

# 太陽電池のビジネス最前線

フロローグ\_\_カネカの太陽電池の始まり

1. 太陽電池の需要(導入)と供給(生産)
2. 太陽電池の種類、競争力
3. 主な企業の動き
4. 変貌するビジネス

エピローグ\_\_半導体産業について

# フロッグ:カネカの太陽電池の始まり

## ※きっかけはNDプロジェクト※

1970年代末に進められた「NDプロジェクト(エレクトロニクス業界向け事業拡大を目的とした新規事業(ケーブル事業(通信,局内)、エネメル線事業を凌ぐ大型事業)の開発が目標)」の1テーマとして、アモルファス太陽電池の研究に着手。大阪大学(基礎工学部 浜川研究室)へ研究員を派遣。「アモルファス太陽電池の高効率化に関する新技術の発明」を受けて事業化へ。

## ※History※

- 1981: a-SiCのドーピング技術を開発、基本となる特許を出願
- 1983: 民生用フレキシブル太陽電池(フィルムソーラー)の試作に成功
- 1984: a-Si太陽電池を滋賀工場で企業化
- 1988: a-Si太陽電池の研究と企業化で新技術事業団より井上春成賞受賞
- 1987: NEDO技術開発プロジェクトに参画。研究開発の重点を電力用太陽電池に移す。
- 1998: a-Si太陽電池を製造販売するカネカソーラーテック(株)を豊岡市に設立
- 1999: 電力用a-Si太陽電池の量産開始(生産能力20MW/年)
- 2000: 太陽光発電システム「カネカエーシック」の国内販売開始
- 2001: a-Si/薄膜多結晶Siタンデム太陽電池(ハイブリッド太陽電池)を商品化  
(以後、生産能力を逐次増強)
- 2009: 太陽電池・薄膜研究所を設立

# [1] 太陽電池の需要(導入)と供給(生産)

- ・2004年から需要が伸び始め、2009年～2011年の間、欧州中心に急成長
- ・2011年をピークにして欧州市場が縮小(中でもイタリア・ドイツが大きく後退)
- ・代わって中国・日本が躍進、米国も好調で2013年の世界市場は再び拡大

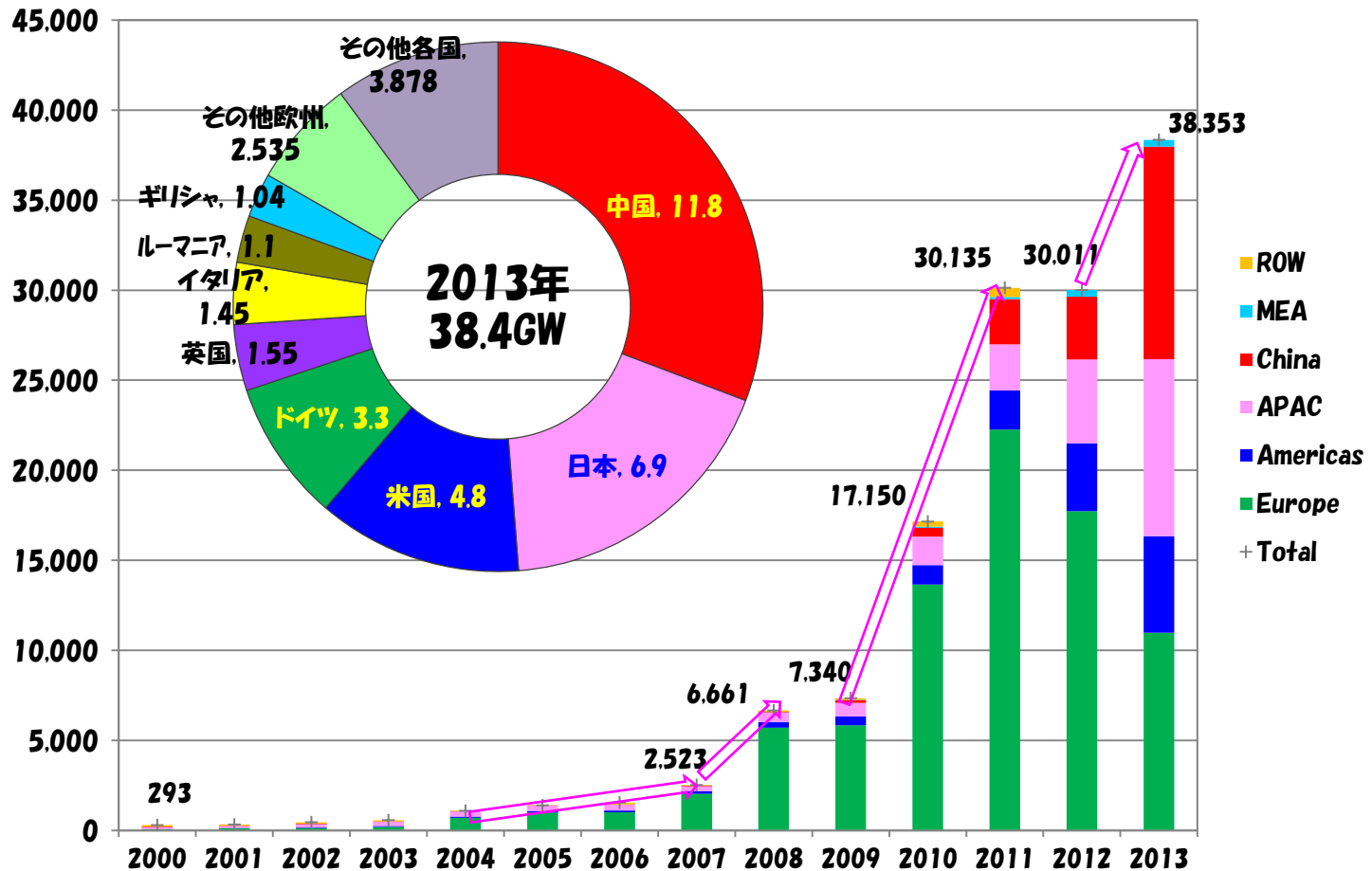
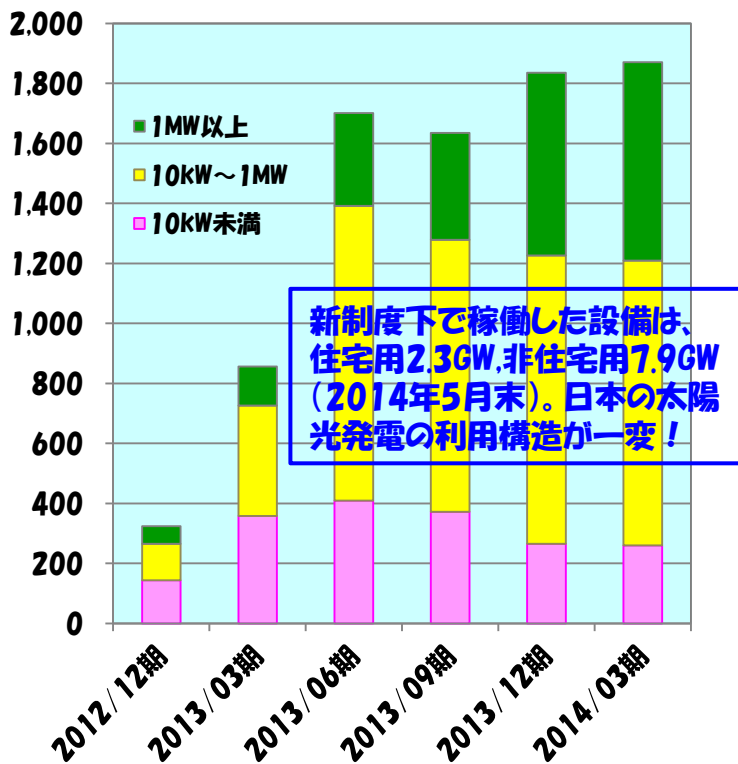


