

# 太陽光発電のコストが下がった理由は何か？

## —— 半導体産業からのスピルオーバーについて

太陽光発電（PV）のコストはかつてに比べると大幅に下がった。ではこの理由は何か？ コスト低減には政府の役割が大きかったとする論調があるが、本稿では、実は半導体産業の発展から恩恵（スピルオーバー）を受けたという側面のほうがより重要だったのではないかという立場から、そう考える根拠をいくつか提示する。

なお、諸国の全量買取制度（FIT）による大量導入の政策はPVのコスト低減にも影響したが、メーカーを翻弄し、社会的な便益をもたらす長期的な技術開発の妨げとなった。



杉山 大志 SUGIYAMA Taishi

一般社団法人 キヤノングローバル戦略研究所 上席研究員

### 問題意識\*1

諸国の政策介入によってPVのコストが低減した、というストーリーは、温暖化対策における政策介入の成功事例の代表として語られることがある。さらに進んで、この立場からは、地球温暖化対策のイノベーションのためには政府の強力な介入が必要だ、という主張がなされている。この代表的な存在として欧州で有名なのは、マツカート\*2である。

確かに巨額の政府補助が全量買取制度（FIT）で実施されたのは事実であり、PVのコストが低減したのも事実である\*3。だが、吉岡（小林）徹氏が指摘しているように\*4、この二つの事実があることは、この二つの間に因果関係があることを意味しない。

もしもFITに効果があったというなら、FITがなかったら技術は進歩しなかったのか？

実は、PVに匹敵するような急激なコスト低減は多くの技術で起きている。半導体の世界ではムーアの法則で知られる急激な進歩が起きている。メモリやCPUはもちろん、センサーの価格も下がっている\*5。半導体だけ

なく、バッテリーのコストも急激に減少した\*6。シェールガスの掘削技術でも、PVを上回る急速な効率向上とコスト低減が起きた\*7。以上のコスト低減はどれもPVのFITのような、巨額の政府補助による普及政策には全く依存していない。この点において、PVは顕著な例外である。

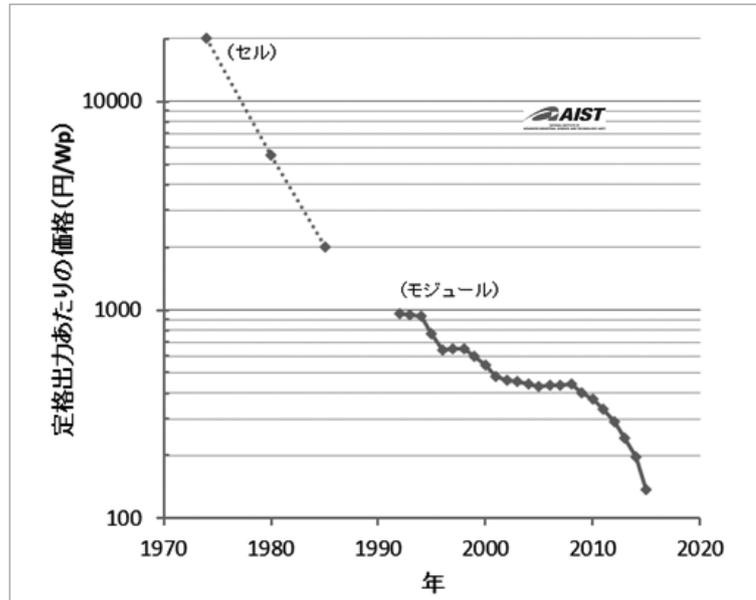
PVのコスト低減にしても、単にFITのお陰ではなく、別の理由がある。PV以前に、シリコン半導体産業が発達し、製造技術が膨大に蓄積された。低コスト化に最も成功した多結晶シリコンPVは、いわばローエンドの半導体であって、これらのあらゆる先行技術が利用された\*8。

