式と入札方式

に対して、買取負担の定量化分析を行う。次の章で投資費用プラス利益で算定した固定買取価格方式の買取負担を見積り、現行の入札買取方式の持続可能性に対する評価を第三章で行い、第四章で結論をまとめる。

2. 投資費用プラス利益方式

本章では、「投資費用プラス利益」で計算した太陽光発電コストを買取価格とし、全量買い取ることを義務付けられている送電企業の買取負担を推計する¹。買取負担は、買取価格が現地の石炭火力発電価格を超過した部分で、全国²での電気料金に再生可能エネルギー上乗せ料金 (0.002RMB/kWh) を上乗せして徴収したのから補填される仕組みである。

2.1 買取価格の推計

中国における買取制度によると、2020 年までの買取負担を推計するために買取価格となる太陽光発電の発電コストを想定することが必要である。そのコストを下記のように推定する：

$$\text{太陽光発電買取価格} = \frac{\text{年間平均単位発電システムコスト} \times \text{年間導入容量}}{\text{年間発電量}} \quad (1)$$

ここで、

年間発電量 = システム容量 * 年間有効利用時間数 (1400 時間)

* (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

¹2020 年累積導入量目標を 20GW とする

²農村消費電力は対象外

単位発電システムコスト (1kW) に関しては、下表により計算する³⁾。

表 1 システムコスト試算^{1), 2)}

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%
事業者投資	② ①*30%
銀行融資の年間平均返却額(20年間平均)	③ (①*70%)/20
年間融資利率	④ 5.94%
利息の年間平均返却額(20年間平均)	⑤ ③*3.19%
設備減価償却費(20年間)	⑥ (①*80%)/20
減価償却費相殺資金(元利)	⑦ ⑥*-1
変動コスト(1.5%)	⑧ ①*1.5%
年間投資収益(8%)	⑨ ②*8%
税率	⑩ 6.48%
税金込みのコスト計算式(投資収益率8%を保証)	(③+⑤+⑥+⑦+⑧+⑨)*(1+⑩)

太陽光発電のシステム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⁴⁾。システムの耐用年数を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年間で年間平均利息金額は総融資額の3.19%となる。

システムコストの計算結果を用い、式(1)に基づいて2020年までの太陽光発電買取価格の算定が可能となる。表1によると、システムコストを計算するために、太陽電池モジュールコストの推計が必要である。その推計の流れを図1に示す。

予測の前提としては以下三点がある。

- 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、本研究では学習効果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。
- ③太陽電池の変換効率の向上は考慮していない。

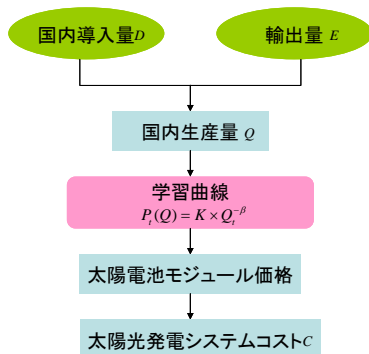


図 1 太陽光発電システムコストの推計の流れ

³⁾計算方式は「China PV Report 2007」を参照、投資収益含む;年間投資収益率に「Study on Renewable Power Pricing Mechanism」で使われた8%(レファレンスケース)を採用
⁴⁾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。
⁵⁾中国工商銀行最新発表した長期融資利息

本研究では、学習曲線を用いて、中国における太陽電池モジュールのコストを予測する。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効果による価格削減は多くの文献で分析されている^{3), 4), 5)}。1995年~2009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⁶⁾に基づいた中国の太陽電池モジュールの学習曲線は式(2)となる。国内モジュール生産量は国内導入量⁷⁾と輸出量⁸⁾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。

$$P_n(Q) = 41.24317 \times Q_n^{-0.17516} \quad (2)$$

ここで P_n: n番ユニットの単位あたりのコスト(人民元/kWh)

Q_n: 1からn番ユニットまでの累積生産量

2020年までのモジュールコストの予測から2020年までの各年における太陽光発電システムの単位コストを表1の計算式により見積もることができる。この結果を利用し、2020年までの太陽光発電に対する年間買取負担の計算について、次節において説明する。

2.2 買取負担の見積り

買取対象は既設太陽光発電設備と新設設備で構成される。太陽光発電に対する年間買取負担は下記の式で計算する(補助開始年を2010年とする):

$$\text{太陽光発電に対する年間買取負担} = \text{年間発電量} * (\text{太陽光発電買取価格} - \text{石炭火力発電価格}) \quad (3)$$

