

太陽光発電の将来コストの見通しについて

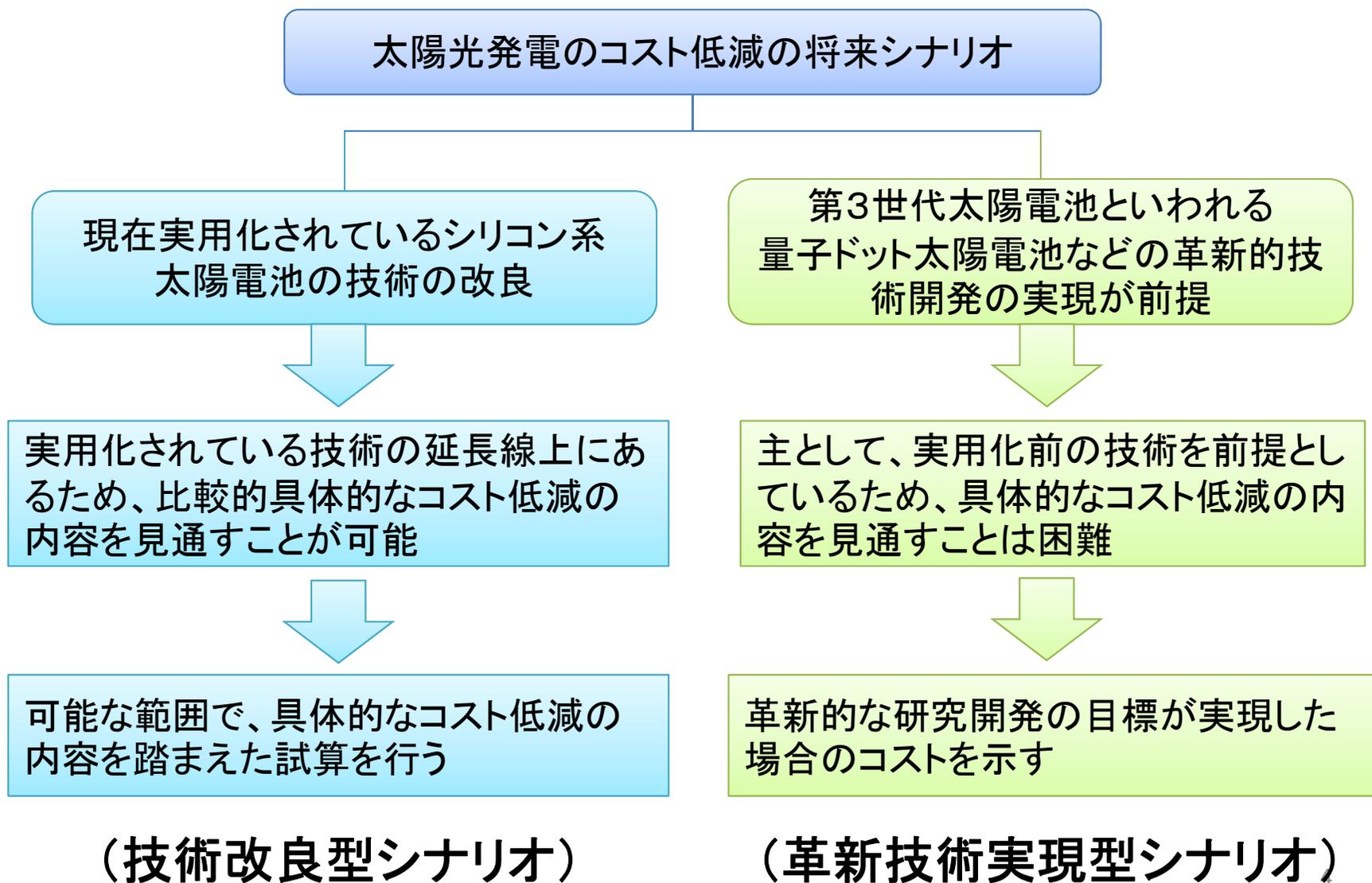
目次

1. 太陽光発電の将来コスト低減のシナリオについて
2. 技術改良型シナリオのコスト低減の見通し
太陽光発電のコスト低減の3つの可能性
 - (1) 発電システムの単価の低下
 - (2) 発電モジュールの耐久性の向上
 - (3) 維持管理費の低下
3. 革新技术実現型シナリオのコスト低減の見通し

参考：太陽光発電の将来価格推計事例(1)～(3)

1. 太陽光発電の将来コスト低減の シナリオについて

太陽光発電の将来コスト低減のシナリオについて



2. 技術改良型シナリオのコスト低減の 見通し

太陽光発電のコスト低減の3つの可能性

- 太陽光発電の将来の発電コスト低減を見込む場合、以下の3つの可能性が考えられる。
 - (1) 発電システムの単価 (kW当たりコスト) が下がる (例: 量産効果、変換効率の向上など)
 - (2) 発電モジュールの耐久性が向上し、稼働年数が延びる
 - (3) 維持管理費が下がる (メガソーラーの場合)
- * 設備利用率 (総発電量 / (定格出力 × 365日 × 24時間)) は、ほぼ、外的要因 (天気、温度など) によって決定されるものとし、日本の平均的な数字として12%で固定とする。



上記(1)～(3)の可能性について、考え方を整理する

(1) 発電システムの単価の低下

「学習効果」を使った試算方法とは

- 太陽光発電システムの価格は低下傾向にあり、2020年、2030年の太陽光のモデルプランの発電単価を試算する場合に、太陽光発電システムの将来の価格を見通すことは必要。
- 太陽光発電システムの将来価格の推計の方法として、複数の国際機関等で、「学習効果」を使った方法が採用されている。