本稿では、これまでPV政策の評価であまり注目されてこなかった「半導体産業からのスピルオーバー（恩恵）」について、掘り下げて検討してみよう。

### PVのコスト低減とFIT

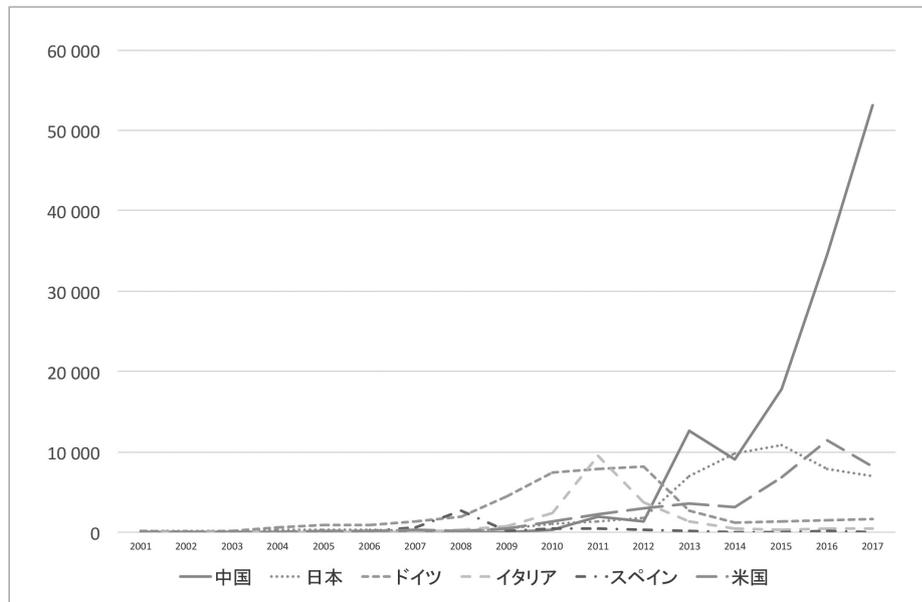
まずはPVのコスト低減とFITの経緯についてデータを確認しよう。

図1/日本におけるセル・モジュールの価格



(出典:産業総合研究所、[https://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/about\\_pv/economics/cost\\_2.html](https://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/about_pv/economics/cost_2.html))

図2/PV設備容量の各年の増加量(単位:MW)。ブーム&バストが見て取れる。



(出典:IRENAデータベース、<http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=18>より筆者作成)

**(1) コスト低減**

PVのコストが長期に低減したことは様々な情報源で確認できるが、例えば図1のデータからも読み取ることができる。

**(2) FITによるブーム&バスト**

諸国政府によるFIT等の補助政策の実施によって、PVの普及量は世界全体でみると増えてきた。しかし国ごとにみると、道のりは平坦ではなかった。起きてきたことは「ブーム&バスト」の連続だった。すなわち、高額補助を与えることで大量に導入が進む(ブーム)と、すぐにコスト増や電力システムの制約が明らかになって、補助

が取りやめられて導入が停止する(バスト)、ということの繰り返しであった。

図2をみると、2008年のスペイン、2011年のイタリア、2009～2012年にかけてのドイツのブーム&バストがみてとれる。日本は2013～2017年にブームがあったが、FITは現在抜本的な見直しがなされつつあり、このあとはバストの局面に入りそうだ。

米国と中国はまだバストの兆しはみえていない。だが筆者は、やがて先行する他国と同様の理由でバストを迎えるものと予想する。というのは、PVは同じ時間に一斉に発電するために、電力システムに大量に導入するとその卸電力としての価値が著しく下がるのみならず、電

力システムの安定性についての問題も起こすからだ。バッテリーやデマンドレスポンスでこれを補完する試みには、少なくとも当面は、技術的・経済的な課題が山積みで、そう簡単にPVの大量導入を継続できるわけではない。

### (3) 中国の多結晶シリコンPVの勝利

PVには様々な方式があるが、現在、世界でもっとも普及しているのは多結晶シリコン方式である。この製造工程は、精錬した金属シリコンのかたまり(インゴット)を溶かしたのち冷却して多結晶シリコンをつくり、ワイヤーソーで薄くスライスしたのちにP型・N型のドーピングを施して、電極・電線などを付けてガラス板の中に封入するというものである\*9。PVには半導体のメモリ等と類似の製造工程が多くあるが、メモリ等はもっと複雑かつ微細な工程を何百回も繰り返して製造する。それに比較すると、PVは大幅に簡単な工程である。また必要なシリコンの純度も半導体よりも文字通り桁違いに低くてよい。LSI用のシリコンはイレブン・ナイン(99.99999999%)の純度が要求されるが、ソーラーグレードシリコンはシックス・ナイン(99.9999%)でよいとされる\*10。半導体は不純物が入らないようにクリーンルームで製造するが、PVはそれほど神経質にならなくてよい。

