JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	わが国の太陽電池の価格低減に対する研究開発と導入助成の寄与度
Author(s)	遠藤，栄一
Citation	年次学術大会講演要旨集，29: 782-785
Issue Date	2014-10-18
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/12561
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

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

２Ｇ１７

わが国の太陽電池の価格低減に対する研究開発と導入助成の寄与度

○遠藤栄一（独立行政法人産業技術総合研究所）

1. はじめに

わが国の太陽光発電は，図 1 に示すように大幅な価格低減が実現できており（太陽電池モジュールでは 1992 年～2012 年に 966 円/W から 290 円/W），国の技術開発の成功事例として紹介されることが多い[1,2]。しかし，太陽電池生産量の大部分を占める結晶シリコン太陽電池（図 2）に対する国の研究開発費は，図 3 に示すように必ずしも十分な資源配分がなされてきておらず，一定の資源配分をしていれば，さらなる太陽電池モジュールの価格低減や世界の太陽電池セル生産量に占める日本のシェア拡大の可能性があり得たとの分析結果もある[3]。また，研究開発だけでなく，1994 年度～2005 年度，2008 年度～2012 年度に実施された国の補助金や，1994 年度から実施された電力会社による余剰電力購入メニュー，2009 年度から実施されている余剰電力買取制度や固定価格買取制度のような導入助成も，普及拡大による量産効果を通じた価格低減に貢献していると考えられるものの，それぞれがどの程度，価格低減に寄与したかは明らかにはされてはいない。

以上の背景から，本稿では，[3]で用いられている分析方法，わが国の太陽電池モジュールの，量産効果を除いた価格低減と研究開発による技術知識ストック[4]（累積値）との関係を，技術進歩モデルとしてモデル化する方法を用い，まず太陽電池の価格低減を，研究開発を通した技術進歩による部分と量産効果による部分とに分離し，次に量産効果による部分を導入助成による部分と研究開発による価格低減の二次的効果部分とに分離することによって，それぞれの寄与度を明らかにすることを目的とする。

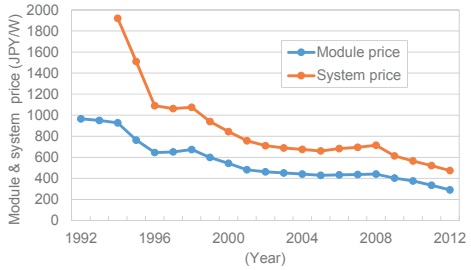


図 1. わが国における太陽光発電システムおよび太陽電池モジュールの価格[3]

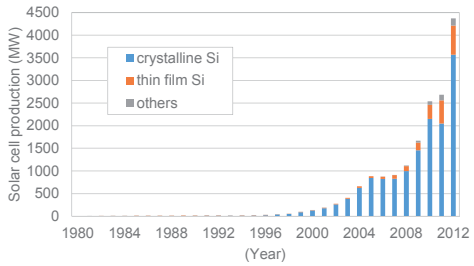


図 2. わが国における太陽電池セル・モジュールの生産量[3]

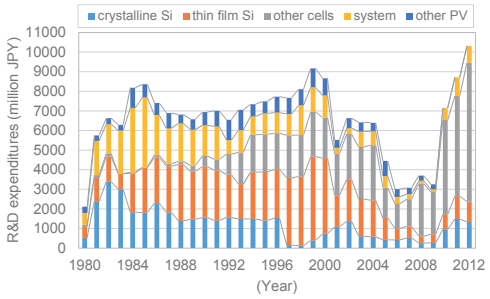


図 3. わが国における太陽光発電に対する国の研究開発費[3]