学習効果とは

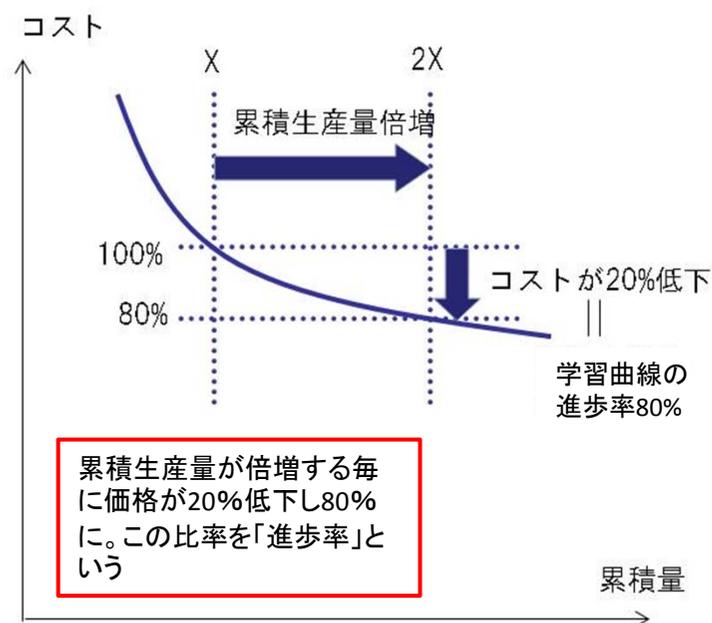
多くの産業製品の価格は、「学習曲線」に従って、累積生産量が倍増する毎に、ある比率（「進歩率」）に従って低減することが指摘されている。

その進歩率を使いつつ、普及速度を見通すことにより、将来の価格を推計することができる。

太陽光発電システムにおいても、経験の蓄積、労働の習熟などの総合的な学習効果により、将来価格が低下することを見込んだ試算がなされている。

＜各種報告における太陽光発電設備コストの進歩率＞

IPCC第4次評価報告書(2007)	77%
EPIA（欧州太陽電池工業会）“EPIA ROADMAP”（2004）	80%
IEA “Energy Technology Perspectives 2008”(2008)	83%
資源エネルギー庁の「再生可能エネルギーの全量買取制度による費用試算について」（平成22年3月3日：再生可能エネルギーの全量買取に関するPT）	80%



太陽光発電システムの将来価格については、学習効果を使う方法で推計してはどうか。

学習効果に関する2つの論点

太陽光発電システムの学習効果による価格低下を推計するにあたっては、以下の2つの論点を検討する必要があるのではないか。

論点1

学習効果の前提となる累積生産量について、どのような前提を置くか？

- (1) ①国内の累積生産量 or ②世界の累積生産量
- (2) 今後の生産量の推移

論点2

太陽光発電システムのコストの全てに学習効果を見込むか？

太陽光発電システムのコストの内訳

- ①モジュール、②インバータ、③それ以外の付属機器、④設置工事費

2010年4～12月住宅用太陽光発電システム価格－全システム(平均)

全システム	太陽電池 モジュール (円/kW)	付属機器			設置工事にか かる費用 (円/kW)	システム価格 (合計) (円/kW)
		(小計) (円/kW)	(うちインバー タ・保護装置) (円/kW)	(うちそれ以外 の付属機器) (円/kW)		
平均(円/kW)	370,576	109,169	58,782	43,546	86,159	565,885
データ数(件)	91,003	91,003	15,849	15,849	91,003	91,003

出典:資源エネルギー庁委託調査「平成22年度太陽光発電システム等の普及動向に関する調査(2011年2月)」

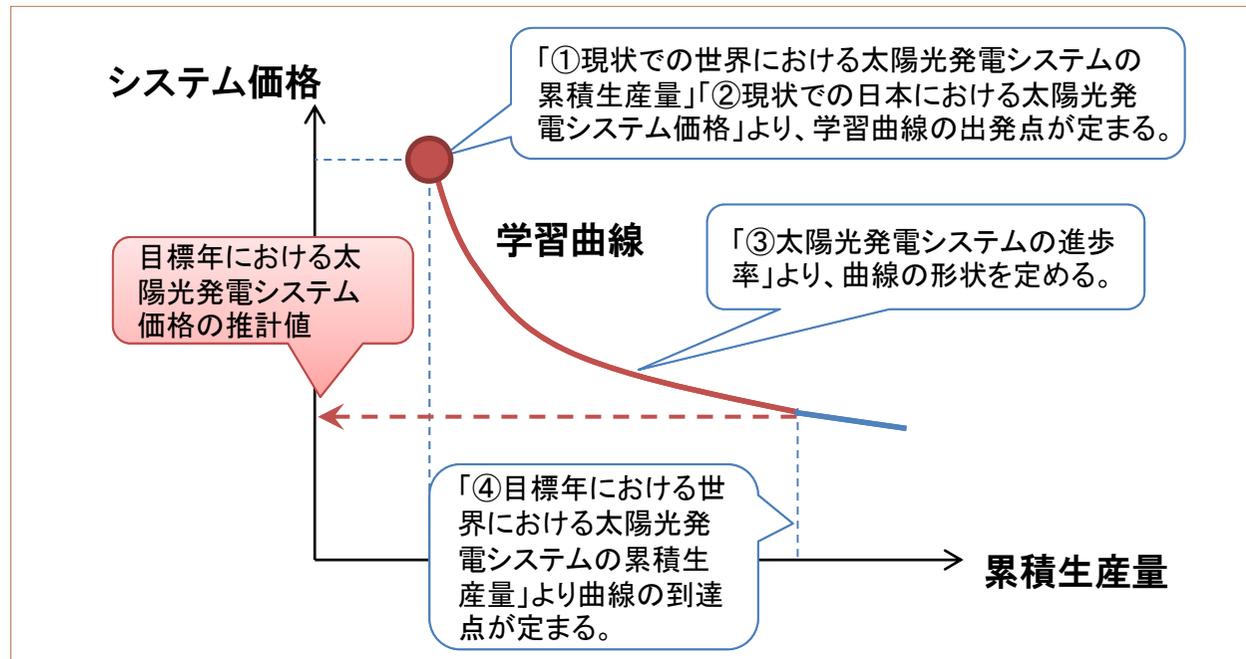
論点1-(1)

学習効果の前提となる累積生産量について

学習効果の前提となる累積生産量として、いずれの数字を使うのか
①国内の累積生産量 or ②世界の累積生産量

⇒太陽電池の学習効果による価格試算については、累積生産量が増大するにつれて、量産効果などが働き、コストが低減するという仮説に基づくことから、太陽光発電システムが国際的な商品であることに鑑みれば、②が適当ではないか。

