

第二部

SNA と統合的なエネルギー統計のための 技術情報の標準化

目次

1 エネルギー・環境技術の標準化の概要.....	1
1.1 背景と目的.....	1
1.2 技術情報の整理方法.....	1
2 「太陽光発電（PV）システム」の評価.....	6
2.1 太陽光発電システムの要素技術.....	6
2.2 「太陽光発電システム」のライフサイクルコスト分析.....	18
2.3 「太陽光発電システム」の普及に伴う産業へのインパクト分析.....	26
3 「高効率自動車（ハイブリッド自動車）」の評価.....	33
3.1 「ハイブリッド自動車」の要素技術.....	33
3.2 「ハイブリッド自動車」のライフサイクルコスト分析.....	39
3.3 「ハイブリッド自動車」の普及に伴う産業へのインパクト分析.....	45
4 「バイオ燃料」の評価.....	50
4.1 「バイオ燃料」の要素技術.....	50
4.2 「バイオ燃料」のライフサイクルコスト分析.....	57
4.3 「バイオ燃料」の普及に伴う産業へのインパクト分析.....	67
5 「二酸化炭素回収・貯留（CCS）」の評価.....	72
5.1 「CCSシステム」の要素技術.....	72
5.2 「CCSシステム」のライフサイクルコスト分析.....	79
5.3 「CCSシステム」の普及に伴う産業へのインパクト分析.....	83
6 「森林管理による二酸化炭素（CO ₂ ）吸収」の評価.....	87
6.1 「森林管理によるCO ₂ 吸収」の要素技術.....	87
6.2 「森林管理によるCO ₂ 吸収」に関連するライフサイクルコスト分析.....	92
6.3 「森林管理によるCO ₂ 吸収」の産業へのインパクト.....	93
7 技術情報標準化の総合評価と今後の課題.....	95

1 エネルギー・環境技術の標準化の概要

1.1 背景と目的

経済とエネルギー・環境の関連分析を行うにあたり、技術情報は重要である。また、国際公約となった地球環境問題への対応が急務となる中、技術による対策の可能性への関心が高まっている。一方でマクロ経済、産業活動、エネルギー消費及び CO₂ 排出量の関係分析の必要性も増大している。しかし、様々な取り組みや調査、あるいはデータベースの構築がされているにもかかわらず、必要な情報に絞って汎用的で利用しやすい整理を行っている資料は極めて限られている。

計量モデルによる技術評価に資するため、モデルへの実際のインプットのための技術情報のデータフォーマットを検討し、収集を行う。

1.2 技術情報の整理方法

(1) 調査内容

当該調査研究の実施に当たっては、個別研究分野における専門家で構成される研究会を設置し、ヒアリング等を行い、個別調査分野の検討を行う。

現在、世界で議論されていて、ある程度確立されている技術について、技術情報を収集し、その特徴を経済的側面から整理する。収集・整理に当たり、ポスト京都議定書の政策に寄与するため、長期多部門モデル、一般均衡モデル等による政策研究やシナリオ分析に適用できるような技術情報のフォーマットを検討する。

1) 対象技術

対象技術は、米国プリンストン大学環境研究所 (PEI) が進めているプロジェクトで扱っている CO₂ 排出削減技術 (表 1-1) を参考に、次の 5 分野を選定する。

- (a) 省エネルギー (高効率自動車)
- (b) CO₂ 回収・貯留 (ベースロード発電所からの CO₂ 回収および貯留)
- (c) 再生可能発電 (太陽光発電)
- (d) 再生可能燃料 (バイオ燃料)
- (e) 森林・農地の CO₂ 吸収 (育林等による森林の CO₂ 吸収評価)