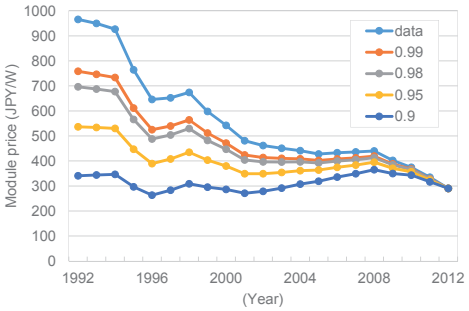


図 4. 量産効果を除いたわが国における太陽電池モジュールの価格

2. 太陽電池技術進歩のモデル化

2.1 太陽電池モジュールの価格

図 1 に示したわが国の太陽電池モジュールの価格は，図 2 に示すように，わが国の生産量の大部分が結晶シリコン太陽電池であることから，結晶シリコン太陽電池の価格とみなすことができる。また，その価格低減は，研究開発による技術進歩と，規模の経済(スケールメリット)および生産習熟による量産効果とによるものである。

量産効果のうち，規模の経済による価格低減効果は，[5]において，ライフサイクルアセスメントの一環として分析がなされている。10 年前の工場規模 10MW，モジュールコスト 350 円/W が，現状 1GW，144 円/W になり，スケールアップのみによる効果は 40 円/W とされている。これから，生産規模(年間生産量)10 倍時の価格低減は 0.9411 (=√(310/350))となる。以下の分析では，規模の経済として，この値を採用する。また，太陽電池モジュールの価格が国内の平均価格であることから，母数となる生産規模として，わが国の結晶シリコン太陽電池セル・モジュール年間出荷量[3]，同様に累積生産量として，年間出荷量の累積値を用いる。一方，生産習熟に関してはデータが得られていない。図 1 の太陽電池モジュールの価格から，規模の経済と，累積生産量 2 倍時の価格低減を 0.99，0.98，0.95，0.9 と仮定して生産習熟を控除した太陽電池モジュールの価格を図 4 に示す。累積生産量 2 倍時の生産習熟 0.98 未満では，シリコンの輸入価格，太陽電池の需給バランスによる価格変動の影響[6]を考えにくい 2002～2004 年において，技術進歩によって価格が上昇することになることから，量産効果(生産習熟)を最大限に見積もる，言い換えれば技術進歩を最小限に見積もることになる，0.98 として分析を進める。

2.2 太陽光発電の研究開発費

図 3 ではわが国の太陽光発電に関する国の研究開発費を，太陽電池(結晶シリコン，薄膜シリコン，その他)，太陽光発電システム，その他太陽光発電に区分して示した[3]。2001 年度以降は NEDO の技術開発であるが，プロジェクトごとの予算額，(サブ)テーマ名，研究内容，および成果しか一般には公表されていない。そのため，(サブ)テーマごとの研究開発費はプロジェクトの予算額を(サブ)テーマ数で除して推定し，研究内容は成果報告等で確認した上，該当する区分に分類したものである。

2.3 技術知識ストック

技術知識ストックを(1)式で定義する[4]。

$$TS_t = TS_{t-1} \times (1 - ro) + RE_{t-m} / rd_{t-m} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

ただし，TS_t: t 年の技術知識ストック(円)，m: リードタイム(年)，研究開発～商業化，NEDO 実績値 5 年，ro: 陳腐化率，20% [4]または 10% [1]，RE_t: t 年の研究開発費(円)，rd_t: t 年の研究費デフレータ

図 3 に示した結晶シリコン太陽電池の研究開発費に対して，式(1)を適用して求めた技術知識ストックの推移を図 5 に示す。また，量産効果を除いた太陽電池モジュール価格の対前年比を図 6 に示す。シリコン価格や需給バランスによる価格変動を除いた価格低減率は，陳腐化率 20%の場合の技術知識ストックとの相関が視認できる。