太陽光発電システムの価格低減見通し
(世界的な累積生産量に応じて価格が低減するとして推計)



※欧州委員会の2020年に再生可能エネルギー20%目標に関する分析を行った委託調査(Fraunhofer ISI (2006))においても、太陽光発電の価格は、世界全体の導入量に対する学習効果が働くとしてモデル分析を行っている。

学習効果の前提となる累積生産量について

今後の世界の累計生産量の推移(普及の見込み)をどう見込むか？

【既往の文献での太陽光発電システムの世界における普及見通し】

シナリオ	概要	2010年 (実績)	2010年 (推計)	2020年 (推計)	2030年 (推計)
Technology Roadmap Solar photovoltaic energy (IEA,2010)	ETP2008 のBLUE Map Scenarioの2倍程度という急 速普及を見込んだシナリオ	3,950万kW	2,700万kW	2億1,000万kW	8億7,200万kW
World Energy Outlook(IEA,2010) 現行政策シナリオ	2010年半ばにおける政策が 継続するとしたシナリオ		—	1億100万kW	2億600万kW
World Energy Outlook(IEA,2010) 新政策シナリオ	各国政府が導入を発表して いる各政策やCO2削減目標 が実現したとするシナリオ		—	1億1,000万kW	2億9,400万kW
World Energy Outlook(IEA,2010) 450ppmシナリオ	温室効果ガス濃度を450ppm 以内にするシナリオ		—	1億3,800万kW	4億8,500万kW
Solar Generation 6(EPIA,2011) 参照シナリオ	IEA WEO2009の分析を2030 年まで外挿したシナリオ		3,026万kW	7,685万kW	1億5,585万kW
Solar Generation 6(EPIA,2011) 加速シナリオ	標準的な政策のもと、近年の 導入量拡大傾向が継続され た場合のシナリオ		3,499万kW	3億4,523万kW	10億8,115万kW
Solar Generation 6(EPIA,2011) パラダイムシフトシナリオ	強力な政策バックアップのも とに技術的・商業的に達成可 能な導入量を示したシナリオ		3,662万kW	7億3,717万kW	18億4,494万kW

出典:

IEA, World Energy Outlook 2010

IEA, Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy, 2010

EPIA, Solar Generation 6, 2011

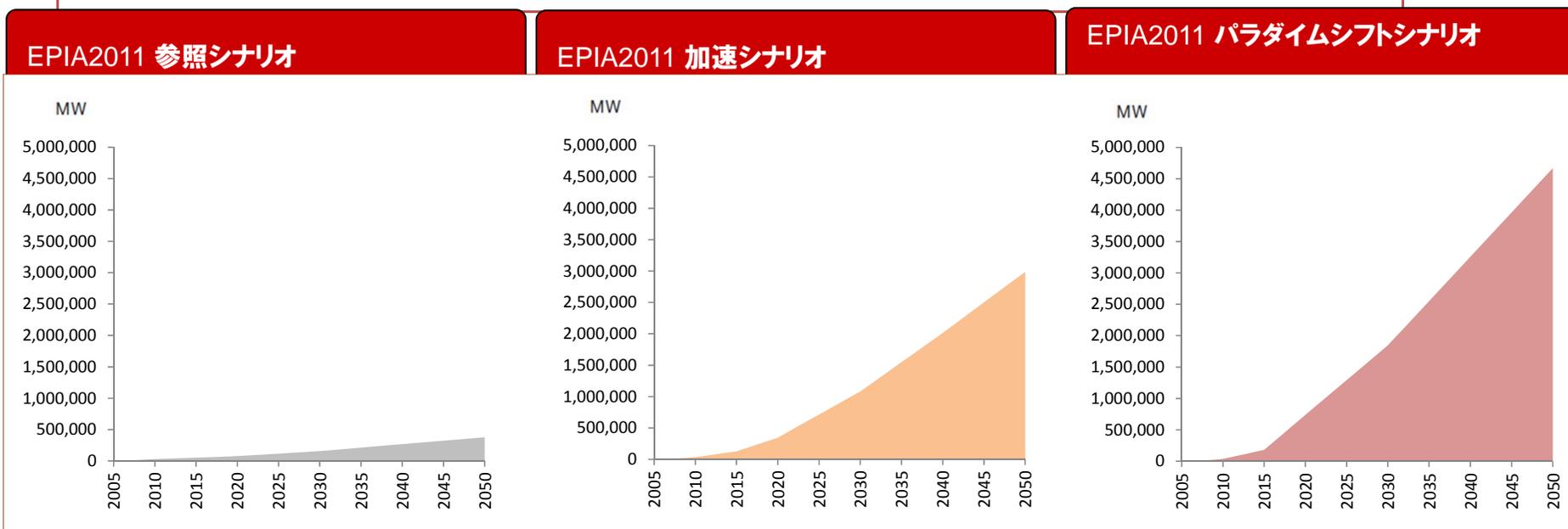
論点1-(2)

学習効果の前提となる累積生産量について

将来における世界の太陽光発電の普及見込みとして、海外の機関の既存の見通しのうち、EPIA(欧州太陽電池工業会)の3つのシナリオの幅の中にIEAの全てのシナリオが含まれること、IEAのデータは2010年の際のデータが実績と離れていることから、EPIAの、参照シナリオ(EPIA2011)、普及加速シナリオ(EPIA2011)、パラダイムシフトシナリオ(EPIA2011)の3つのシナリオを想定してはどうか。

太陽光発電の普及シナリオ(累積導入量[万kW])

シナリオ名	2010(実績)	2020	2030
EPIA, 2011 参照シナリオ		7,690万kW	1億5,600万kW
EPIA, 2011 加速シナリオ	3,950万kW	3億4,500万kW	10億8,100万kW
EPIA, 2011 パラダイムシフトシナリオ		7億3,700万kW	18億4,500万kW



論点2

学習効果の対象コストと進歩率

太陽光発電システムのコストのうち、どのコストについて、累積生産量の増大にあわせた学習効果を見込むかという点について検討する必要がある。

太陽光発電システムのコストは、大別して①モジュール、②インバータ、③それ以外の付属機器(ケーブル、架台等)、④設置工事費に分類される。

部材毎の進歩率について、既往の文献では、80%程度(累積生産量が倍増する毎に20%程度の価格低減)が想定されている。但し、設置工事費については、95.8%程度という試算もある。