表 1-1 プリンストン大学環境研究所 (PEI) 炭素削減イニシアティブ (CMI) の対象技術

分野	対応 (50 年後)	課題・備考	
エネルギー 効率・省エネ ルギー	(1)高効率自動車	自動車 20 億台, 燃費 30 60 マイル/ガロン	大きさ、出力
	(2)自動車利用減少	自動車 20 億台, 燃費 30 マイル/ガロン, 年間走行距離 10,000 5,000 マイル	都市計画, 公共輸送, 在宅勤務
	(3)高効率建物	建物・機器の効率改善による CO ₂ 排出量 1/4	インセンティブ弱
	(4)高効率石炭火力発電 ベースロード運転	石炭火力の発電効率を 2 倍の 60% (現在 32%)	先進高温耐熱材料
燃料転換	(5)石炭火力発電の天然 ガスへの代替	ガス火力を現在の 4 倍	天然ガス需要と競合
CO ₂ 回収・ 貯留 (CCS)	(6)ベースロード発電所 の CO ₂ 回収	800GW 石炭火力, 1600GW ガス火 力	技術は確立
	(7)水素製造所での CO ₂ 回収	石炭からの製造で 250MtH ₂ /年 天然ガスからの製造で 500MtH ₂ /年	水素の安全性, イン フラ整備
	(8)石炭からの合成燃料 製造所の CO ₂ 回収	3000 万バレル/日	CCS なしの場合 CO ₂ 排出増加
	地中貯留	3500 箇所	耐久性,
石油代替 エネルギー	(9)原子力発電 (石炭火力代替)	700GW 追加 (現在の 2 倍)	核拡散, テロ, 核廃棄 物
	(10)風力発電 (石炭火力代替)	1MW 級発電設備を 200 万基追加 (現在の 50 倍) 設置面積 30 × 10 ⁶ ha	土地の複合利用
	(11)太陽光発電 (石炭火力代替)	2000GW 発電設備を追加 (現在の 700 倍) 設置面積 2 × 10 ⁶ ha	PV 製造コスト
	(12)風力水素利用ハイ ブリッド燃料電池自 動車(ガソリン代替)	1MW 級設備を 400 万基追加 (現在の 100 倍)	水素の安全性, イン フラ整備
	(13)化石燃料からバイ オ燃料への代替	ブラジル・米国での生産量を 100 倍 耕作面積 250 × 10 ⁶ ha (世界の農地の 1/6)	生物多様性, 土地利 用の競合
森林・農地 (炭素吸収)	(14)森林伐採削減、森 林再生、植林、新プ ランテーション	熱帯地域の森林伐採 300Mha の新たな植林	農業用土地,
	(15)耕作地保全	全農作物栽培好適地に適用 (現在利 用の 10 倍)	回復力, 確認 (検査)

(出所) プリンストン大学環境研究所の資料をもとに日本エネルギー経済研究所作成

2) 技術情報

技術情報のデータ項目は、平成 17 年度の調査におけるプロトタイプを基に、ライフサイクルアセスメント (LCA) を視野に入れた分析も考慮して設定する。具体的には、次のような項目を想定しているが、技術情報の調査結果および研究会における議論を踏まえて最適な整理方法を提案する。

- (a)特徴 (概要、技術課題、実用化・普及時期、耐用年数、競合技術など)
- (b)経済性 (製品・装置・システムのコスト、原材料コスト、生産設備の投資コスト、運用・保守のコストなど)
- (c)市場規模 (生産量、生産金額、輸出量など)

(d)影響産業（対象技術分野、競合技術分野、波及効果分野など）

(e)代替エネルギー評価（効率、省エネルギー量、CO₂削減量など）

各技術の情報は、文献やインターネットなどの公開情報と、専門家によるヒアリングにより収集・整理する。また、研究会を開催して、技術情報の標準化等を検討する。

(2) 調査方法

SNA と統合的なエネルギー統計のための技術情報標準化の整理を行うに際し、エネルギー・環境技術および計量モデルの専門家を委員として招聘し、研究会を開催して議論する。