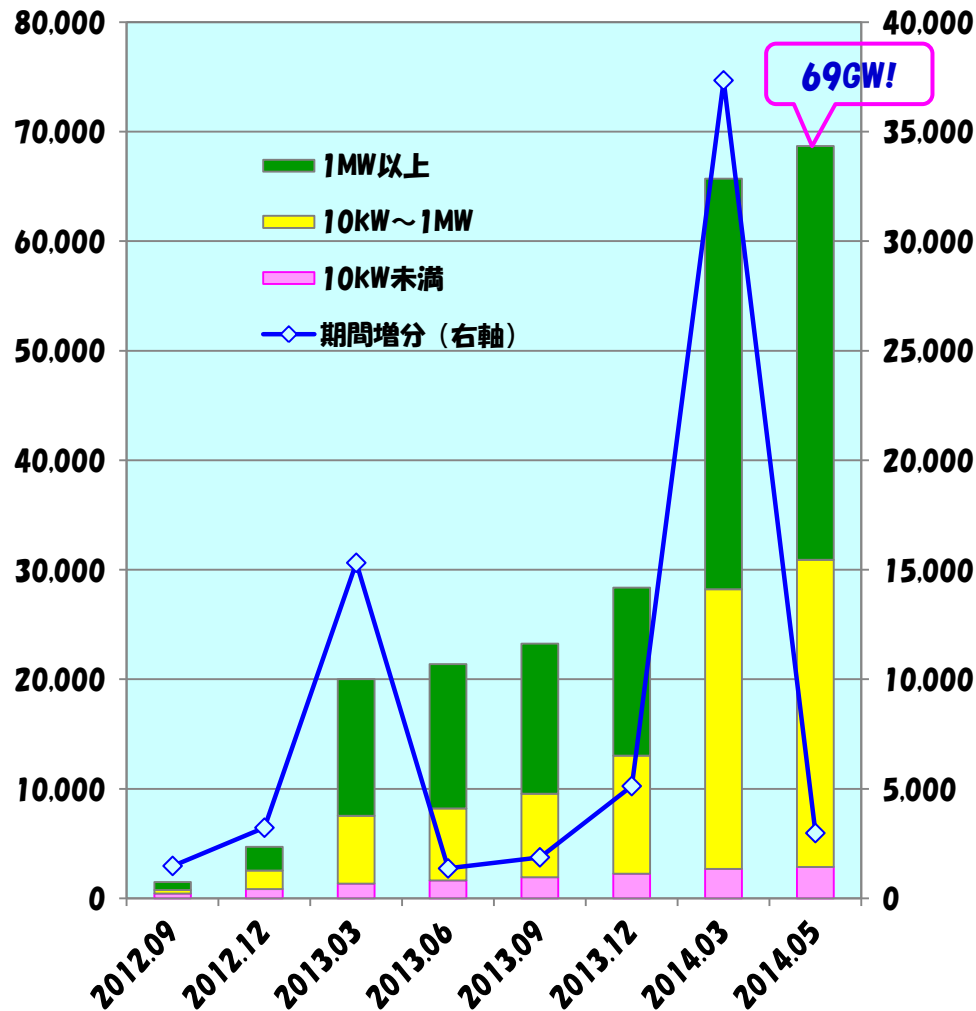
図 太陽光発電システム需要(導入量)の地域別推移 [MW / 暦年]

# 「FIT制度」で日本市場がたいへんなことに！

- ・2013年度は四半期毎に2GW弱の太陽光発電が新規に稼働。年換算では7GW越えのペース！  
10kW～1MW級が大量に稼働、1MW以上も勢いを増している。
- ・認定された太陽光発電の容量は**69GW**(2014年5月末の累計)  
メガソーラーの認定が急増！



四半期毎の新規稼働設備の容量 [MW/期]



認定設備の累積容量 [MW]

# 認定設備容量と運転開始容量にみる異常事態

- ☆ 10kW未満では2.3GWが、10kW以上では7.9GWが運転開始。  
大規模が小規模の3.4倍動いている…日本の太陽光発電の利用構造が一変！
- ☆ ただし、メガソーラー(1MW以上)の運転開始量は認定量の7%以下
- ☆ 系統容量の不足が予見され、北海道電力と東北電力が大型蓄電システムの緊急実証試験に着手。九州電力では「新規契約を一時停止(回答保留)」!!
- …FITの優遇期間が過ぎる来年度以降について制度見直しの議論が出るか？

表 太陽光発電設備の認定状況・運転開始状況(2014年5月末時点)

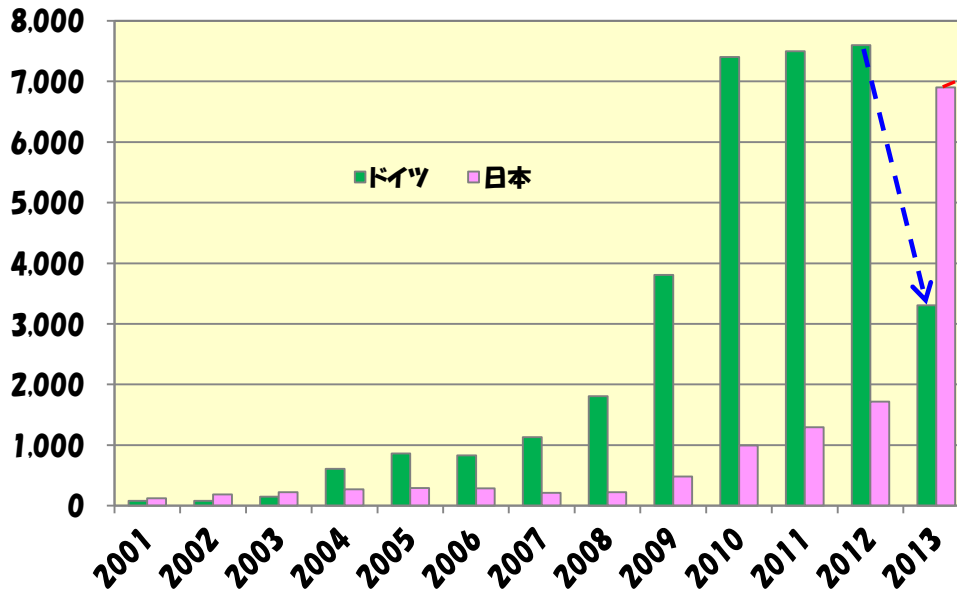
区分	10kW未満		10kW以上					
	(余剰買取)	うち自家発電設備併設	(全量買取)	うち50kW未満	うち50kW以上500kW未満	うち500kW以上1,000kW未満	うち1,000kW以上2,000kW未満	うち2,000kW以上
新規認定容量 [kW]	2,864,822	161,981	65,839,092	21,090,482	3,063,419	3,893,572	11,661,386	26,130,233
新規認定設備の運転開始容量 [kW]	2,303,991	127,687	7,922,677	2,963,505	1,136,603	1,248,086	1,980,779	593,704
運転開始率 [%]	80.4 %	--	12.0 %	14.1 %	37.1 %	32.1 %	17.0 %	2.3 %