このようにPVは半導体より技術的には簡単につくれるので、当然、重量当たりの単価でいえばPVは大幅に安くなる。いわば多結晶シリコン型のPVは「ローエンドの半導体」である(このローエンドの半導体という表現は筆者の発明ではなく、以前、中国のベンチャー製造企業の社長から聞いた)。

中国はこの多結晶シリコン方式のPVで価格競争力を持ち、製造能力を拡大した。そして大幅に出遅れた位置からスタートして、わずかな期間に世界市場を席巻してしまった(図3)。

### 半導体産業からの恩恵

ローエンドの半導体である多結晶シリコン方式のPVは、半導体産業の発展からの恩恵を受けた。それは少なくとも以下の3点にわたる。

#### (1) シリコン価格の低下

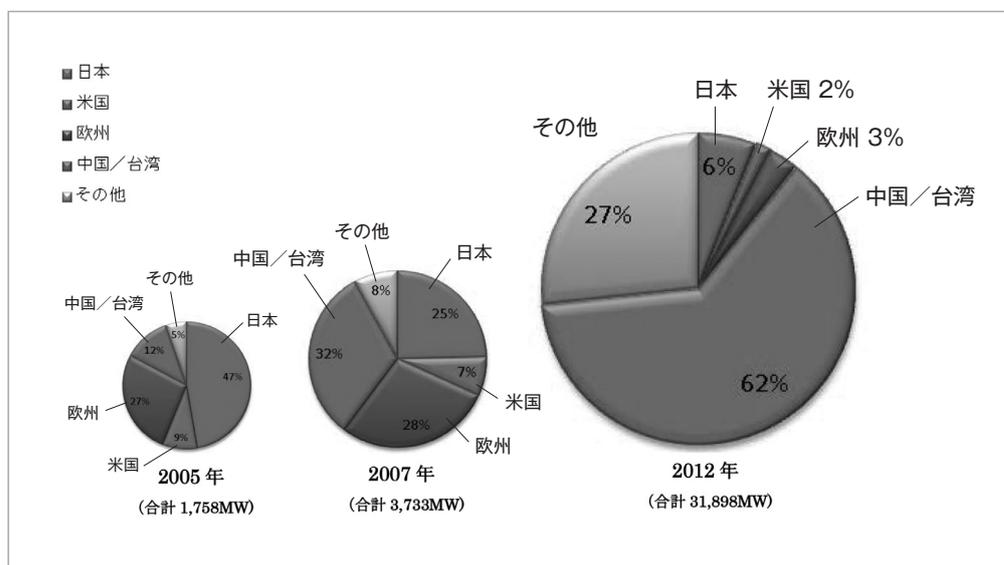
多結晶シリコン方式のPVの弱点は、シリコンを多く使うことである。薄膜型のアモルファスシリコンPVに比べるとシリコン使用量は約100倍になる。このため、多結晶シリコン方式のPVには将来性がないと考えられた時期もあった。

しかし、シリコン価格の大幅な下落は、この欠点を欠点でなくしてしまった。精錬されたシリコンの価格は1980年には131ドル/Kgであったが、半導体産業の進歩によって低減を続け、FITによる大量導入が始まる前の2001年までには、すでに25ドル/Kgにまで下がっていた(Nemet, 2006)。

この直後にFITによる攪乱があっ見えにくくなっているものの、長期的にみれば、半導体産業の発達に伴ってシリコン価格が低減してきたことが、多結晶シリコンPVの材料コスト面での不利を解消することに繋がってきた。

ではFITの導入で何が起きたか。欧州諸国のFITによってシリコン需給のひっ迫が起きて、それは2007年にシリコン価格を400ドルまで暴騰させた。この暴騰によって、中国ではソーラーグレードの多結晶シリコン製造工場への大量投資が起きた。しかし直後の2008年にはリーマンショックに見舞われ、価格は暴落した。もともと、シリコンは鉱物資源が不足しているわけではなく、単にFITで急激に需要が増えたせいで価格暴騰が起きた