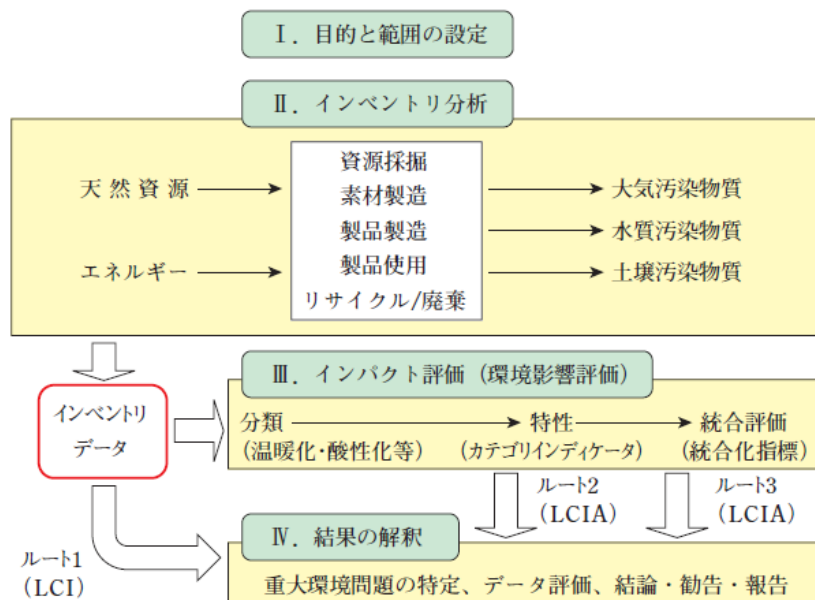
調査対象となる技術の専門家に対してヒアリングを実施して、最新の情報を入手して情報を整理する。個別に訪問する場合もあるが、研究会に招聘して委員と議論する機会を設定する。

技術情報は、特にライフサイクル的な視点を十分考慮して分析し、産業連関への展開についても検討する。

1) ライフサイクル的視点からの分析

現在の社会経済システムは、生産、流通、消費、廃棄などの各段階において、資源やエネルギーを利用し、不要な物を排出して自然環境に対して負荷をかけている。今後の世界の経済成長や人口の増加により、環境への負荷はますます増大すると考えられる。そこで、製品およびサービスのライフサイクルにおいて誘発される環境負荷を定量的に把握しておく必要がある。

図 1-1 LCA の構成 (ISO14040)



(出所) (社)産業環境管理協会「LCA 教育プログラムテキスト」

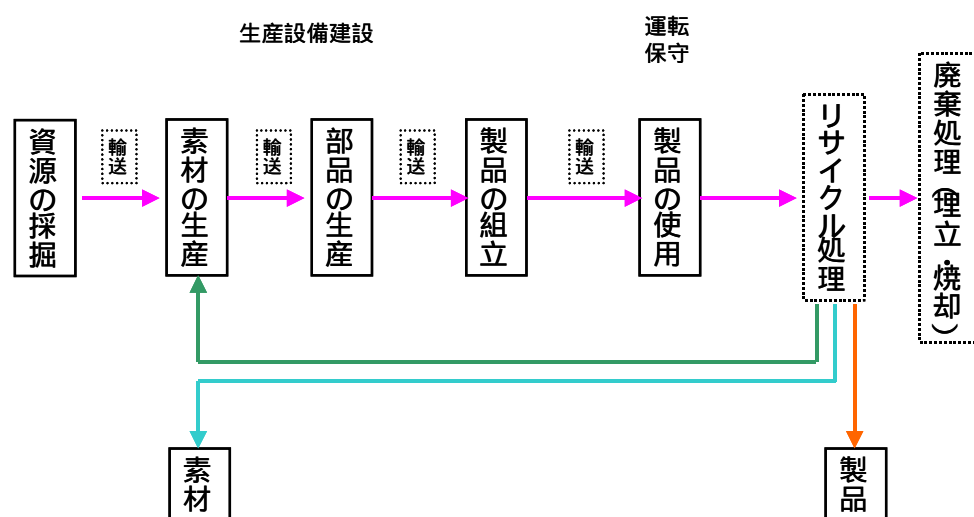
ライフサイクルアセスメント（LCA：Life Cycle Assessment）とは製品の一生における環境負荷を評価する手法である。製造、輸送、販売、使用、廃棄、再利用まですべての段階での環境負荷を総合して評価する。製品のライフサイクルについては「製品のゆりかごから墓場まで」と説明される場合が多い。