# ドイツで起きたこと

☆2004年、改正EEG法を施行。電力供給における「再生可能エネルギーの割合を2010年までに少なくとも12.5%に、2020年までに少なくとも20%に上昇させる」ことを目標に、FIT増額や対象設備の上限容量撤廃などが織り込まれた。ドイツの太陽光発電市場の本格的拡大を後押しした。

☆太陽光発電システム(10kW規模)の価格は、2006年には約5,000ユーロ/kWであったものが、2009年以降急落して太陽光発電ブームを誘発。その後も太陽光発電システムの価格が低下し2012年には約2,000ユーロ/kW、直近では1,640ユーロ/kWに下落。地域によっては太陽光発電コストが家庭用電力料金同等以下になるグリッドパリティが実現。

☆過熱気味の市場に対してドイツ政府は小刻みにFITを減額。2006年に50ユーロ/kWh(30kW以下の設備)を越えていたFITは、2012年には18ユーロ/kWh台に低下して、平均的な家庭の電力料金以下となった。現在は、FITとFIP(フィードインプレミアム:電力取引市場で直接売買できる)のいずれかを選択できる。



懸念!

・2012年からの頻繁なFIT減額により太陽光発電への投資のうまみが減り、政府の狙い通りに2013年のドイツ市場は急速に縮小。  
 ・日本は3年遅れでドイツのあとを辿っているとの見方がある!

図 ドイツと日本の太陽光発電導入量の推移 [MW/暦年]

出所: EPIA, "GLOBAL MARKET OUTLOOK for Photovoltaics 2014-2018" (2014/06)をもとに作成

# 太陽電池セル生産量(地域別)と企業ランキングの変化

- ・中国・台湾が世界最大の太陽電池生産拠点となり、2012年には世界の3分の2を生産！
- ・2005年の太陽電池セル製造企業ランキングでトップ5に4社いた日本企業は、2012年にはトップ10から姿を消してしまった。

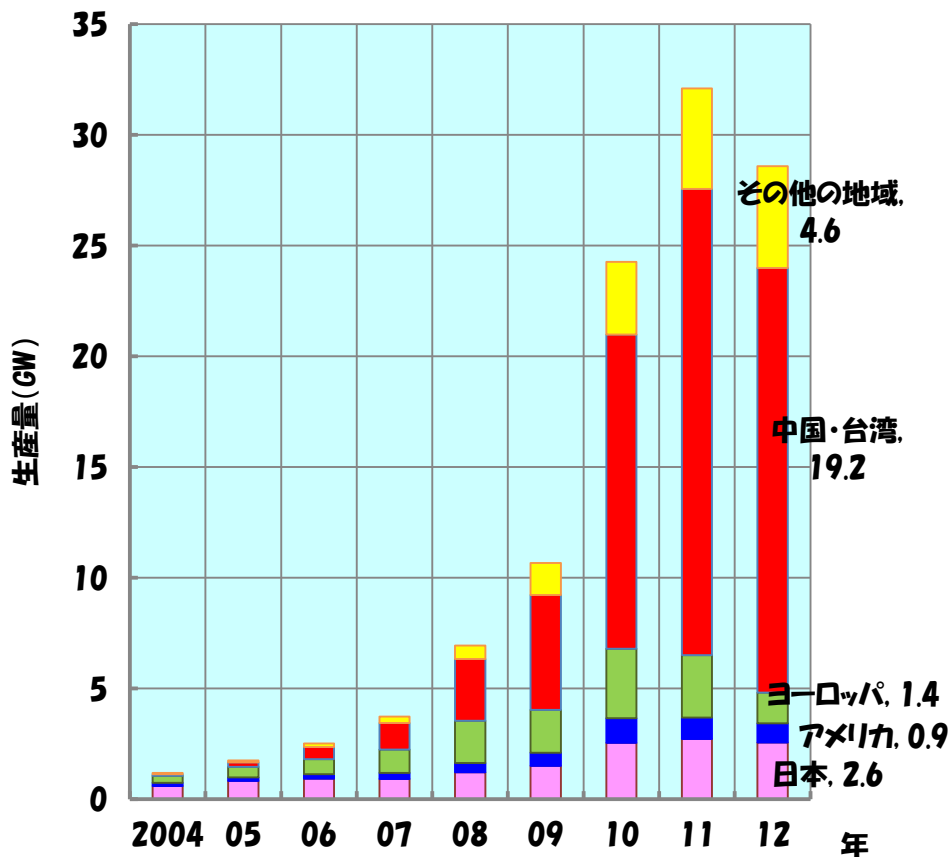


図 太陽電池セル生産量 [GW/暦年]

出所: (株)資源総合システム

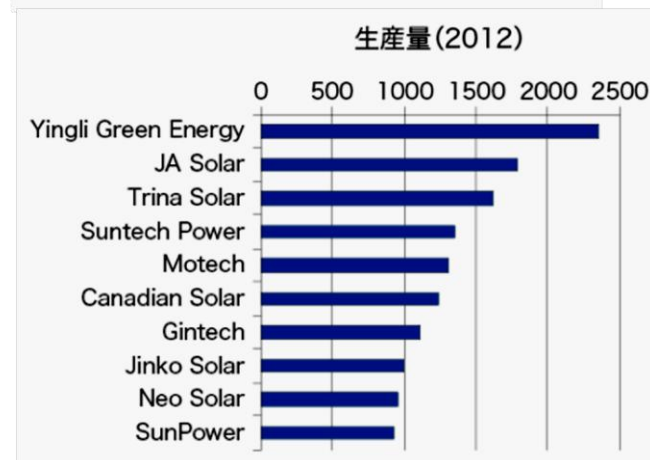
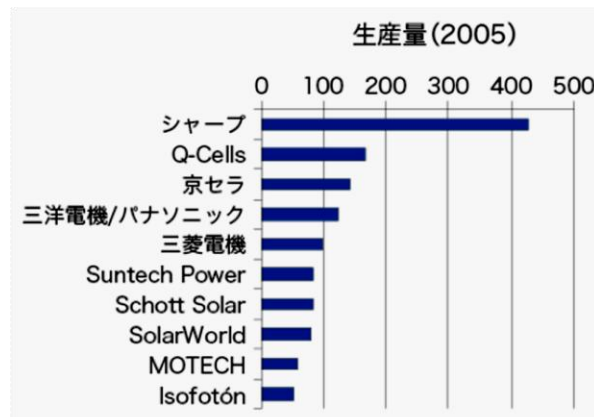


図 太陽電池セル生産量の企業別ランキング

出所: NEDO, 再生可能エネルギー技術白書(第2版)  
(原データは、PVNews 及び (株)資源総合システム)