図3/太陽電池セル生産量地域別シェアの推移



(出典: NEDO資料、<http://www.nedo.go.jp/content/100575154.pdf>)

だけであった。そこにリーマンショックが来て、さらに多結晶シリコン製造工場が大量に立ち上がることで、その後、ソーラーグレードのシリコン需給は供給過剰状態が続き、価格は低迷を続けた(Nemet, 2018)。

## (2) 製造技術の進歩

PV 製造技術においては効率が向上し、ウエハの面積が増え、また厚さは薄くなっている。例えばウエハの厚さは1980年には500ミクロンだったのが現在では200ミクロン以下になっている(Nemet, 2018)。これはワイヤソーによる切断加工技術が向上したおかげである。厚さが薄くできれば、それだけ同じ出力のPVをつくるためのシリコンの投入量が減らせるので、コスト低減になった。

これらはもちろん、いずれもPV製造工程として工夫を重ねた結果である。だがその工夫を重ねた製造事業者は、半導体製造で経験を積んだ事業者であった。PV製造工程は半導体製造工程と似通っているからである。ここでも、PV産業は半導体産業の発展の恩恵を受けていた。

日本の半導体装置産業は1980年代には既に1兆円産業であり、1990年代には3兆円産業であった(和田木哲哉 他, 2008)。あらゆる半導体製造装置についてのメーカーが育った。その中から、太陽電池製造装置をつくるメーカーも現れた。

例えば、スライス加工メーカーである大阪富士工業(株)は、1984年に半導体用のシリコン単結晶加工事業を開始した。のちに2002年になって太陽電池用シリコンウエハ切断事業を開始、その後単結晶・多結晶の太陽電池用シリコンウエハの切断加工事業へ進出している\*11。ダイトロン(株)も、半導体用のウエハ加工技術の蓄積を活用して、結晶系太陽電池用のウエハ加工事業へ進出した\*12。

## (3) 中国の製造業の集積

中国は、実質的にPV市場が立ち上がった2000年代後半のわずか5、6年の間に、圧倒的な後発であったにもかかわらず、一気に世界市場を席捲してしまった(青島矢一, 2015)。この奇跡はなぜ、どのように起きたのか。

先陣を切ったのはサンテックである。創業者の施正栄は2001年に創業、2005年にニューヨーク上場を果たし、2007年にはドイツのQセルズ・日本のシャープに次ぐ世界第3位の太陽電池メーカーに躍進した。施正栄は長者番付6位になった。

この成功をみて多くのメーカーが参入した。特に台湾系の半導体(LSI)産業やフラットディスプレイ産業が多く参入した(Marukawa, 2012)(丸川知雄, 2013)。台湾系の企業の参入には実は前史がある。無錫市のある長江デルタ地域では、このPVブームに先立ってノートパソコン

産業が大規模に発展し、やはり世界制覇を遂げた。これは、家電製品で急成長した台湾が2001年から生産拠点を中国に移し、大規模に投資した結果であった(川上桃子, 2012)。

加えて、化粧品や農機等の他製造業出身の経営者も参入し、2007年にはPVの材料加工、セル、モジュール生産等を合わせると、実に300社以上が参入していた。この中には多結晶シリコンメーカーもあった。多結晶シリコンの生産量は2006年には287tでほぼ輸入に頼っていたが、2008年には4,300tに急増、2009年上半年期には50社以上が総計17万tもの投資計画を立てるに至った(丸川知雄, 2014)。

これらの多数の事業者の活躍で、中国の価格競争力は圧倒的なものになり、世界市場を席捲することになった。では、この急成長とコスト低下はどうして可能だったのか？

政府支援はあった。はじめ中央政府はPVを支援しなかったが、無錫市などの地方政府は積極的に支援した。ただしこれだけではなかった(丸川知雄, 2014)。

製造装置さえ買ってくればあとはキーをひねるだけで生産できるというターンキー製造装置が先進国から輸入できたことが重要だった、とする意見もあった。しかし、これではコスト競争力を持ちえない。