ISO14040/44 では LCA を、(a)目的・評価範囲の設定、(b)インベントリ分析、(c)影響評価、(d)解釈、から構成されると規定している。（図 1-1）

インベントリ分析では、製品の製造から使用、廃棄・リサイクルに至る各段階において、使用する原材料・中間製品、副資材、燃料、電力などを資源採取段階にまでさかのぼって集計し、一方で全ての段階で排出する大気・水域排出物、固形廃棄物などを積算する。したがって、ライフサイクルインベントリ分析の結果は、最終的には、資源やエネルギー消費量および環境への排出量として表されることになる。

一方、ライフサイクルコスト（LCC：Life Cycle Costing）は、ライフサイクル全体を通じて必要な費用の合計を意味する。

図 1-2 一般的な製品のライフサイクルの流れ



（出所）各種資料をもとに日本エネルギー経済研究所作成

2) 産業連関による技術のインパクト分析

SNA と統合的なエネルギー統計のための技術情報を整理するために、産業連関表を活用して技術の産業への波及効果を分析する。

産業連関表は、国内経済において一定期間（通常 1 年間）に行われた財・サービスの産業間取引を一つの行列（マトリックス）に示した統計表である。

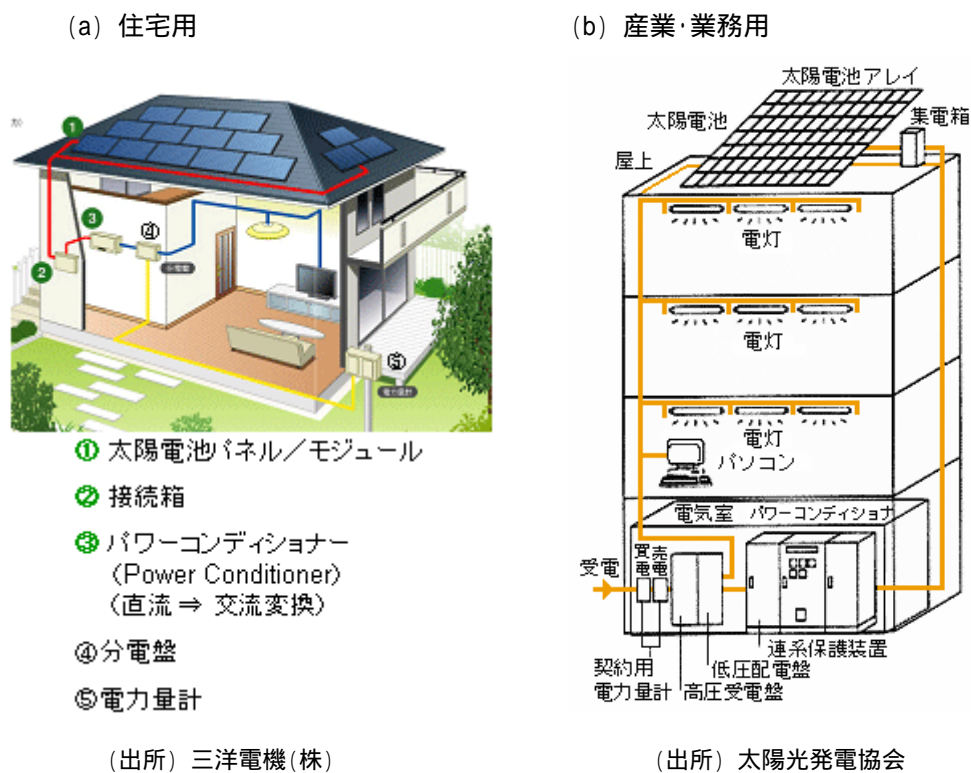
2 「太陽光発電（PV）システム」の評価

太陽光発電は、半導体に光が入射した時に起こる光電効果を利用して直接太陽光をエネルギー（電気）に変換する。太陽電池を使って太陽光を直接電気に変えて利用するシステムを、一般に「太陽光発電システム」と呼んでいる。（Photovoltaic：PV）