【既往の文献での進歩率の設定例】

	モジュール	インバータ	それ以外の付属機器(ケーブル、架台等)	設置工事費
Technology Roadmap Solar photovoltaic energy (IEA,2010)	78~85%(実績)	—	—	—
	82%			
Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector (EPIA,2011)	結晶シリコン80%→85% 薄膜80%	大型90% 小型80%	モジュールの効率改善を考慮	同左
Solar Generation (EPIA,2011)	2020年以降82%、2030年以降84%、2040年以降2050年まで86%			
朝野(電力中央研究所,2010)	84~87%	75~80%	80~84%	88~89%
野中他(電力中央研究所,2011)	—	87.5%	91.2%	95.8%

論点2

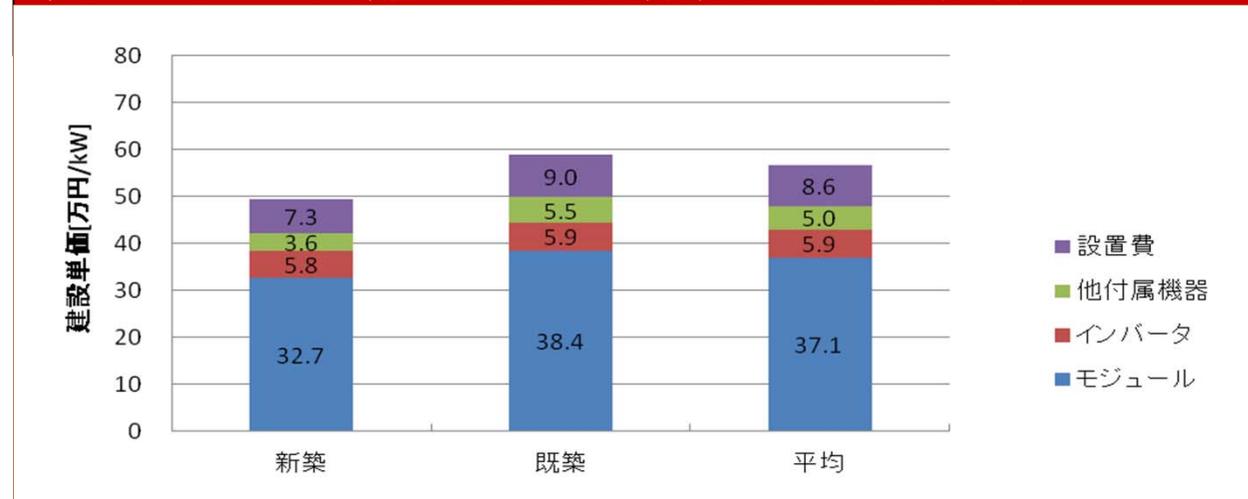
学習効果の対象コストと進歩率

- 今回の試算では、部材別に進歩率を設定してはどうか。
- 部品部分(①発電モジュール、②インバータ、③それ以外の付属機器)は、将来の世界の累積生産量の増加に伴い、進歩率80%でコスト低下が続くと想定してはどうか。
- 設置工事費については、世界の累積生産量との関連性は小さいことから、一定と想定してはどうか。

太陽光発電システムのコスト低下の想定

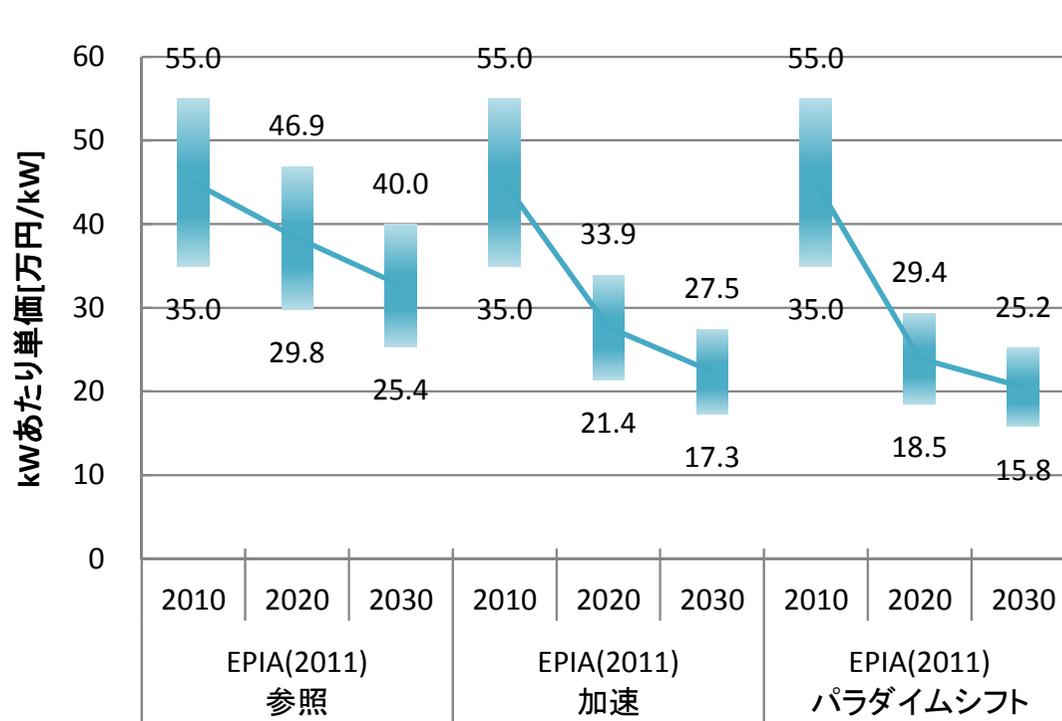
	コスト低下の主な要因	今回試算における想定(案)
発電モジュール	技術革新、生産の最適化、規模の経済、効率向上、規格や仕様の開発	
インバータ	生産の最適化、規模の経済、規格や仕様の開発	世界の累積生産量の増加に伴い、進歩率80%でコスト低下
それ以外の付属機器(ケーブル、架台等)	生産の最適化、規模の経済、規格や仕様の開発	
設置工事費	規格や仕様の開発	コスト一定