(青島矢一, 2015)の調査によると、中国無錫のPV企業群は、ターンキー製造技術頼みではなく、世界各地から製造装置を購入して自らの製造ラインを組み上げていたという。そしてコスト低減の鍵は、地元の中小企業の情報交換ネットワークであり、そこでは、公私にわたる付き合いをしながら、人材、製品価格、技術、新製品、市場等あらゆる情報を交換していた。人材流動も頻繁であり、互いの製造工程まで熟知していたという。このような中国式の「経営資源の共有」によって、脅威の低コスト化が図られたという。

多結晶シリコンPVは、半導体産業に起源をもつことから、初めは製造工程は過剰なものだった。その過剰な工程をそぎ落としたり、簡略化したりすることで、多結晶シリコンPVのコストは下がっていった。このようなコストダウンは中国が得意とするところであった。

21世紀初頭の過去20年間において、中国はあらゆるものを低コストでつくることにかけて世界最強になったが、この能力がPVでもいかに発揮されたわけである。この意味で、PVのコスト低減は、中国の製造業の発達之恩恵を受けている。その中で、台湾・中国で発達した半導体産業の経験も活用された、ということである。

## 議論

## (1) 半導体産業からのスピルオーバー

以上のように、PVのコスト低減においては、半導体産業の発展からの恩恵（スピルオーバー）があった。それには少なくとも以下の三つの経路があった。①半導体産業の発展によって、シリコン価格が低下した。②半導体製造メーカーに技術が蓄積されて、それがPV製造技術に活用された。③中国PV産業には、台湾・中国に蓄積された半導体産業の蓄積からの大量参入があった。中国にPV産業が蓄積されると、経営資源の共有によってPVのコストダウンが進んだ。

(Nemet, 2006) は、1980年から2001年の間に多結晶シリコンPVモジュールのコストが1/7に低減した要因を分解して、モジュール生産のプラントサイズの拡大が43%、発電効率の向上が30%、シリコン価格の下落が12%であり、その他（ウエハサイズの拡大、ウエハ厚さの減少、ウエハ切断屑の減少、歩留まりの向上等）が15%としている。このうちシリコン価格の下落についてのみが、半導体産業からのスピルオーバーであるとしている。

だが筆者は、シリコン価格の下落以外の項目についても半導体産業からのスピルオーバーは大きかったのではないかと論じたい。というのは、どのような科学的知見や製造装置が利用され、どのような事業者や人材が携わったかという点では、半導体産業からの恩恵を受けたと考えるからである。(Nemet, 2006)も言及するように、プラントサイズの拡大は、三菱電機やシャープなどの、半導体産業でのプラント拡大の経験を積んだ事業者によって担われた。また前章でみたように、半導体事業者がPV事業に参入したことは、ウエハサイズの拡大、ウエハ厚さの減少、ウエハ切断屑の減少、PV製品の発電効率向上等に寄与したと思われる。発電効率向上に関しても、例えば多結晶シリコンインゴットの製造技術は、そもそも半導体技術として発達したのだから、PV製造技術へのスピルオーバーは大きかったと思われる<sup>\*13</sup>。

もちろん、太陽電池に特化した技術開発が日本をはじめ諸国政府と研究所・企業によって行われ、それによる成果はあった。例えば封止材としてのEVAの利用は、米国が軍事目的で技術開発をしたことによるものであり、家庭用太陽光発電の電力系統との接続の実証試験は日本政府が実施した。それに、いくら半導体産業からのスピルオーバーがあっても、PVの市場がなければ製造自体が行われないので、補助金や余剰電力の買取り等で日本などの諸国政府等がニッチ市場をつくったことも製造技術の進歩を通じてコスト低減に寄与したであろう(NEDO, 2007)。欧州諸国のFITも市場を創造することで企業の参入や大規模な投資を招き、コスト低減に

寄与した。

しかし、そのような機会を活用する過程においては、半導体産業からのスピルオーバーの効果が大きかったことが前章の検討で示唆された。「半導体産業なかりせば」太陽光発電のコスト低減はなかなか進まなかったであろう。