2.1 太陽光発電システムの要素技術

太陽光発電システムは、発生した電気の使い方や運転の仕方によって多少は異なるが、一般には太陽電池モジュール（アレイまたはパネル）、太陽電池の出力を一時貯蔵するための蓄電装置、出力を交流に変え、電力会社の送電線とつなぐための連系装置（パワーコンディショナー）などから構成されている。

図 2-1 太陽光発電システムの構成要素



(1) 太陽電池 (Solar Cell)

太陽電池は、光を照射するとマイナス電荷の電子とプラス電荷の正孔が発生する半導体であり、電子はn型の電極へ、正孔はp型の電極へと引きつけられるために電流が流れる。半導体の材料により、特性および生産プロセスが異なる。

結晶系シリコン太陽電池は、安定して高効率変換が可能な実用的素子としてすでに販売実績が豊富である。これらは、その製造法や結晶学的な特徴により、単結晶シリコン、多結晶シリコン、アモルファス(非晶質)シリコン、の3種類に大別されている。

化合物半導体太陽電池には様々な種類があるが、III族元素(Ga:ガリウム、In:インジウム)とV族元素(As:ヒ素、P:リン)からなる化合物、II族元素(Cd:カドミウム、Cu:銅)とVI族元素(S:イオウ、Se:セレン、Te:テルル)からなる化合物、カルコパイライト系化合物(I-III-VI₂族など)の3種類に分類されている。

また、構造によりバルク結晶型、薄膜型など、利用形態から集光型または非集光型、シングルセルまたはタンデムセルなどの分類方法もある。

現在は多結晶シリコン型が主流であるが、次期技術開発の方向としては、シリコンバルク型太陽電池では極薄基板の高効率セル製造技術、シリコン薄膜型太陽電池では大面積多接合の高生産性製造プロセス技術、また色素増感太陽電池では低コスト高効率なモジュール製造技術等が挙げられ、これら要素技術確立に向けた方向付けを行うための先導研究が進められている。

図 2-2 太陽電池の分類例および特徴

分類			特徴	<参考>変換効率	
				実用レベル	研究レベル
シリコン系	結晶	単結晶	大きな結晶から薄板を切り出して使用する。変換効率は高いが、製造コストも高い。	~ 18%	~ 25%
		多結晶	セルが一つの結晶ではなく、複数の結晶粒に分かれているもの。単結晶より変換効率は低い、安価に製造できる。	~ 16%	~ 20%
	アモルファス(非晶質)		製造方法が比較的容易であり、大面積化に適している。薄膜として利用されている。	12%	~ 18%
化合物半導体	III-V族化合物半導体		高効率で放射線耐性が優れているため、宇宙用太陽電池として実用化されている。多接合セルの場合、さらに高効率化が実現している。(GaAs, InP等)	22%	~ 37%
	II-VI族化合物半導体		多結晶薄膜型のセルは製造コストが低いため、第2世代太陽電池として実用化が始まっている。(CdTe/CdS, Cu ₂ S/CdS等)		~ 17%
	カルコパイライト系半導体(CIS系、CIGS系)		光吸収係数が大きい、薄膜型に適している。(CuInSe ₂ , CuIn _{1-x} Ga _x Se ₂ , CuInS ₂ 等)	~ 14%	~ 19%
その他	有機半導体		軽量で低コストではあるが、変換効率は低い。		~ 5%
	色素増感型(湿式)		増感剤(色素)の光励起状態の電子移動反応を利用したものであり、光触媒作用のある酸化チタン(TiO ₂)と色素を組み合わせた積層した構造となっている。		~ 11%

(出所) 各種資料をもとに作成

1) 結晶シリコン系太陽電池セル

単結晶シリコン型は高純度シリコン単結晶を利用するもので、最も古くから使われている。変換効率は高いが、不純物や欠陥が少ない高純度シリコンの利用量が多いため、生産に必要なエネルギーやコストが高くなるという短所がある。多結晶シリコンは単結晶と異なり、複数の結晶粒からなっている。単結晶シリコン型より変換効率は低い、低コストで製造できるという利点がある。