参考: 2010年4~12月に設置された住宅用太陽光発電システム価格(日本)



論点1, 2を踏まえたシステムコストの試算 (メガソーラー)

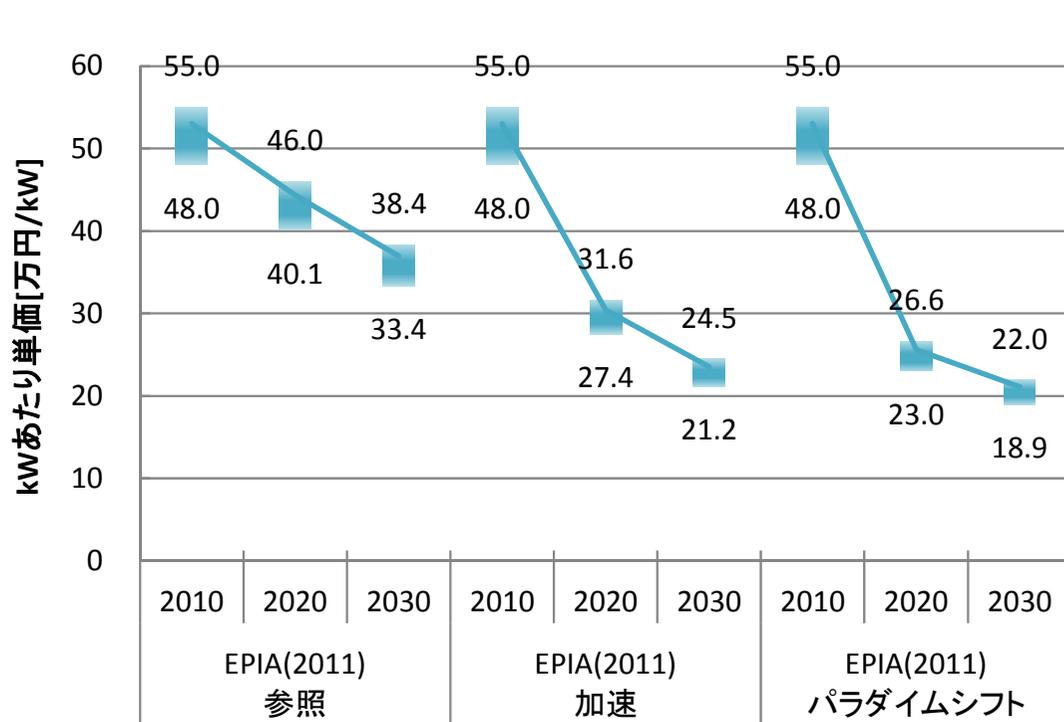
現状のメガソーラーの価格を35～55万円と幅を持たせた場合の、EPIAの3通りのシナリオに基づくkWあたり単価の幅とその低下見通しは以下のとおり。



資源エネルギー庁委託調査「平成22年度太陽光発電システム等の普及動向に関する調査(2011年2月)」を元に設定

論点1, 2を踏まえたシステムコストの試算 (住宅用太陽光発電システム)

現状の住宅用太陽光発電システムの価格を48～55万円と幅を持たせた場合、EPIAの3通りのシナリオに基づくkWあたり単価の幅とその低下見通しは以下のとおり。



kWあたり単価内訳想定

	低位	高位
モジュール	32万円	36万円
インバータ	6万円	6万円
他付属機器	4万円	5万円
設置工事費	7万円	8万円
合計	48万円	55万円

資源エネルギー庁委託調査「平成22年度太陽光発電システム等の普及動向に関する調査(2011年2月)」を元に設定
四捨五入の関係で内訳の和は合計に一致しない場合がある

(2) 発電モジュールの耐久性の向上

発電モジュールの耐久性向上に伴う稼働年数延長について

今後、技術開発によって、発電モジュールの耐久性が向上する可能性があり、その場合は、稼働年数が延びることになる。

Solar Generation 6 (EPIA, 2011)では、太陽光発電モジュールについては、現状で25年(大部分のメーカーの性能保証期間)と分析し、2020年の開発目標を35~40年と設定している。

Solar Europe Industry Initiative: PV technology roadmap for commercial technologies

		2007	2010	2015	2020
Turnkey price large systems (€/Wp)*		5	2.5-3.5	2	1.5
PV electricity generation cost in Southern EU (€/kWh)**		0.30-0.60	0.14-0.20	0.10-0.17	0.07-0.12
Typical PV module efficiency range (%)	Crystalline silicon	13-18%	15-19%	16-21%	18-23%
	Thin Films	5-11%	6-12%	8-14%	10-16%
	Concentrators	20%	20-25%	25-30%	30-35%
Inverter lifetime (years)		10	15	20	>25
Module lifetime (years)		20-25	25-30	30-35	35-40
Energy payback time (years)		2-3	1-2	1	0.5
Cost of PV + small-scale storage (€/kWh) in Southern EU (grid-connected)***		-	0.35	0.22	<0.15

note: Numbers and ranges are indicative because of the spread in technologies, system types and policy frameworks.

* The price of the system does not only depend on the technology improvement but also on the maturity of the market (which implies industry infrastructure as well as administrative costs).

** LCOE varies with financing cost and location. Southern EU locations considered here range from 1,500 (e.g. Toulouse) to 2,000 kWh/m² per year (e.g. Siracusa).

*** Estimated figures based on EUROBAT roadmaps.

source: Solar Europe Industry Initiative Implementation Plan 2010-2012, Strategic Research Agenda.