技術史においては、技術が発明されてから、その実用化まで非常に長い時間がかかることは珍しくない（これについて、一般論および事例は(Hidalgo, 2018)、(Fink, Reeves, Palma, & Farr, 2017)）。例えばバベッジは解析機械を19世紀半ばに発明した。これは蒸気機関と機械仕掛けとパンチカードからなる汎用計算機であり、今日のコンピューターの基本概念をほぼ網羅していた。しかし当時は、コストが膨大になるために1台も製造されることなく終わった。汎用計算機が実用化されるためには、真空管技術ないしはトランジスタ等のエレクトロニクス技術の発達を待たねばならなかった。これには100年かかった(ジェイムズ・グリック, 2013)。優れたアイデアであっても、それが実用化するためには、その周辺の技術が育つ必要があった、ということである。本稿が示唆するところは、これと同様に、多結晶シリコンPVが今日の水準までコストが下がるようになるためには、半導体産業の発達が必要であった、ということである。

本稿で挙げたエビデンスは網羅的なものからは程遠いが、PVのコストが下がった理由と、これからの温暖化対策等の技術開発における政府の役割に関する議論について、一石を投じるものとする。

## (2) FITはどのような役割を果たしたか

2001年から2007年にかけての中国太陽電池市場の急成長が欧州諸国のFITに刺激されたことは確かである。そして、諸国のFITによってできた市場では中国勢が勝った。その成功は、シリコン多結晶方式というローテクの生産を拡大し、コストを低減することによるものだった（なお以上は世界についての話である。日本については、FITはむしろPV価格を高止まりさせている(野村浩二・天野友道, 2014)）。

しかしなおPVの導入は、ほとんどの場合、いまだ政府の優遇政策頼みである。そして間欠性という重要な問題点はまだ解決していない。優遇政策抜きのPVの価値とは、すなわち回避可能費用であるが、これは、せいぜい火力発電燃料の焚き減らし分しかない。大量に導入されると、天気の良いければ同じ時間に一齐に発電するというPVの特徴から、卸電力の価値は下がってゆく。いったんこの状態になると、もっと性能の良いPVを開発しても、その価値も目減りしてしまうことになる。PVを電力供給の主力にすることを指すためには、電力系統との統合の問題の解決の目途が立たない段階でPVを大量導入したことは失敗だったのではないかと

それよりは、持続可能な形で、電力系統との統合の課題解決の目途が立つまではPVの基礎研究を続け、より効率が高く、材料投入量も少なく、コストが低いPVを目指すほうがよかったのではないかと。だが、まさにそのような研究を担っていたシャープは、2007年のシリコン需給ひっ迫時にまずシリコン調達に失敗して生産の拡大ができず、次いで高値でシリコンを長期契約してしまい、これがその後の深刻な業績悪化をもたらした。つまりFITに振り回されてしまった(中田行彦, 2016)。このように、PVの主力化に向けた持続可能な研究開発を促すにはFITは有害であった。(Marukawa, 2012)は、「政策が太陽電池メーカー達を翻弄し、企業の寿命を短命なものとしているのでは本末転倒である」と指摘している。日本はFITを導入することなく、RPSを継続することで、拙速なPVの導入を避けるほうが賢明だったのではなかろうか。

### 追記

なお本稿では、多結晶シリコン方式以外のPVについて詳しく触れることができなかった。日本の国家技術開発プロジェクトであるサンシャイン計画・ニューサンシャイン計画の大半は、多結晶シリコン方式ではなく、アモルファスシリコン薄膜型等、より技術的には難易度の高い研究開発を対象としていた(太陽光発電技術研究組合, 1998)(NEDO, 2007)。またこれはフラットディスプレイ産業との密接な関係がみてとれる(桑野幸徳, 2011)。また機会を改めて書きたい。

- \*1 なお本稿の問題意識および温暖化対策の政府介入の是非についてのより詳しい議論は(杉山大志, 2018)第5章1(4)「PVコスト低減は誰のお陰か?」及び第13章を参照。
- \*2 イノベーションへの政府介入の意義を強調するものとして(マリアナ・マツカート, 2015)
- \*3 太陽光コストが急激に低減したことについては、例えば(IEA, 2017)
- \*4 政府補助とコスト低減の因果関係等、マツカートへの批判としては以下を参照  
<https://tohru-kobayashi-yoshioka-ipr.jimdo.com/>  
 なお同様なマツカートへの批判論文として  
<https://object.cato.org/sites/cato.org/files/serials/files/cato-journal/2015/9/cj-v35n3-7.pdf>  
 さらに進んで、公共部門の科学技術投資自体が無駄が多く効果が乏しいと説くものに以下がある  
<https://www.cato-unbound.org/2013/0805/terence-kealey/case-against-public-science>
- \*5 センサーの価格の急速な低減については、(総務省 情報通信白書, 2015)
- \*6 バッテリーのコストが急激に減少したことについては、(Nykqvist & Nilsson, 2015)
- \*7 シェールガスの掘削技術でも、PVを上回る急速な効率向上とコスト低減が起きたことについては、(Mills, 2015)
- \*8 PVの技術開発に様々な先行技術が利用されたことについては