多結晶シリコン太陽電池は、現在までのところ半導体産業から発生する規格外シリコンを原料として製造されている。しかし、将来の太陽電池の需要増加に対する原料供給の不確実性や原料コストの不安定性などが危惧されている。

太陽電池には半導体集積回路用ほどの超高純度は必要なく、また多結晶でもよいため、原料シリコンを他産業に依存しない太陽電池用シリコン（SOG-Si：Solar-grade Silicon）製造技術の開発が行われてきた。

わが国では、シャフト式アーク炉を用いた高純度シリカの炭素熱還元、脱炭素・脱酸素および方向性凝固からなる「NEDO 直接還元法」の開発が進められ、実用化の見通しが得られている。具体的には、

水ガラス化法：珪石（ SiO_2 ）にソーダ灰を粉碎・混合し、水を加えて沈殿濾過・濃縮し、水ガラス化する。これを脱水縮合させてシリカゲルとし、表面不純物を取り除くことで5N（99.999%）程度の SiO_2 とする。炭素を加えて専用炉で還元し、脱炭後に一方向凝固させる。

NEDO 溶融精製法：金属グレードシリコンを電子ビームやプラズマで溶融させて特定の不純物を除いたあと、一方向凝固させる。

などの方法がある。

(a) 金属シリコン製法方法

原料珪石とソーダ灰を粉碎・混合して溶融し無水珪酸を製造する。さらにこれを粗砕して加圧蒸気で溶解後、不溶解物を沈降させ上澄み液を濾過し、炉液を真空蒸発で濃縮することにより水ガラスとする。この工程を通じて、ホウ素（B）や太陽電池性能を阻害するリン（P）、鉄（Fe）、アルミニウム（Al）、チタン（Ti）などの不純物が除去される。なお、この工程では無水珪酸ソーダ製造の際に反応起源の CO_2 が発生する。

次に、この水ガラスと鉍酸との脱水縮合反応によりシリカ（ SiO_2 ）を析出させ、表面不純物を溶解洗浄後に脱水・乾燥させることによって高純度 SiO_2 を得る。高純度 SiO_2 は、炭化水素から別に製造される高純度カーボンを還元剤としてシャフト式アーク炉内で熱還元され、粗精製シリコンとなる。なお、この際にCOガスが排出される。

アーク炉から出湯した粗精製シリコンは、 SiO_2 粒子中を通すことによって炭素濃度が0.1%程度から50～80ppmに低減され、さらにシリカ坩堝中での融解による酸化脱炭によって2ppm以下となる。最後に偏析効果を利用した方向性凝固工程によってその他の不純物を除去し、6N（99.9999%）程度のSOG-Siが製造される。なお、このNEDO直接還元法によるシリコンの品質については、半導体用シリコンを用いた太陽電池と遜色ない変換効

率が得られることが確認されている。

(b) 単結晶インゴット製造方法

単結晶シリコンインゴットは、原料シリコンを石英ルツボの中で溶融し、液化した原料シリコンにワイヤーで吊るした種結晶棒を浸し、回転させながら徐々に引き上げて製造する。

(c) 多結晶インゴット製造方法

SOG-Si からのインゴット鑄造に関しては、離型材による不純物汚染や高材料コスト（石英るつぼや炉材など）バッチ操業に起因する低生産性といった問題のある従来キャスト法に代わる新しい鑄造技術である「NEDO 電磁鑄造法」が開発されている。