# 日本市場で起こっていること

- ☆ 非住宅用の出荷が急拡大、住宅用の出荷量は伸び率鈍化
- ☆ 国内メーカーは、国内市場の活況で業績回復、ただし、将来への投資には慎重
- ☆ 太陽電池の輸入比率が異常に増加
  - ・直近では太陽電池国内出荷量の70%が輸入品
  - ・日本企業は国内生産と同程度のOEM調達を実施。
  - ・つまり全体の約40%は海外企業の製品(多くが中国製)

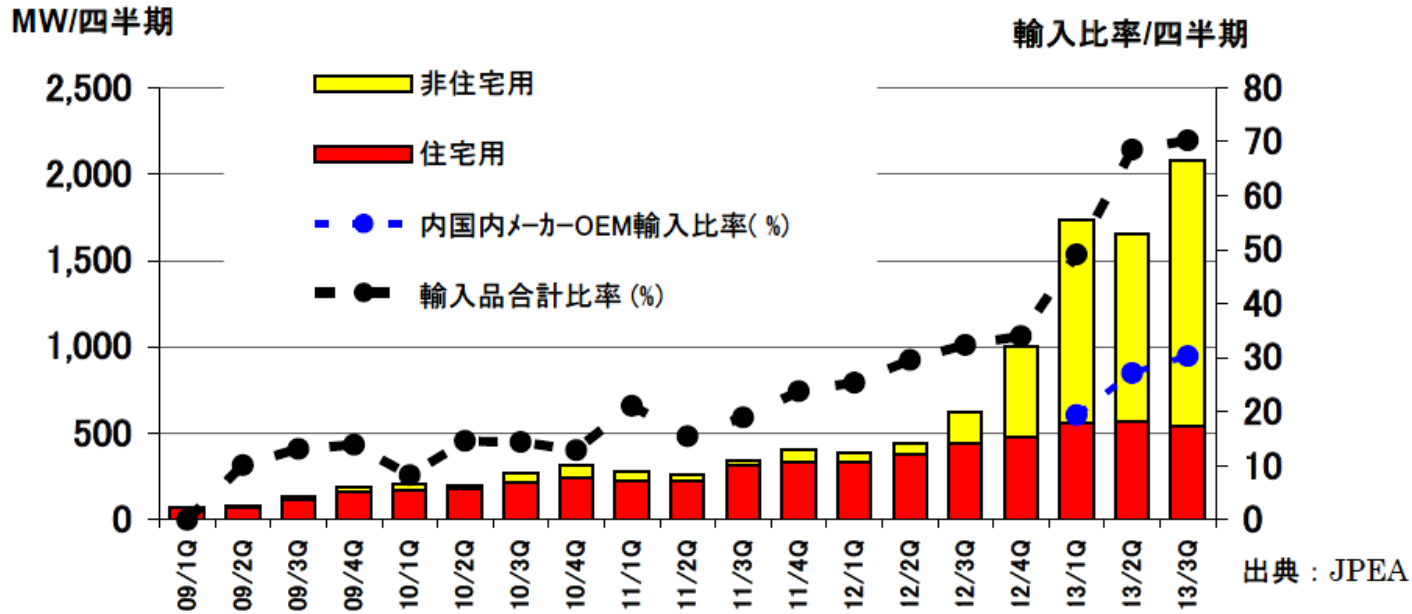


図 四半期別出荷量の推移と輸入品比率の推移

出所：太陽光発電協会, "JPEA PV OUTLOOK 2030" (2013年12月改訂)



# [2] 太陽電池の種類と競争力

< 主流派は結晶Si系、化合物薄膜が追撃中 >

表 太陽電池の種類と特徴(ブルー枠は量産されているもの)

半導体材料による分類		特 徴		セル変換効率 (ラホ基準)
シリコン (結晶系、 バルクとも云う)	多結晶Si	・多結晶Siウェハにp-n接合を形成。P型ウェハを用いるBSF構造セルが一般的 ・量産品の中では単結晶Siに次ぐ変換効率。		20.4% (FhG-ISE)
	単結晶Si	・単結晶Siウェハにp-n接合を形成。p型ウェハを用いるBSF構造セルが一般的 ・より高効率化が可能な新たなセル構造の量産化が動き出している。 ・n型ウェハを使用するIBCセルは特に高効率(米・SunPowerが量産)		25.0% (SunPower)
	ヘテロ接合型	・n型ウェハを使用するHITセルは特に高効率(パナソニックが量産)		25.6% (パナソニック)
シリコン (薄膜)	アモルファスSi	・技術進歩が停滞(カネカ等が量産)		--
	微結晶Si 多接合型			13.4%(LG)
化合物薄膜	CdTe	・古くからある光電素子。製造プロセスがシンプル。米・First Solarが量産		21.0% (First Solar)
	CIGS、 CZTS(研究段階)	・バッファ層を介して異種半導体を接合した太陽電池 ・耐放射線性が優れることから米国で最初に実用化	ソーラーフロンティア(S-F)が CIGSを量産	21.0%(Solibro) 20.9%(S-F)
	III-V族 (GaAs, InPなど)	・集光型太陽電池用。極めて高い変換効率(3接合以上)。		44.7%(Soitec) 44.4%(シャープ)
有機系 (研究段階)	有機半導体	・有機半導体の組合せでp-n接合(バルクヘテロ構造など)を形成		11.9% (三菱化学)
	色素増感型	・酸化還元反応を介したキャリア移動を伴う太陽電池。色素で光吸収を増大。電解液(質)が必要。		11.9%(シャープ)
	ペロブスカイト系	・色素増感型から派生。金属原子を核とするペロブスカイト構造のもつ半導体特性を利用するもの。発電機作の詳細は未解明。		17.9%(KRICT)

出所:セル変換効率は、NREL, "Best Research-Cell Efficiencies Chart" (2014年9月)による

# 太陽電池生産量における種類別シェア

- ・主流派は結晶系Si。薄膜系の生産シェアは2010年の20%弱がピーク。現在10%程度に減少
- ・薄膜ではCdTeが存在感を堅持、CIGSが追撃中。上昇気流のCIGSが薄膜Siに追いついた。