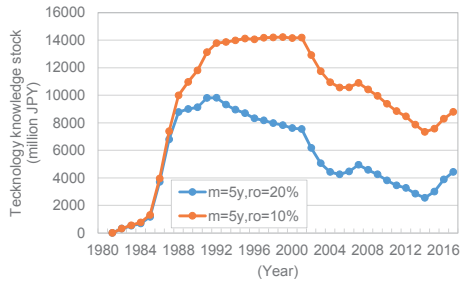


図 5. 結晶シリコン太陽電池に対する国の研究開発による技術知識ストック

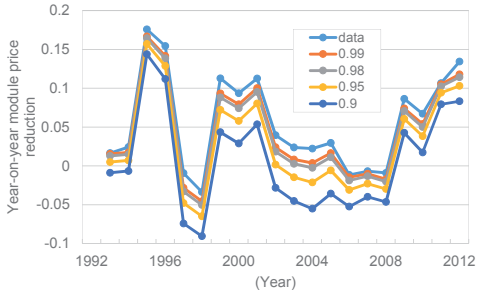


図 6. 量産効果を除いたわが国における太陽電池モジュール価格の対前年比低減率

2･4 技術進歩モデル

太陽電池モジュールの価格は，簡単のため，(2)式の指数関数でモデル化する[3]。指数関数を用いることによって，収穫逓減が表現でき，かつ技術進歩の連続性・追加性を仮定することになる。

$$y=\exp(ax+b) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2)$$

ただし，y: 太陽電池モジュール価格(円/W)，x: 累積技術知識ストック(円)，a，b: パラメータ，a<0，$\log_e(y)$の回帰分析で推定

わが国の結晶シリコン太陽電池に対する技術知識ストック(図 5)の累積値と，2012 年の生産規模，累積生産量を仮定して量産効果を除いた太陽電池モジュール価格との関係を図 7 に示す。

(2)式で示される太陽電池モジュール価格 y の自然対数をとり，回帰分析をおこなった結果，陳腐化率 20%の場合 a=-5.842E-06，b=6.874，修正済み決定係数 R^2=0.8975，陳腐化率 10%の場合 a=-2.907E-06，b=6.700，修正済み決定係数 R^2=0.8770 の回帰直線が得られた。得られた回帰係数に基づく技術進歩モデル(陳腐化率 20%の場合)を図 7 に示す。

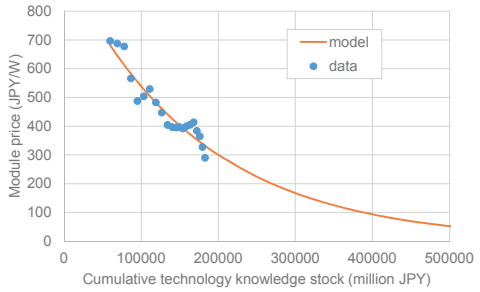


図 7. 量産効果を除いた太陽電池モジュール価格と技術進歩モデル

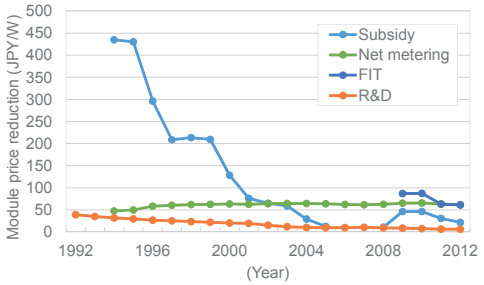


図 8. 研究開発および導入助成による太陽電池モジュールの価格低減効果

3. 太陽電池の価格低減に対する寄与度

3.1 技術進歩，量産効果別の寄与度

わが国における太陽電池モジュールの価格は，図 1 に示したように大幅に低下している。そのため，寄与度を経年的に求める場合，低減の基準を金額 (円/W)とするか，率(%)とするかで，異なる傾向となる。本稿では，低減額とし，前年との差分を，生産習熟と規模の経済の二つの量産効果，研究開発による技術進歩，およびその他の四つに分けて，(3)～(6)式で求める。技術進歩の寄与度は，(2)式で示される技術進歩モデルを用いて求めることから，期待低減額になる。そのため，ブレークスルーや技術進歩の停滞を含む各年における実際の技術進歩との差は，その他として扱われる。ただし，20 年間の合計値では，期待値と実際値との差は相殺される。さらに，その他には，シリコンの輸入価格，太陽電池の需給などによる価格の変動が含まれる。