(d) シリコンウェハ製造方法

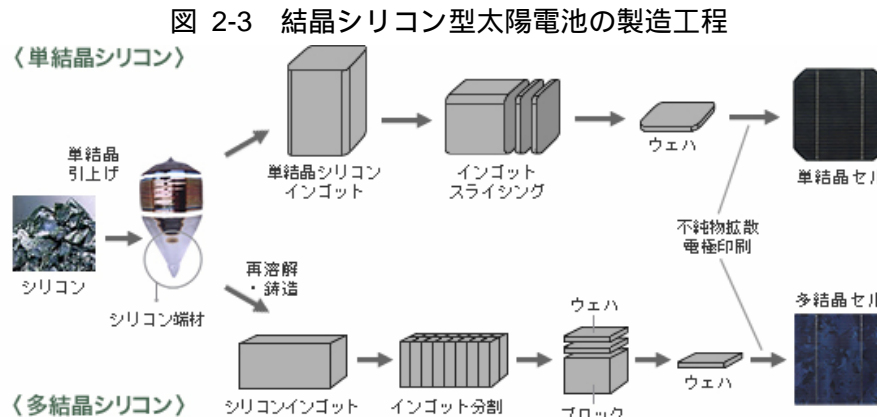
SOG-Si を電磁鑄造炉によって多結晶シリコンインゴットに鑄造し、さらに切断してシリコンウェハとする。この鑄造法は磁気圧下でシリコンを溶融・浮遊させ、連続的にシリコンの溶融と凝固とを同時に進行させて多結晶シリコンインゴットを製造するものであり、溶融シリコンが炉材と接触しないことによる高品質化、無るつぼ溶融による低コスト化、連続溶融・鑄造による生産性向上、等の利点がある。

インゴットからのウェハ切断技術には、高い生産性をもつマルチワイヤーソーを想定している。これは太陽電池製造用として 1984 年頃にスイスの HCT-Shaping System 社によって開発されたが、現在では半導体用シリコンインゴット切断用が主な用途となっており、世界で 400 台以上の設備が稼働している。マルチワイヤーソーによるシリコンインゴットの切断原理は、鋼線をシリコンインゴットに接触させて移動させ、この接触面に SiC 砥粒を供給して切断していくものであり、多数の基板を一度に切断できること、切断表面の加工層が薄いなどの特徴がある。

(e) セル製造方法

インゴット切断時の機械的衝撃によってダメージを受けている表面（10～20 μm 程度）を除去するために、イソプロピルアルコールと KOH の混合溶液による化学エッチング処理を行う。この際、シリコンの結晶方位によるエッチング速度の差を利用してウェハ表面にピラミッド構造の凸凹（テクスチャ）を形成し、光閉じ込め効果を得ることができる。次に、POCl₃ を拡散源としたガス拡散法によって、n 型不純物であるリン（P）をウェハ中に拡散させて（850 ℃、30 分）p-n 接合を形成し、Ti(OCH(CH₃)₂)₄ と蒸留水を原料とした常圧 CVD によって受光側表面に TiO₂ の反射防止膜を堆積させる。その後、再び KOH 水溶液を用いた化学エッチングによって受光面側以外の n 層を除去する。裏面および受光面電極の形成には、生産性や材料収率に優れたスクリーン印刷法を想定した。裏面は Ag ペーストおよび Al ペーストをスクリーン印刷・乾燥（200 ℃、1 分）・焼成（750 ℃、1 分）して形成する。なお、この際に Al を基板内に拡散し電極付近を p⁺層を形成することにより BSF（Back Surface Field）効果を得ることができる。

一方、表面には Ag ペーストを用いたスクリーン印刷によって電極を形成後、ソーラーシミュレータによってセル特性を検査し、検査に合格したセルが次のモジュール組立工程へ送られる。



(出所) シャープ(株)資料

2) 薄膜シリコン系太陽電池セル

(a) アモルファスシリコン型

結晶ではなく、水素化アモルファスシリコンなどの非晶質材料を使用している。アモルファスシリコンは、直接遷移型の半導体であるために光吸収係数が大きく、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下の薄膜化や大面積化が可能であり、従来の数百 μm 厚の結晶シリコンウェハに替わる低コスト太陽電池材料として開発および製品化が進んでいる。異種原子との合金化も容易であり、近赤外光感度が高いアモルファスシリコンゲルマニウム (SiGe) を組み合わせた積層型構造を採用することにより、特性がさらに改善されている。