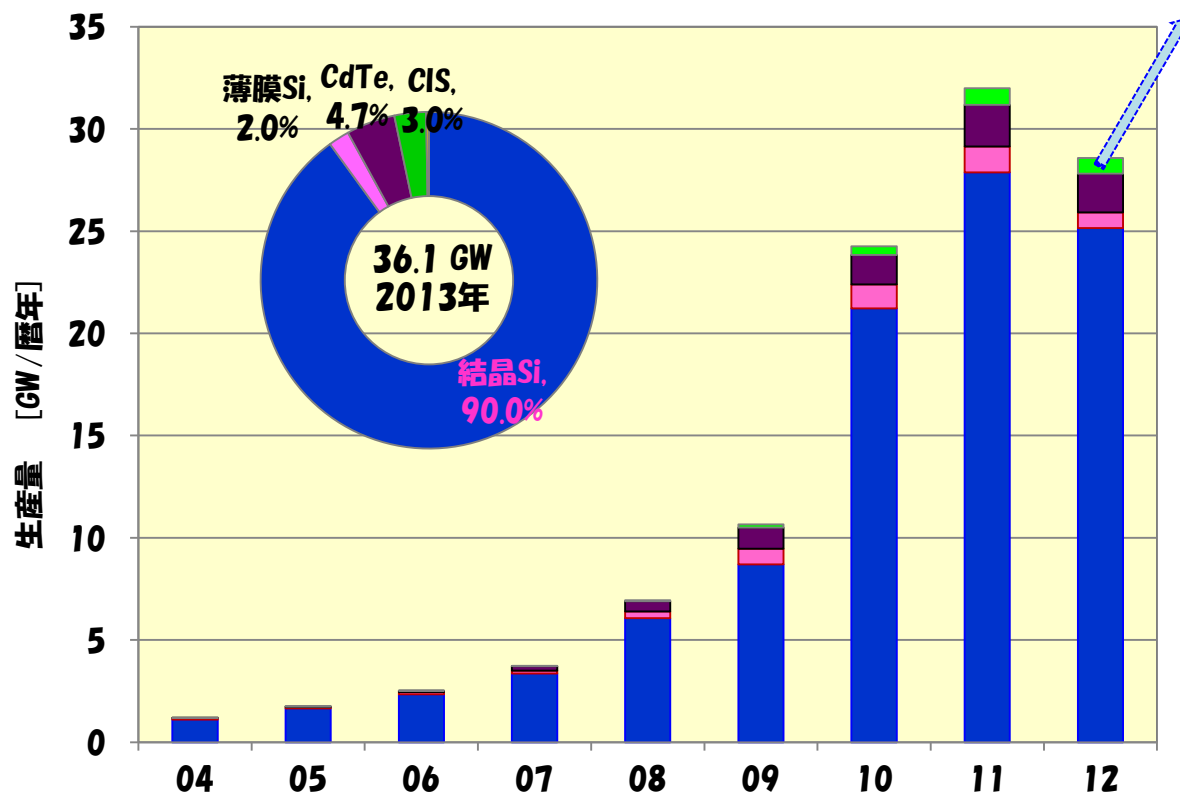


図 太陽電池(セル)の種類と生産量推移

# 競争力の3要素:より高効率、より低価格、より長寿命

- ・変換効率が高い⇒ BOS費用(モジュールを除いた部分の費用)を安くできる…円/Wがお得
- ・変換効率が高い⇒ 同じ設置面積でより多くの発電量を得られる…kWh/m<sup>2</sup>がお得
- ・変換効率(モジュール)の境界線は、プレミアム18%以上、ミドル14%以上、14%以下はローエンド。ミドル同士では16%を狙う戦い。
- ・CIGSとCdTeの効率向上が目覚ましく、ローエンドからミドルへの進級間近。薄膜Siは周回遅れ。  
 ==ソーラーフロンティアは、CIGSで20.9%(セル)、17.8%(サブモジュール)、14.6%(モジュール)を実現。  
 ==First Solarは、CdTeで21.0%(セル)、17.0%(モジュール)を実現。量産モジュールでは13.2%(2013年平均)から直近は14%乗せを実現。

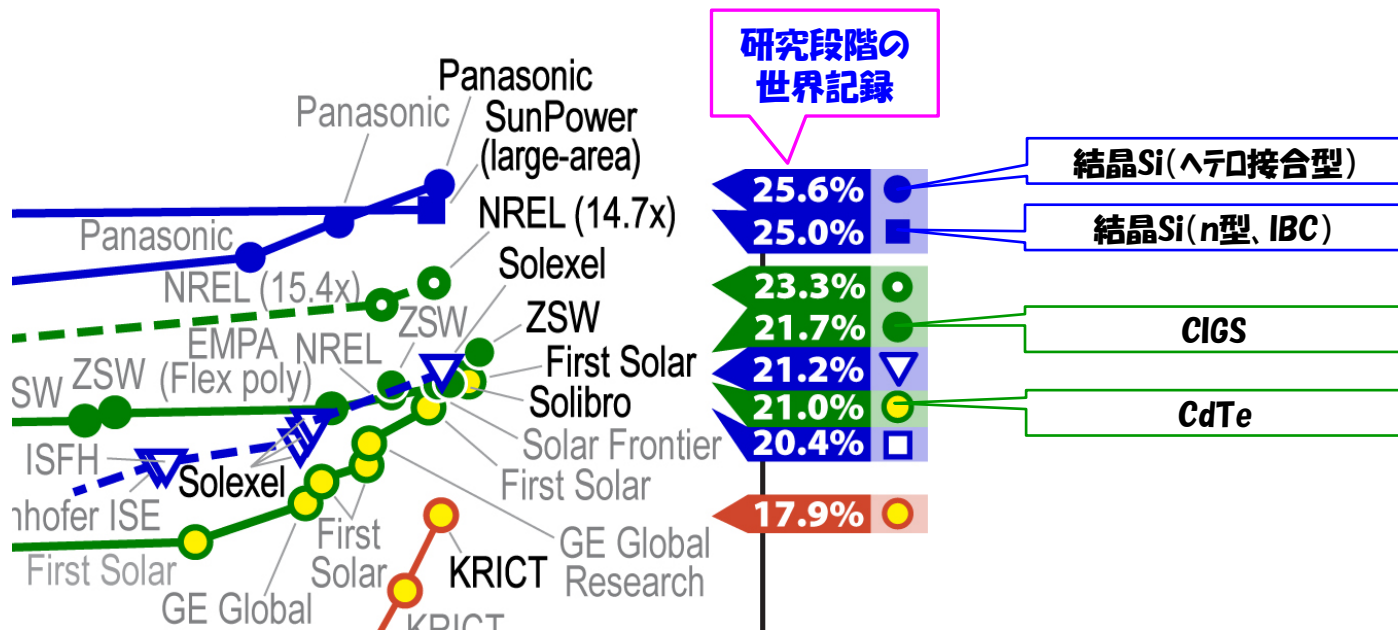


図 研究段階の太陽電池セル変換効率の直近の状況

出所: NREL, "Best Research-Cell Efficiencies Chart" ([http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency\\_chart.jpg](http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg))

# 太陽電池モジュールの製造コスト競争も熾烈

- ・結晶Si系モジュールの製造コストは0.6ドル/Wに達したとみられる。インリー、トリナ、ジンコの中国御三家は0.5ドル/Wを下回るとの分析(GTM Research)もある。
- ・CdTeモジュールの製造コストは0.63ドル/W、2014年はコアコストで0.5ドル/W台を狙う。
- ・長期的には発電システム価格1ドル/W台が求められる中、更なるコスト低減競争が不可避。
- ・結晶SiとCdTeがコスト競争で並走、CIGSは雌伏？ 薄膜Siは??