(Nemet, 2014)(Nemet, 2012)にも言及がある。

- \*9 多結晶シリコンPVの製造方法について平易に説明しているものとして  
[http://denkou.cdx.jp/Opt/PVC01/PVCF1\\_1.html](http://denkou.cdx.jp/Opt/PVC01/PVCF1_1.html)
- \*10 ソーラーグレードシリコンの平易な解説は  
[https://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/about\\_pv/supplement/SiTypes.html](https://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/about_pv/supplement/SiTypes.html)
- \*11 大阪富士工業株式会社資料  
[https://www.ofic.co.jp/slicing/pdf/ofic\\_slicing.pdf](https://www.ofic.co.jp/slicing/pdf/ofic_slicing.pdf)
- \*12 ダイトロン株式会社資料  
<http://www.daitron.co.jp/products/machine/solarcell.html>
- \*13 (Nemet, 2006)は、(Surek, 2003)を引用して、1980年から2001年の間に発電効率向上に寄与したブレークスルーは大学や政府研究所の研究が多かったとしているが、ここで引用されている研究は薄膜方式や単結晶シリコン方式等に関するものであって多結晶シリコン方式ではなく、また実験室レベルのものであって、工業生産レベルのものではない。また、この間に累積生産量が少なかったことを生産ラインでの学習(Learning By Doing, LBD)がなかった理由としているが、半導体産業での技術の蓄積が応用されたと考えれば、この期間に着々と工業生産レベルの発電効率が向上したことが説明できそう。なおこの間、多結晶シリコンPVの工業生産レベルでの効率向上は起きたが、一貫して実験室レベルには遠く及ばないものだった。このことも、この間の多結晶シリコンPVの工業生産レベルでの発電効率向上は、大学や研究所による基礎研究よりは、(半導体産業からのスピルオーバーを活かした)工場での製造技術の改善に負っていたことを示唆するように思える。(なお(D.Husmann, 2012)も1980年以降のPV発電効率向上は大学や国立研究所の研究開発によるとしているが、同論文から読み取れるのは、研究開発が実験室レベルの効率向上に寄与したこと、および研究開発と価格低下が同時に起きたということだけであり、大学や国立研究所の研究開発と価格低下の因果関係を示しているとはいえず、したがってここでの筆者の見解は変わらない)

### 【参考文献】

- 1) D.Husmann, G. F. N. &. (2012). 1.05 - Historical and Future Cost Dynamics of Photovoltaic Technology. In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences (p. Volume 1, Pages 47-72). Elsevier Ltd.
- 2) Fink, T. M. A., Reeves, M., Palma, R., & Farr, R. S. (2017). Serendipity and strategy in rapid innovation. *Nature Communications*, 8(1), 1-9.  
<https://doi.org/10.1038/s41467-017-02042-w>
- 3) Hidalgo, C. A. (2018). Economic complexity: From useless to keystone. *Nature Physics*, 14(1), 9-10.  
<https://doi.org/10.1038/nphys4337>
- 4) IEA. (2017). *Digitalization & Energy*. Retrieved from <http://www.iea.org/publications/free-publications/publication/DigitalizationandEnergy3.pdf>
- 5) Marukawa, T. (2012). *The Compressed Development of China's Photovoltaic Industry and the Rise of Suntech Power*. Retrieved from <https://www.rieti.go.jp/jp/publications/nts/12e051.html>
- 6) Mills, M. P. (2015). Shale 2.0: Technology and the Coming Big-Data Revolution in America's Shale Oil Fields. *Trends Magazine*, (147), 21-26.  
 Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=plh&AN=109071233&site=eds-live>
- 7) NEDO. (2007). なぜ、日本が太陽光発電で世界一になったのか、新エネルギー・産業技術総合開発機構