出典: Solar Generation 6 (EPIA, 2011)



2020年のモデルプラントについては、稼働年数を35年にしてはどうか。2030年については、見通しが明確ではないので、35年のままではどうか。

(3) 維持管理費の低下

メガソーラーにおける維持管理費の低下について

- IEAのEnergy Technology Perspective 2010, Blue Map Scenarioでは、2050年の維持管理費の絶対額は低減が見込まれているものの、初期投資に対する維持管理費の比率（下記表の赤字。事務局計算）は、2010年も2050年もほぼ同じである。

Table3.4

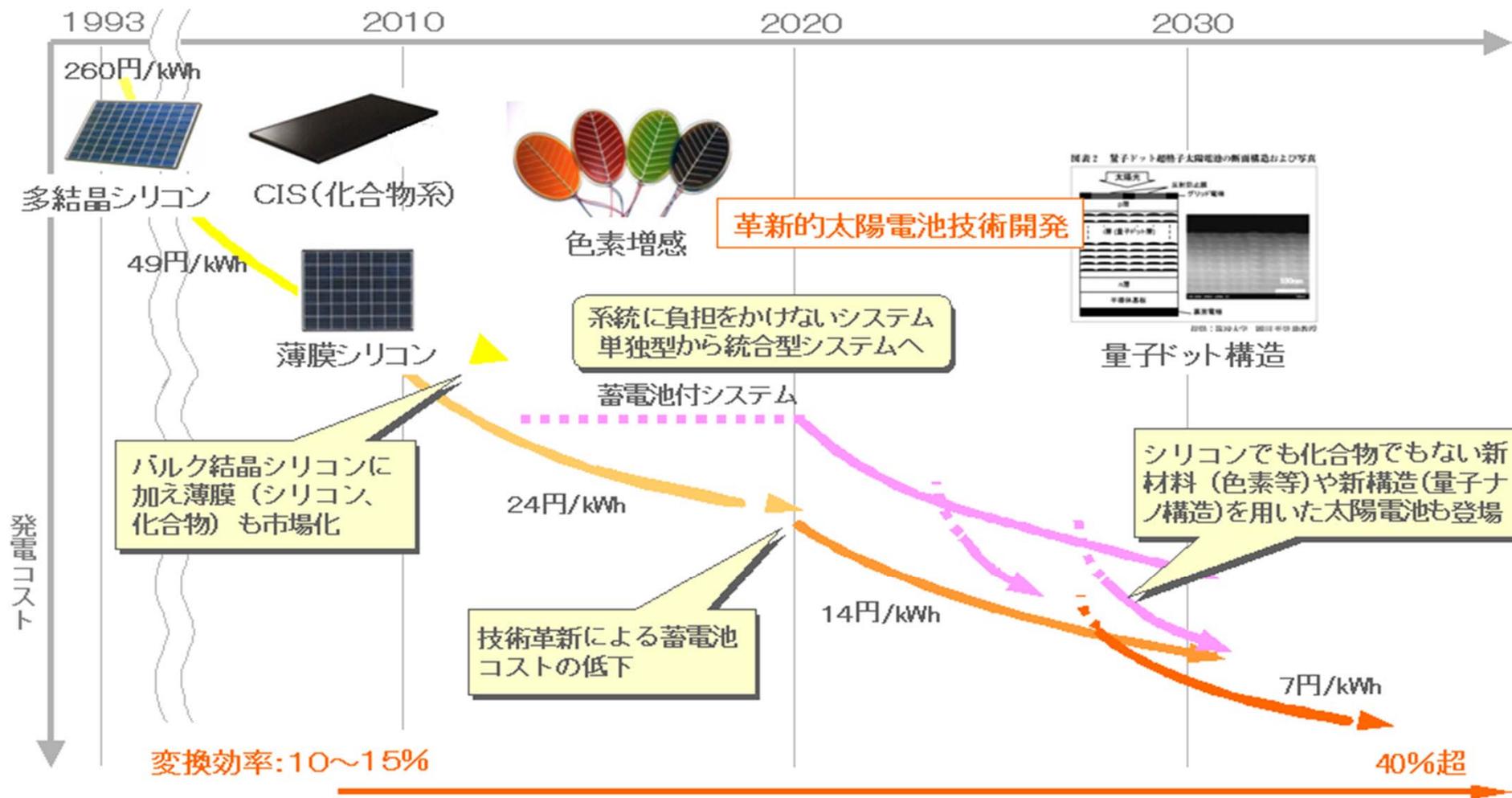
	初期投資 (USD/kW)		維持管理費 (USD/kW/y)	
	2010	2050	2010	2050
太陽光発電	3500-5600	1000-1600	50 (0.8~1.4%)	13 (0.8~1.3%)

- IEAの設定を参考にして、2020年や2030年のモデルプラントの維持管理費についても、2010年のモデルプラントの初期投資に対する維持管理費の比率と同じと設定することでよいか？

3. 革新技術実現型シナリオの コスト低減の見通し

革新的な技術によるコスト低減について

革新的な技術による太陽光発電の今後のコスト低減見込みについては、NEDOが「PV2030+」を策定。我が国における、今後の研究開発事業の実施に当たっての一つの指針となっている。

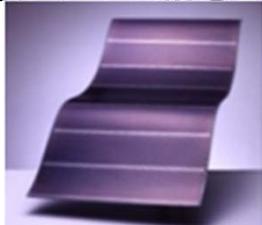


技術革新によるコスト低減について

主な研究目的は、「エネルギー変換効率の追求」と「耐久性の向上」。得られる電気が多く、製品が長持ちすると、太陽光発電のコストは引き下げられる。なお、具体的な研究開発テーマは以下のとおり。