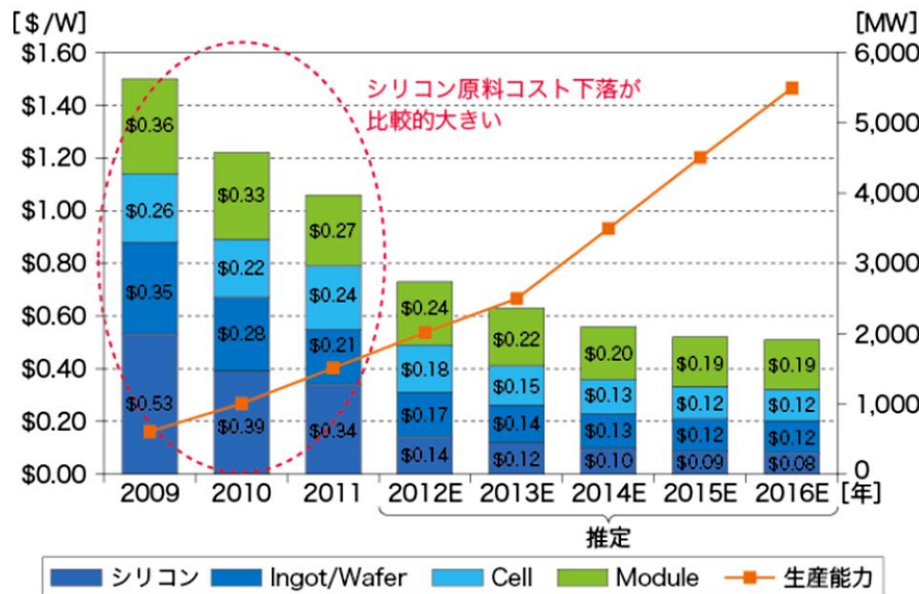


図 結晶Si太陽電池製造コストの推移

出所: NEDO, 再生可能エネルギー技術白書(第2版)  
(原データはGTM Research)

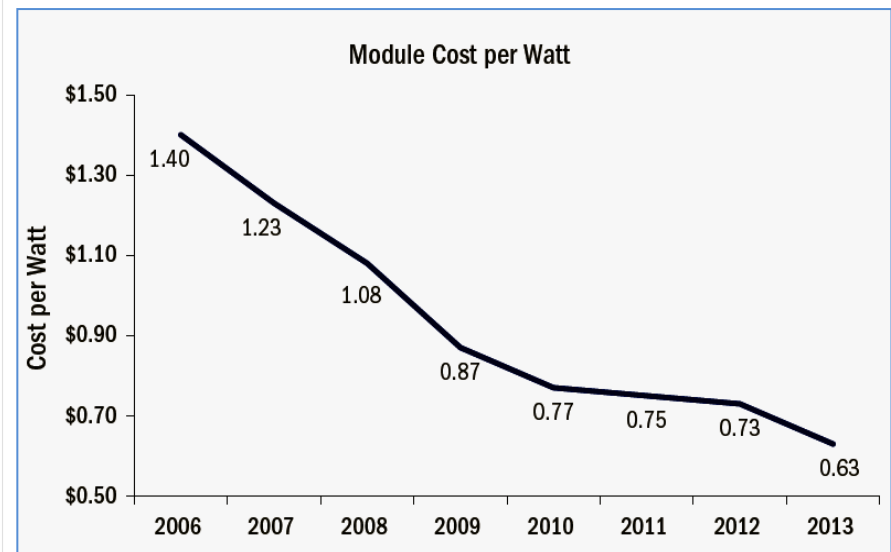


図 CdTe太陽電池製造コストの推移

出所: First Solar ANNUAL REPORT 2013

[注]競争力の3要素のうち、「長寿命」は決定的な競争因子になっていない。寿命が科学的に解明されていない。中国企業も25年保証を謳っている。  
(この点は今後の技術的・事業的課題として残されている。)

# [3] 主な企業の動向

## First Solarの事例

1991:前身となるSolar Cells Inc.(SCI)創業

1992:米・トledo大学及びNRELとの間で研究開発のキー・アライアンスを構築

1998: CdTe太陽電池の高速製膜技術を開発

1999: First Solar 設立、 2002: CdTe太陽電池の商業生産を開始

2003: ドイツ法人First Solar GmbHを設立し、欧州市場へ進出

2006: NASDAQに上場 (IPOにより3億3250万ドルを調達)

2007: ドイツ工場稼働、 2008: マレーシア工場稼働

2009: 太陽電池生産量で初の年産1GW越えて世界第1位に。その後、川下事業を強化し、現在は太陽光発電システムの設計・建設・販売、及び、管理・運用が事業の柱となっている。

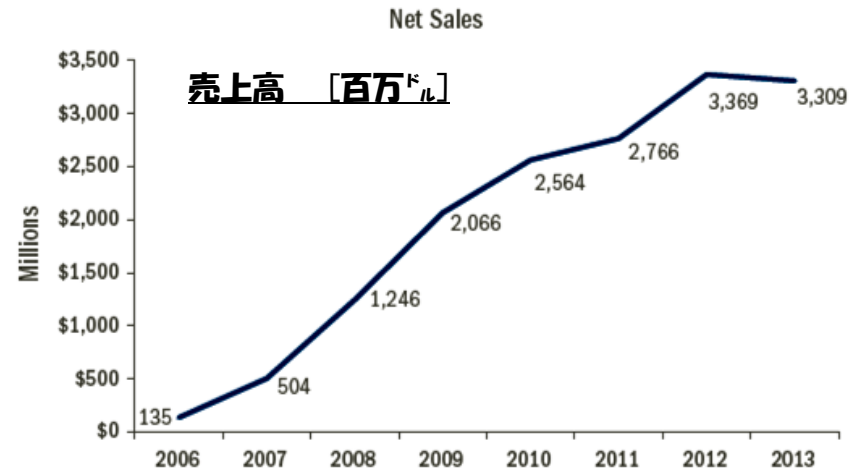
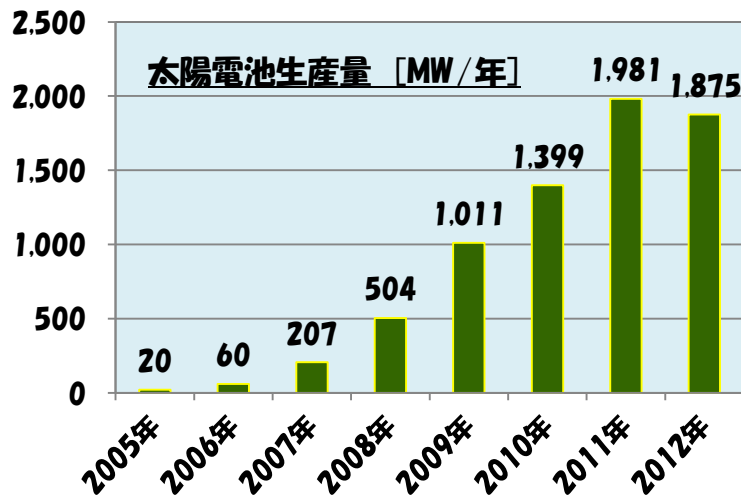


図 太陽電池生産量と売上高の推移



# 欧州市場から北米市場重視・川下強化へ戦略転換／再び世界へ

- ・2010～2011年、当時の最大市場であった欧州から、大規模太陽光発電の開発が活発化し始めた米国市場に重心を移して有望市場に先手を打ち、**太陽電池メーカーから脱皮**。
- ・2009年度以降、北米市場の発電プロジェクト開発契約の獲得に注力。多額の資金を投入した OptiSolar社(プロジェクト開発業者)の買収で、**EPC(システム設計・建設)事業の足固め**
- ・発電システムの利回りを訴求し、サプライチェーン最下流の**O&M(運用・管理)事業をもカバー**
- ・**世界有数のプロジェクト事業者となった今、再び世界市場での事業展開を図って日本にも進出**