$CLD_t = MP_{t-1}*(1-LD\hat{}\log_2(CP_t/CP_{t-1}))$ …… (3)

$CSM_t = MP_{t-1}*(1-SM\hat{}\log_{10}(AP_t/AP_{t-1}))$ …… (4)

$CTP_t = a*\exp(a*CTSt+b)*ATS_t$ …… (5)

$COT_t = MP_{t-1}-MP_t-(CLD_t+CSM_t+CTP_t)$ …… (6)

ただし，CLD_t: t 年の生産習熟の寄与度(円/W)，CSM_t: t 年の規模の経済の寄与度(円/W)，CTP_t: t 年の技術進歩の寄与度(円/W)，COT_t: t 年のその他の寄与度(円/W)，MP_t: t 年の太陽電池モジュール価格(円/W)，CP_t: t 年の結晶シリコン太陽電池累積生産量(kW)，LD: 生産習熟の係数，累積生産量 2 倍時の価格低減 0.98，AP_t: t 年の結晶シリコン太陽電池年間生産量(kW)，SM: 規模の経済の係数，生産規模 10 倍時の価格低減 0.9411，a,b 陳腐化率 20%での値，CTS_t: t 年の結晶シリコン太陽電池に関する累積技術知識ストック(百万円)，ATS_t: t 年の結晶シリコン太陽電池に関する技術知識ストック(百万円)

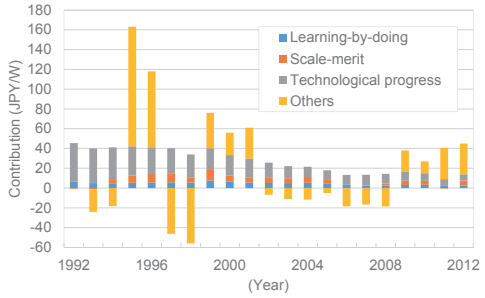
図 9 に(3)～(6)式で計算される太陽電池の価格低減に対する各年のそれぞれの寄与度およびその 20 年間の合計を示す。1992 年のその他の寄与度は，前年のデータがなく計算できないため含まれていない。

3.2 研究開発，導入助成別の寄与度

研究開発の寄与度は技術進歩の寄与度と等しいが，量産効果の寄与度は，研究開発を通した価格低減による普及拡大と，導入助成を通した実質価格の低下による普及拡大との二つによることから，これを分離する必要がある。導入助成に関しては，補助金，余剰電力の売電価格のうち，回避可能原価と電気料金との差額，および電気料金と固定価格買取制度における買取価格との差額がある。さらに，補助金には，国による住宅用太陽光発電に対するものと，産業用・公共用太陽光発電に対するもの(NEDO フィールドテスト)とがあり，国以外にも地方自治体も実施している。ここでは，国による住宅用太陽光発電に対する補助金と，回避可能原価と電気料金との差額，電気料金と固定価格買取制度の買取価格との差額について，助成は太陽光発電システムに対するものとして按分した太陽電池モジュール相当分を考慮する。価格低減による追加的導入量は，普及関数(例えば[8]では投資回収期間と普及率との関係を指

数関数としている)を用いて推定できるが，本稿では簡単のために，図 8 に示したそれぞれによる価格低減分に比例するものとする。

固定価格買取制度による導入助成は，10kW 未満の太陽光発電システムにおける，固定価格買取期間 10 年，年間余剰電力量 550.49kWh/年とした場合の，電気料金(東京電力従量電灯 B・C 第 3 段)と買取価格との差額とする。回避可能原価は 15.15 円/kWh(卸電力価格)[8]，余剰電力購入単価は 24.13 円/kWh(東京電力従量電灯 B・C 第 3 段，2009 年～2012 年)とする。図 10 に量産効果の寄与度を，補助金，余剰電力購入メニュー，固定価格買取制度，および研究開発の二次的効果に按分したものを示す。