○中期的目標(2020年:発電コスト14円/kWh)を達成するための技術開発

薄膜シリコン太陽電池



大面積・高速成膜技術等の開発による低コスト製造プロセス技術の開発。

CIS・化合物系太陽電池



フレキシブルCIGS太陽電池モジュールの開発。ロールTOロール成膜装置開発等による、コスト低減。

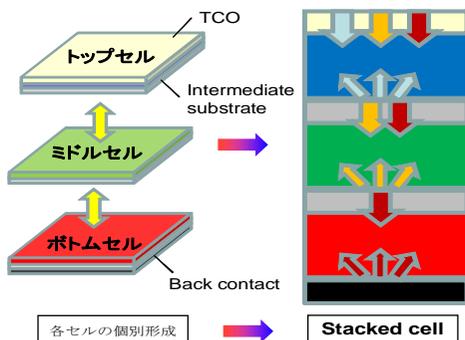
有機系太陽電池



低コストでの製造が期待できる有機系太陽電池(色素増感型など)の長寿命化、高効率化の技術開発。

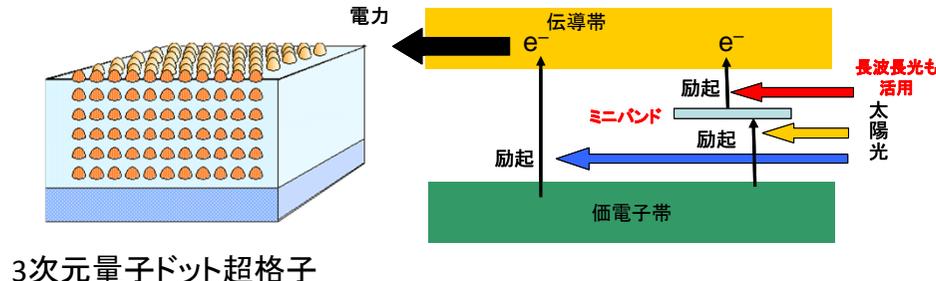
○長期的目標(2030年:発電コスト7円/kWh)を達成する為の技術開発

高度秩序構造を有する
薄膜多接合太陽電池の研究開発等

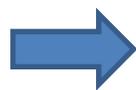


(例) 複数のセルを積層し、各層で異なる波長の光を吸収させることで、変換効率の向上を図る。

ポストシリコン
超高効率太陽電池の研究開発



(例) 微結晶(量子ドット)を半導体内に埋め込むことにより新たな帯域(ミニバンド)を形成し、幅広い波長域の太陽光を電力に変換することを可能とする。



上記の中期的目標と長期的目標の発電コストを、革新的な技術開発が実現した場合の発電コストとして、示してはどうか？

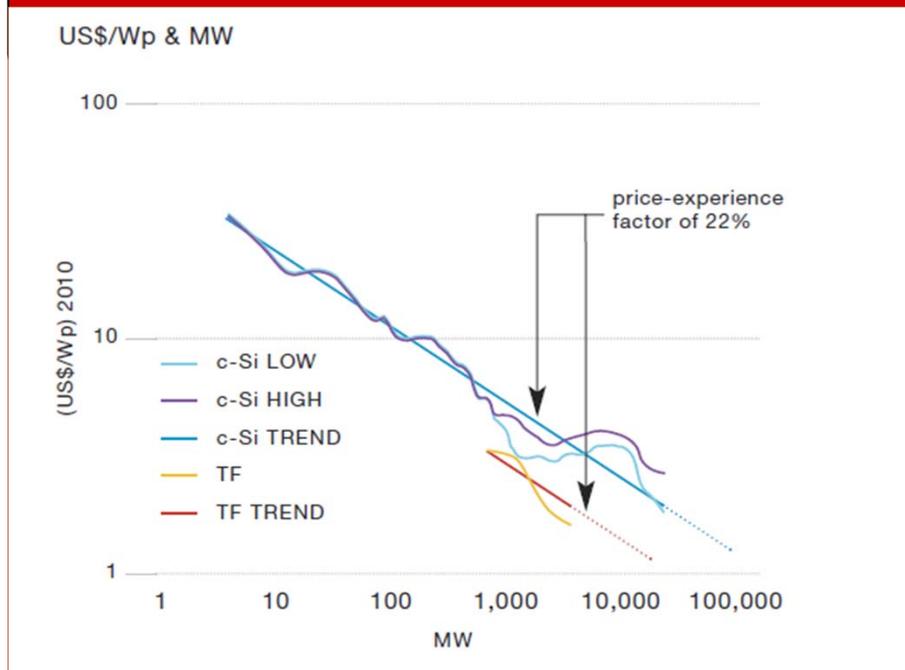
参 考

太陽光発電の将来価格推計事例(1)

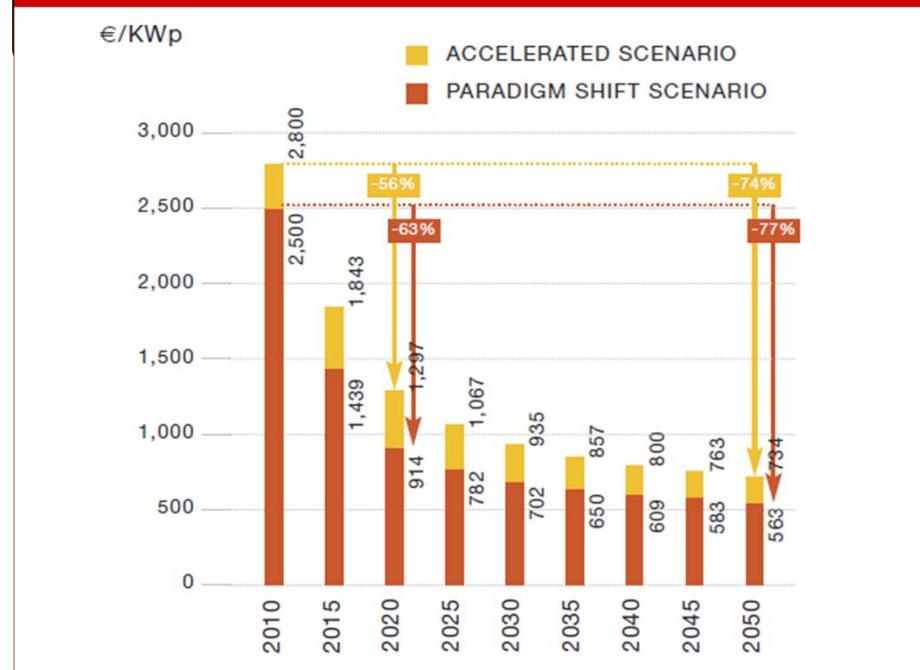
Solar Generation 6 (EPIA, 2011)では、2020年に2010年比56～63%、2050年に2010年比74～77%のコスト低下を見込む。

- EPIA(欧州太陽光発電産業協会)による、将来の太陽光発電の導入量・コストの見通しを示したレポート。
- 太陽光発電モジュールやインバータの価格は、世界累積導入量に対する進歩率78%の学習曲線に従い低下し、それ以外のコスト要素(付属機器、設置費)はより緩やかな価格低下を想定。
- 世界の将来の導入量見通しとして、2030年に18億kW規模の「パラダイムシフトシナリオ」と、11億kW規模の「加速シナリオ」を適用。