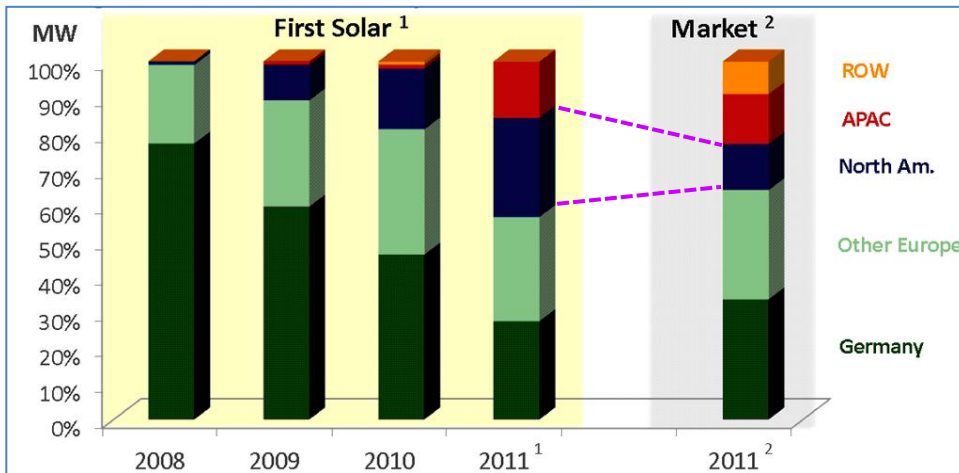


図 太陽電池販売先比率における変化

- ・欧州依存から米国市場重視へ短期間で転身
- ・2011年には販売数量の約30%を米国(相対的にはまだ市場規模が小さかった)向けに



図 太陽光発電所・O&M事業の狙い

LCOE(長期発電コスト)を発電事業の指標とする競争戦略を展開

- ・システム建設のスピード(短工期による価値創出)  
資金運用の効率向上、顧客の早期収益化
- ・周到に計画された運用と管理(メンテナンスと発電量最適化のためのツール提供やデータ解析等)

出所：First Solar Q4 2010 Earnings Call Presentation, G. Antoun, "EPC, O&M and New Market Segments", First Solar Analyst Day (2014/03)

# 昭和シェル石油(株)/ソーラーフロンティア(株)の事例

昭和石油(株)時代に始まった太陽電池事業に粘り強く取り組んでいる。

- ・1981年、米・Arco Solarと日本総代理店契約、結晶Si太陽電池及び太陽電池システムの販売を開始
- ・昭和石油(株)・シェル石油(株)合併の翌1986年、Arco Solarと合併で昭和アークソーラー(株)を設立  
Arco SolarとアモルファスSi技術の共同開発契約締結。
- ・1990年、昭和アークソーラーを昭和ソーラーエネルギー(株)に変更(Siemens SolarによるArco Solar買収に対処)
- ・1993年、NEDOプロジェクトに参画してCIS太陽電池のR&Dを推進
- ・2004年、シェルソーラー・ジャパン(株)発足(Shell SolarによるSiemens Solar買収に対処)
- ・2006年、完全子会社の昭和シェルソーラー(株)を設立(Shell Solarの結晶Si太陽電池事業撤収に対処)
- ・2007年、宮崎でCIS太陽電池の量産を開始
- ・2010年、昭和シェルソーラー(株)をソーラーフロンティア(株)に社名変更(世界市場進出を目指す)
- ・2013年、大規模太陽光発電所への投資会社「SFソーラーパワー(株)」を設立

表 生産拠点の諸元

サイト	宮崎第1	宮崎第2	国富
稼働時期	2007年	2009年	2011年
生産能力 [MW/年]	20	60	900
モジュール寸法 [mm]	1,235×641	1,235×641	1,257×977
要員 [人/MW/年]	3.5	2.5	0.9
投資金額 [億円]	60	150	1,000

表 太陽電池変換効率向上の歩み

発表年月	セル	サブモジュール	モジュール
2014-04	20.9%		
2013-06			14.6%
2013-01	19.7%		
2012-02		17.8%	
2011-03		17.2%	
2010-09		16.3%	

# 経営方針：石油と電力エネルギー事業を2本柱にする！ 太陽電池事業で「グローバルリーダーになる」

## 太陽電池事業の状況

### 2012年12月期：

厳しい事業環境が続いたが、生産を中心に徹底した**コスト削減**を進めるとともに、**より付加価値が得られる市場へ販売シフト**するなど収益性が改善、前年同期比で**営業損失が減少**。

### 2013年12月期：

パネル販売のターゲットを海外から国内に移した結果、2013年の総販売数量は前期比で約2倍。販売数量の大幅改善／製品の付加価値向上／コスト削減の継続的努力により収支構造の改善が進展。**太陽電池事業として初めての通期経常黒字を達成**。パネル販売だけでなく、太陽光発電所の**EPC・運営・売却を一体化したビジネスモデル**が評価される。

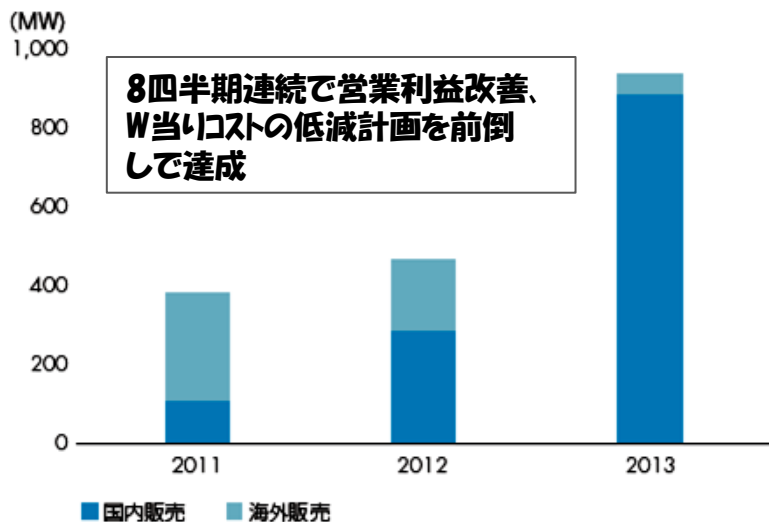
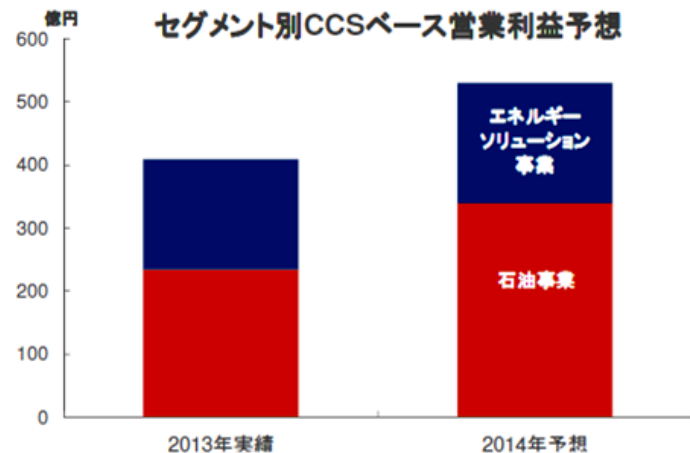