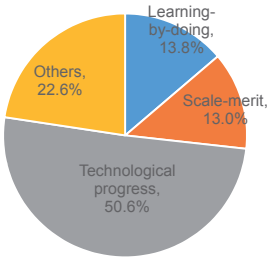


図 9. わが国における太陽電池モジュールの価格低減に対する技術進歩および量産効果の寄与度，各年(左)および全期間(右)

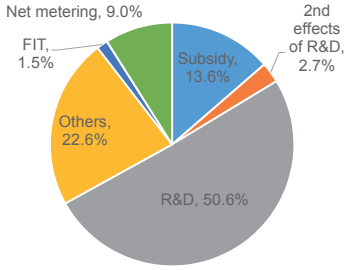


図 10. わが国における太陽電池モジュールの価格低減に対する研究開発および導入助成の寄与度(全期間)

4. 考察

太陽電池の価格低減への寄与度に対し，影響を及ぼす要因として，以下のものが上げられる。規模の経済に関しては，生産規模が現在より小さい初期のころについては，0.9 と推定されており[9]，量産効果(規模の経済)の寄与度が大きくなる可能性がある。生産習熟に関しては，0.98 と仮定したが，これより 1 に近い可能性はあり，その場合，量産効果(生産習熟)の寄与度は小さくなる。量産効果の寄与度の按分に関しては，普及関数(指数関数)[8]を用いる場合，価格の効果がより強調されることから，寄与度の小さい技術進歩の二次的効果はさらに小さくなる。なお，本分析では，国の研究開発費のみを対象としたが，民間研究開発費に関しては，シリコン輸入価格の影響とともに[3]で考察されている。

5. おわりに

太陽電池の価格低減に対する寄与度を分析した。研究開発による技術進歩の寄与度は 1/2 程度であり，残りは量産効果とその他(メーカーによる利幅の圧縮，供給過剰による価格低下など)である。また，量産効果のほとんどは導入助成によるものであり，研究開発による技術進歩の二次的効果はわずかである。[2]では太陽光発電に対する技術開発の波及効果を対象としている点で，太陽電池の価格低減のみを対象とする本分析とは必ずしも同一の前提での分析ではないが，太陽電池の価格低減に関しては，すべてを研究開発の効果とするには，無理がある。なお，分析結果と，国の補助金，研究開発費とに基づいて，それぞれの費用対効果を計算することができる。

参考文献

[1] 幸本和明，吉田准一，岸岡三春:「公的資金による研究開発プロジェクトの費用便益分析手法に関する研究(1)－公的研究開発投資による製品の価格低減効果についての検討－」，第 23 回研究・技術計画学会年次学術大会講演要旨集，714-717 (2008)
[2] 萬木慶子，山下勝，竹下満:「NEDO プロジェクトから生まれた「NEDO インサイド製品」に関する経済性効果と社会的便益に関する研究」，第 27 回研究・技術計画学会年次学術大会講演要旨集，685-688 (2012)
[3] 遠藤栄一:「わが国の太陽電池研究開発における資源配分の影響分析」，電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集，1431-1436,(2014)
[4] 渡辺千仭，宮崎久美子，勝本雅和:「技術経済論」，日科技連，92-98 (1998)
[5] 低炭素社会戦略センター:「低炭素社会づくりのための総合戦略とシナリオ，2.3 要素技術構造化に基づく定量的技術シナリオの構築(1):太陽電池」(2012)
[6] 遠藤栄一:「わが国の住宅用太陽光発電の経年的普及要因分析」，電気学会論文誌 B 133 巻 10 号 761-769，(2013)
[7] 遠藤栄一:「わが国における住宅用太陽光発電の普及分析」，電気学会論文誌 B 132 巻 5 号 478-485，(2012)
[8] 木村啓二:「回避可能費用の計算方法に関する分析」，自然エネルギー財団，(2013)
[9] 遠藤栄一，田村佳彦:「太陽電池の製造原価低減に対する研究開発と導入助成との投資効率の比較」，電気学会論文誌 B 121 巻 12 号 1788-1798,(2001)