太陽光発電の買取価格を2.1に説明したように計算する。石炭火力発電の平均買取価格は以下のように設定する⁹⁾。

表 2 石炭火力発電の平均買取価格の設定

	2010年	年増加率3%	2020年
Yuan/kWh	0.349		

シミュレーション開始のY₀年(2010年)からn年目、Y_n年における太陽光発電に対する年間買取負担S_{Y_n}は以下のようになる。

$$S_{Y_n} = \sum_{y=Y_0}^{Y_n} (P_y^{pv} - P_y^{coal}) \times e \times l_e, Y_0 \leq y \leq Y_n \quad (4)$$

⁶⁾2009年までの価格データはPPIで調整された実質価格
⁷⁾累積導入量は、2020年までに20GWになるまで、2009年時点の実績から計算した平均伸び率で導入すると仮定する
⁸⁾「IEA PV Roadmap」で予測された世界太陽電池導入量(中国以外)の20%を占めると仮定する
⁹⁾「China PV Report 2007」を参照

P_y^{pv} : y 年における太陽光発電の買取価格 ;

$P_{Y_n}^{coal}$: Y_n 年における石炭火力発電の買取価格 ;

ele_y : y 年における新規導入された太陽光発電設備の発電量 ;

$P_y^{pv} \leq P_{Y_n}^{coal}$ の場合 : $P_y^{pv} - P_{Y_n}^{coal} = 0$

$Y_n - Y_0 \leq$ 買取期間 (25年間)

太陽光発電の価格は通常の石炭火力などの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。

式(4)に基づき推計された 2020 年までに太陽光発電に対する年間買取負担¹⁰を図 2 に示す¹¹。

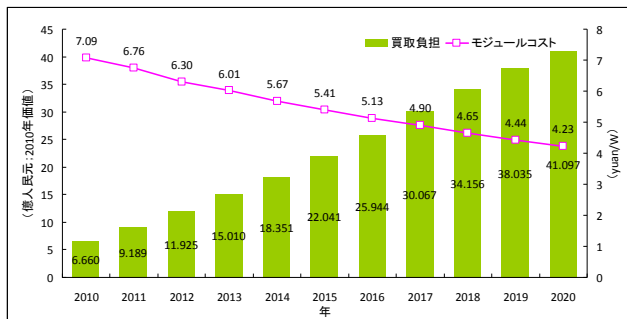


図 2 2020 年までに太陽光発電に対する年間買取負担

「投資費用プラス利益」方式の場合、2020 年での太陽光発電に対する年間買取負担はおよそ 41 億人民元 (2010 年価値に換算) にのぼると予測される。これは 2009 年における中国全国から徴収された再生可能エネルギー上乘せ料金の総額、約 45 億人民元と同程度である。

中国では石炭火力発電の価格が低く設定されているため、2020 年になっても太陽光発電の価格はグリッドパリティに達成しない。そのため、2020 年までに既設設備のほか、毎年新設される設備に対して補助金を拠出し、太陽光発電買取の財政負担が年々増えていくことが推測される。

3. 入札方式と最新の入札結果に対する定量化評価

今年 6 月に中国政府は陝西、青海、甘肅、内モンゴル、寧夏、新疆で実施される 13 件、合計 280MW の太陽光発電プロジェクトを入札で行うと公表した。石炭火力発電と比べ、現在の太陽光発電のコスト (人民元/kWh) が高すぎるため、中国政府は当面の間、入札方式でそれぞれのプロジェクトの買取価格を決める方針を選択した。中国政府は、「投資費用プラス利益」方式で将来的に太陽光発電を大量に導入す

ることによる買取費用の増大を懸念していると見られる。

3.1 国営発電会社が独占した入札結果

入札結果によると、13 のプロジェクトのうち 12 のプロジェクトは大手国営発電企業の子会社が落札し、残り一つは地方国営会社が落札した。結局、民間企業は落札できなかった。今回の入札では、最低価格落札という原則を採用し、落札価格が全て 1 元/kWh (およそ 13 円/kWh) 以下になった。最も低い落札価格は 0.7288 元/kWh となった。今回の入札結果の概要を表 3 に示す。

表 3 2010 年における大規模太陽光発電所プロジェクトの入札・落札状況

No.	省	市	容量 (MW)	買取価格 (落札価格) (yuan/kWh)	買取期間 (year)
1	陝西省	榆林	20	0.8687	25
2	青海省	共和	30	0.7288	25
3		河南	20	0.7288~0.9907	25
4	甘肅	白銀	20	0.7288~0.9907	25
5		金昌	20	0.7803	25
6		威武	20	0.7288~0.9907	25
7	内モンゴル	古阿拉善	20	0.8847	25
8		包頭	20	0.7978	25
9		巴彥淖尔	20	0.8444	25
10	寧夏自治区	青銅峡	30	0.9791	25
11	新疆	ハミルトン	20	0.7288~0.9907	25
12		トルファン	20	0.7288~0.9907	25
13		和田	20	0.9907	25

これほど低い価格では収益が出ないと見込まれ、持続可能な太陽光発電市場の発展には障害になると民間企業及び業界の有識者が強く訴えている。今回入札結果の収益性について、次節に評価を行う。