図 ソーラーフロンティアの出荷数量推移



### 〈エネルギーソリューション事業への期待〉

- ・更なる生産コスト削減と付加価値販売により、太陽電池事業の収益が改善
- ・電力事業の安定的な利益貢献の継続



# [4] 変貌するビジネスモデル

10年間隔で発生したプレイヤーの多様化とビジネスの変容  
これからも社会システム変革と共にビジネスモデルの進化が続く。

年代	主なプレイヤー	主な傾向
1970年代: 基礎探索	公的機関 電機業界	太陽電池の実用可能性について検証が進められた時代
1980年代: 実用化研究	太陽電池メーカーによる技術開発、商品開発	民生用太陽電池の市場が日本で育った。 太陽電池実用化に向けた技術開発の時代 各国の国家プロジェクトによる技術開発競争
1990年代: 市場形成	太陽電池メーカーが主役、商品開発、サプライチェーン作りを担った。	技術開発競争が本格化する中で、日本では補助金による住宅用市場形成が進み、太陽電池メーカーを中心にしたミニ産業が出現
2000年代: 市場拡大、プレイヤー及び事業形態の多様化	サプライチェーンが分化し、ディベロッパー、EPC、O&M等の多様なプレイヤーが活躍。 太陽電池メーカー主役時代の終焉。 投資行動の活発化	低炭素社会を目指す枠組みの中で普及政策が進化 欧州でドイツが先陣を切って再エネ導入政策を強化 需要が日本から欧州に移動、本格的な太陽光発電市場が立ち上がった。 欧州市場に狙いをつけたサプライチェーンが発達 米国では、RPSに基づいて電力会社が再エネ発電を積極的に導入する一方、PPA等の電力小売りと融合した再エネ発電取引の事業モデルが増殖
2010年代: グローバル化	中国企業が太陽電池生産量の70%を支配 システム建設・運用に長けた欧米企業の活躍 鍵を握るようになった金融系機関	欧州市場縮小に伴い、市場を主導する地域が欧州から日・中・米へシフト メガソーラーが日本にも伝染 太陽光発電が投資対象と認識されるようになった。 (変わっていない政策支援への依存)

# 新・旧企業による新たな動き

- ☆新興企業Solar City(米CA)が、「フルサービス」と「リースモデル」で住宅分野を制覇。米国の太陽光発電市場の14%を占有する急成長。
- ☆再エネ電力の流通を担うアグリゲーターが始動準備：
  - == 東芝は、現地の不動産関連企業(GAGFAH)と提携し、ドイツで電力小売事業に参入
  - == 日本でも始まる民間企業等による太陽光発電電力買取サービス  
(ENERES、パナソニック、日本生活協同組合連合会等々)
- ☆建築物の省エネ基準が改正された(住宅の経過措置期間は2015年3月末まで)。低炭素建築物認定制度がスタートし、LCCM住宅が現実味を帯びてきた。
  - == 太陽光発電の電力(売電しない場合)は一次エネルギー消費量から差し引ける。
  - == 住設・住宅メーカーが様々なプランを提供。建築物との融合が進めば、建築分野は太陽光発電のベース市場であり続ける！

## 参考情報

[http://www.toshiba.co.jp/about/press/2013\\_12/pr\\_j0401.htm](http://www.toshiba.co.jp/about/press/2013_12/pr_j0401.htm)

<http://www.eneres.jp/service/subscription.html>

<http://panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/2014/01/jn140121-3/jn140121-3.pdf>

<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1406/18/news033.html>

[http://lowenergy.jsbc.or.jp/top/resource/house\\_slide1.pdf](http://lowenergy.jsbc.or.jp/top/resource/house_slide1.pdf)

# エピローグ

日本の半導体産業は、1980年代後半をピークにして市場シェアの低落に歯止めがかからず、すっかり影が薄くなってしまった。ランキング入りの日本企業は今や東芝だけ。世界の半導体企業は、IDM、ファブレス、ファウンドリーに分化し、それぞれごく一部の企業が好業績を挙げているが、事業形態に応じしっかりとした武器をもつところ以外は成長できていない。

日本の太陽電池産業は半導体産業の二の舞を避けられるだろうか??  
どの業界であれ、取引を通じて顧客にメリットを感じさせる何かが必要。

表 世界半導体メーカー上位10社推移

	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2009
1位	TI	NEC	NEC	Intel	Intel	Intel	Intel
2位	Motorola	Motorola	東芝	NEC	東芝	三星電子	三星電子
3位	NS	TI	日立	東芝	ST	TI	東芝
4位	NEC	日立	Motorola	日立	三星電子	東芝	TI
5位	日立	東芝	Intel	Motorola	TI	ST Micro	ST Micro
6位	東芝	Philips	富士通	三星電子	NEC	ルネサス	Qualcomm
7位	Intel	富士通	TI	TI	Motorola	Infineon	Hynix
8位	FCI	Intel	三菱	富士通	日立	Philips	ルネサス
9位	Philips	NS	Philips	三菱電機	Infineon	ハイニックス	AMD
10位	シーメンス	松下電子	松下電子	現代電子	Philips	NEC エレ	Infineon

出所) プレスジャーナル社編『1985年度版 日本半導体年鑑』104ページ、表13：同『1999年度版 日本半導体年鑑』72ページ、表3：日本電子機械工業会編『2000年ICガイドブック 2000年版』29ページ、表1-4：電子情報技術産業協会編『ICガイドブック 2003年版』43ページ、表1-4：電子情報技術産業協会編『ICガイドブック 2009年版』251ページ、表4-1-1：<http://www.gartner.co.jp/press/html/pr20100401-01.html>より作成

出所：肥塚、「日本および中国の半導体産業」、立命館国際地域研究 第33号(2011年3月)

# 本日のまとめ

- 太陽光発電市場の拡大が続いているが、混乱もみられるようになった。政策支援等で長期的な成長を考慮した変更があるかも知れない。
- 太陽電池の種類では、結晶Si太陽電池が変換効率でも製造コストでも主流派。薄膜系では、CdTeとCIGSが結晶Siに対抗できるポテンシャルがある。ただし、結晶Siが今後とも主流派であることは変わらないだろう。
- 太陽電池メーカーが太陽光発電産業の主役であり得たのは過去のこと。太陽電池の製造・販売のみでメインストリームに居続けることは困難、うま味もない。主要企業は、システム事業や運用事業へと土俵を広げている。
- 太陽光発電は、FIT(余剰買取・全量買取)ビジネスで終わるものではない。太陽光発電を電力取引の一部に組み込むビジネスの模索が始まっている。電力取引になじむ太陽光発電システムや運用技術が今後進化する。電力システム改革がこのような事業を後押しする可能性が高い。
- 低炭素社会は、世界の潮流。建築物のゼロエネルギー化が近々標準となる。建築物分野は太陽光発電を受け入れ易く、今後も重要な市場(ベース市場)
- 取引を通じて顧客にメリットを感じさせる武器を磨き、場をつくることが、ビジネスの共通項。どこでも受けられるサービスに高い価格はつかない。
- 卵の殻は自分で割らなければならない！