- 8) Nemet, G. (2018). *How solar got cheap ... and why it took so long*. TPES seminar, Tokyo University.
- 9) Nemet, G. F. (2006). Beyond the learning curve: factors influencing cost reductions in photovoltaics. *Energy Policy*, 34, 3218-3232.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.06.020>
- 10) Nemet, G. F. (2012). Inter-technology knowledge spillovers for energy technologies. *Energy Economics*, 34(5), 1259-1270.  
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.06.002>
- 11) Nemet, G. F. (2014). Solar Photovoltaics: Multiple Drivers of Technological Improvement. In A. Grubler & C. Wilson (Eds.), *Energy Technology Innovation: learning from historical successes and failures* (pp. 206-217). Cambridge University Press.
- 12) Nykvist, B., & Nilsson, M. (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature Climate Change*, 5 (4), 329-332.
- 13) Surek, T. (2003). PROGRESS IN U.S. PHOTOVOLTAICS: LOOKING BACK 30 YEARS AND LOOKING AHEAD 20. *3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, (19May 11-18).
- 14) 青島矢一 (2015)、社会ネットワークを介した希少資源の効率的多重活用：中国PV産業急発展のメカニズム(特集 中国モデルの破壊と創造)、一橋ビジネスレビュー 63(3)、34-47
- 15) 川上桃子(2012)、圧縮された産業発展、名古屋大学出版
- 16) 桑野幸徳(2011)、太陽電池はどのように発明され、成長したのか—太陽電池開発の歴史、オーム社
- 17) ジェイムズ・グリック(2013)、インフォメーション—情報技術の人類史、新潮社
- 18) 杉山大志(2018)、地球温暖化問題の探究：リスクを見極め、イノベーションで解決する、株式会社デジタルパブリッシングサービス
- 19) 総務省 情報通信白書(2015)、ICT化の進展がもたらす経済構造の変化、総務省  
Retrieved from <http://www.soumu.go.jp/johotsusintok/ei/whitepaper/ja/h27/pdf/n5400000.pdf>
- 20) 太陽光発電技術研究組合(1998)、太陽光発電—その発展と展望、アートスタジオ 76
- 21) 中田行彦(2016)、シャープ「企業敗戦」の深層、イースト・プレス
- 22) 野村浩二・天野友道(2014)、太陽光発電の高い買取価格は競争を阻害するか、DBJ Research Center on Global Warming Discussion Paper Series No (Vol. 49).  
Retrieved from [http://www.dbj.jp/ricf/pdf/research/DBJ\\_RCGW\\_DP49.pdf](http://www.dbj.jp/ricf/pdf/research/DBJ_RCGW_DP49.pdf)
- 23) マリアナ・マツカート(2015)、企業家としての国家—イノベーション力で官は民に劣るといふ神話—、薬事日報社
- 24) 丸川知雄(2013)、チャイニーズ・ドリーム：大衆資本主義が世界を変える、筑摩書房
- 25) 丸川知雄(2014)、世界の太陽光発電産業のなかの中国、経済論叢(京都大学)第188巻第2号
- 26) 和田木哲哉他(2008)、徹底解析 半導体製造装置産業、工業調査会

## ◎新刊のご案内

# 地球温暖化問題の探究

—— リスクを見極め、  
イノベーションで解決する

杉山 大志 著



地球温暖化の悪影響はしばしば誇張されている。そして極端なCO<sub>2</sub>削減策は、実現可能性に乏しいのみならず、弊害が大きい。ではどうするか。まずは世界の現場を巡り、歴史をひも解いて地球温暖化問題の本質に迫る。ついでイノベーションとは何かを徹底して考え抜いて、現実的な処方箋を提示する。豊富な資料と示唆に富む考察。

発売：株式会社 デジタルパブリッシングサービス

価格：電子書籍版 108円(税込)、

書籍版 2,510円(税込)

※書籍版は現状Amazonのみの販売

※ご購入の際は下記のウェブサイトへアクセスください。

○ Amazon : <http://ur0.biz/OjFd>

○ 楽天 kobo : <http://ur0.biz/Okj9>