3.2 入札結果の収益性に対する評価

表 3 に示した太陽光発電の買取価格になる場合、投資収益率 8% を満たすための太陽電池モジュールのコストを第 2 章に使った計算手法を利用して逆算する。税率や、銀行融資利息などの条件についても第 2 章の係数を利用する。また、学習曲線で予測した 2010 年のモジュールコストを用いて、買取期間 25 年間にわたる事業から見たプロジェクト全体の内部収益率を見積もる。その結果を表 4 に示す。

表 4 第 2 列に示された結果 (8% の投資収益率を満たすために、必要な太陽電池モジュールコスト) を学習曲線で予測した結果 (7.09 : 図 2) と比較すると、今回落札になったプロジェクトの投資収益率は十分ではないことが分かる。実際の税率や、銀行融資利息などの係数によって結果に影響があるが、税率と銀行融資利息をゼロにしても、今回入札で最も低い買取価格 (0.7288 人民元/kWh) になったプロジェクトの場合、投資収益率 8% を満たすためのモジュールコストは 6.894 人民元/W 以下に抑える必要がある。

¹⁰5% の割引率で 2010 年の価値に換算

¹¹文献 9 によると、導入ルートが買取負担にも影響を与えるが、本研究にはその影響を考慮しない

表 4 8%の投資収益率を満たすためのモジュールコスト

No.	8%の投資収益率を満たすためのモジュールコスト (人民元/W)	学習曲線で推測したモジュールコスト (2010年) (人民元/W)	プロジェクト全体の内部収益率
1	5.928	7.087	3.76%
2	4.974		2.19%
3	4.974~6.761		2.19%~5.03%
4	4.974~6.761		2.19%~5.03%
5	5.325		2.78%
6	4.974~6.761		2.19%~5.03%
7	6.038		3.93%
8	5.445		2.98%
9	5.763		3.50%
10	6.682		4.91%
11	4.974~6.761		2.19%~5.03%
12	4.974~6.761		2.19%~5.03%
13	6.761		5.03%

プロジェクト全体の内部収益率の結果を見ると、買取価格が0.9907人民元/kWhになっても、プロジェクト全体の内部収益率が5%にとどまる。銀行融資の利息や、税金などを計上すると、投資収益率が更に低くなると考えられる。

前述の分析によると、今回入札の結果では、大半のプロジェクトの収益性は十分とは言えない。中国太陽光発電プロジェクトの規模がまだ小さいため、資金力がある発電会社は太陽光発電事業による損失をカバーできるが、今後太陽光発電の導入規模の拡大に伴い、事業の収益性を考慮しないといけない。その時、事業者（発電会社）がプロジェクトのコストを削減するために、太陽電池の購入価格を低く抑えることは、太陽電池関連産業の発展には障害になる。

4. まとめ

本研究では、中国における太陽光発電に対して、二つの買取価格の確定方式、投資費用プラス利益方式と入札方式、を検討した。投資費用プラス利益の方式で、一定の投資回収率を満たせるが、買取負担がかかり過ぎる¹²。このことにより、中国政府は太陽光発電のコストを把握するため、入札で買取価格を決める方式をしばらく実行するとした。資金力がある大手国営発電会社が市場シェアを獲得するために、プロジェクトの収益性を考慮せず、過度な低価格で応札することが問題となった。

2006年に発効になった「再生可能エネルギー法」には、再生可能エネルギー発電の全量買取制度が決まった。中国は、国内太陽光発電市場を促進するために、太陽光発電に対する買取価格を決めないといけない。適切な買取価格を設定するには、買取負担の軽減及び関連産業発展の持続可能性を同時に考慮する必要がある。再生可能エネルギー促進の観点から、「投資費用プラス利益」の手法が維持できるようにするため、石炭火力発電に対する補助を削減すべきである。

参考文献

- 1) 李俊峰, 王斯成 et.al; China Solar PV Report-2007, (2007), China Environmental Science Press.
- 2) 時璟麗; Study on Renewable Power Pricing Mechanism, (2008), 化学工業出版社, 北京.
- 3) Bob van der Zwaana, Ari Rablc; Prospects for PV: a learning curve analysis; Solar Energy 74, (2003), 19-31
- 4) Maya Papineau; An economic perspective on experience curves and dynamic economies in renewable energy technologies; Energy Policy 34, (2006), 422-432
- 5) Johan Albrecht; The future role of photovoltaics: A learning curve versus portfolio perspective; Energy Policy 35, (2007), 2296-2304
- 6) IEA; Technology Roadmap Solar Photovoltaic Technology, 2010.
- 7) 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.
- 8) 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
- 9) 闕 思超; 中国における太陽光発電の展望と課題; 第26回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2009.

¹²中国に石炭火力発電の価格が低く設定されているため