モジュールの学習曲線の想定



大規模太陽光発電システムのコスト見通し

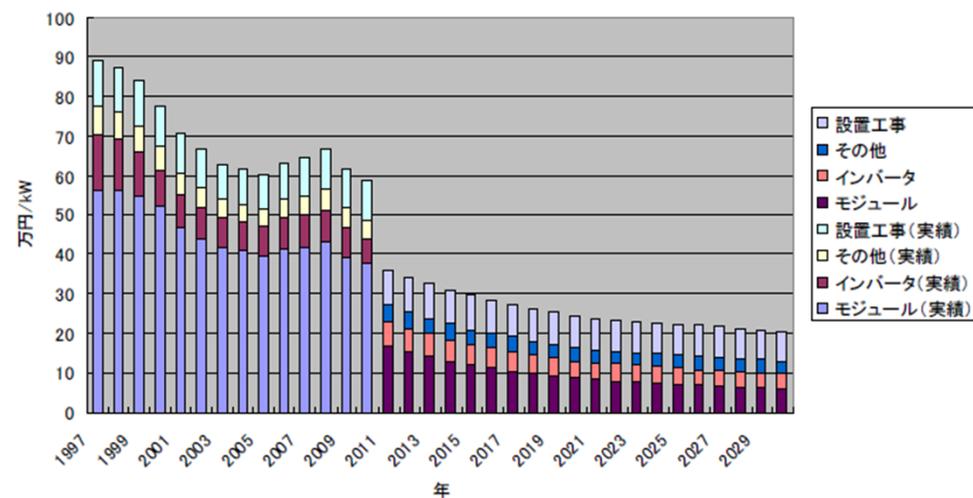


太陽光発電の将来価格推計事例(2)

「系統安定化対策コストを考慮した日本における太陽光発電コスト見通し(野中譲他(電力中央研究所), 2011)」では、2020年に2011年比3~4割、2030年に2011年比4~5割のコスト低下を見込む。

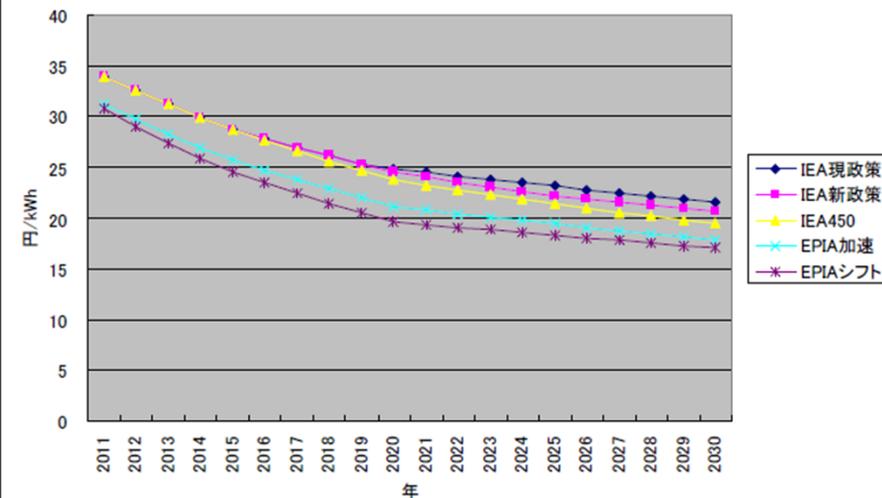
- 電力中央研究所のディスカッションペーパーとして出されたもの。
- 太陽光発電モジュールの価格は、世界累積導入量に対する進歩率80%の学習曲線に従い低下し、インバータ、その他機器、工事費は国内累積導入量に対してそれぞれ進歩率87.5%、91.2%、95.8%の進歩率での価格低下を想定。
- 世界の将来の導入量見通しとして、EPIAの「パラダイムシフトシナリオ」や「加速シナリオ」などを適用。

太陽光発電システム設置コストのシナリオ



世界の導入量見通しとしてEPIA加速ケース、国内の導入量見通しとして長期エネルギー需給見通しの最大導入ケースを用いた場合。

太陽光発電コスト



国内の導入量見通しとして長期エネルギー需給見通しの最大導入ケースを用いた場合。発電コストは、システムコストから、耐用年数20年、金利4%、保守経費率システム設置コストの1%/年、設備利用率11%として算出したもの。

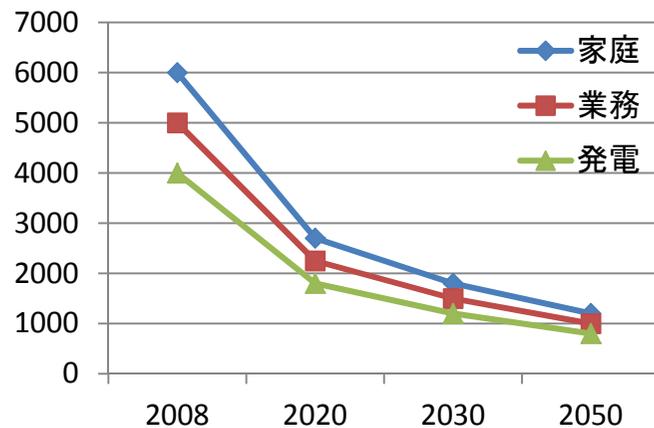
太陽光発電の将来価格推計事例(3)

Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy (IEA, 2010)では、2020年に2008年比55%、2030年に2008年比70%、2050年に2008年比80%のコスト低下を目標としている。

- IEAが、太陽光発電の技術の現状と研究開発のトレンド、将来のコスト目標や技術開発目標などをとりまとめたロードマップ。
- 大幅なコスト低減のため、以下のような技術的課題の解決の必要性が示されている。
 - 結晶シリコン系: 発電効率の改善、必要シリコン量の削減
 - 薄膜型: 発電効率の改善、製造プロセスの改善
 - 集光型: 集光・追尾システムの改善
 - 新技術、革新技术の開発

太陽光発電のコスト目標

[2008US\$/kW]



太陽光発電技術の見通し