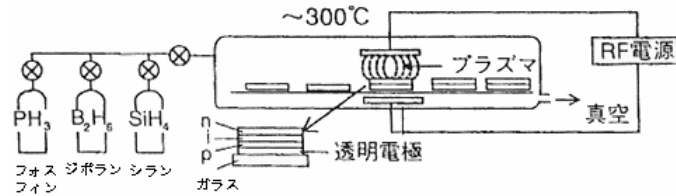
アモルファスシリコン薄膜の製膜方法は、プラズマ CVD (Chemical Vapor Deposition) 装置の真空チャンバーに各種の半導体ガス (p 層の製膜はモノシランガスとジボランガス、i 層の製膜はモノシランガス、n 層の製膜はモノシランガスとホスフィンガス) を必要な混合比にガス流量計 (マスフローメーター) で制御して導入する。排気装置 (油回転ポンプ、メカニカルブースターポンプ、ターボ分子ポンプ等で構成) で適当な圧力に調整する。真空チャンバー内に置かれた平行平板の電極に高周波 (RF) 電力を印加し、プラズマを生成し原料ガスを分解、電離、加速等の気相変化を起こさせる。電極間距離や形状、また印加する RF 電力により分解、電離、加速等の条件は大きく変わる。生成される反応物は、温度制御され、過熱された基盤上に到達し、表面反応が起こり製膜される。

製膜された各層の膜の膜厚を膜厚計で、結晶性をエックス線解析装置で、取り込まれている酸素や窒素等の不純物濃度を質量分析装置で、含有されている水素の濃度を赤外吸収測定装置等で調べる。製膜圧力、印加電力、基盤温度、製膜速度等によりアモルファスシリコン薄膜の電気的、光学的性質が大きく変わる。これらの条件の最適値を選び出し、太陽電池として電気的、光学的に理想的な p 層、i 層、n 層を形成する。

製膜されたアモルファスシリコン薄膜太陽電池 (p 層, i 層, n 層) は、裏面電極のア

ルミニウムを真空蒸着し、ソーラーシミュレーター（擬似太陽光）の光を照射して、太陽電池としての特性（開放電圧、短絡電流、変換効率）を測定し、評価している。

図 2-4 アモルファスシリコン型太陽電池の製造プロセス

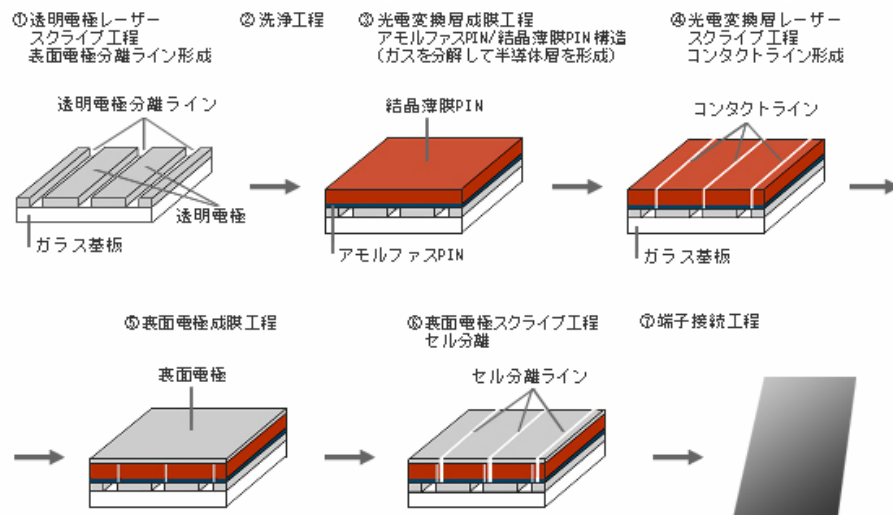


(出所) 太陽光発電協会 資料

(b) 薄膜結晶シリコン型

薄膜シリコン太陽電池は、ガラスなどの安価な支持基板上に結晶系シリコンの薄膜を形成している。バルク型の結晶シリコン太陽電池に対して半導体層の厚さが 1/10 ~ 1/100 と薄いため、使用するシリコン原料が少量でよい。大幅な低コスト化が期待できる次世代太陽電池として注目されている。

図 2-5 結晶シリコン薄膜型太陽電池セルの製造工程



(出所) シャープ(株)資料

3) 多接合型(ハイブリッド型、タンデム型)太陽電池セル

(a) アモルファスと単結晶

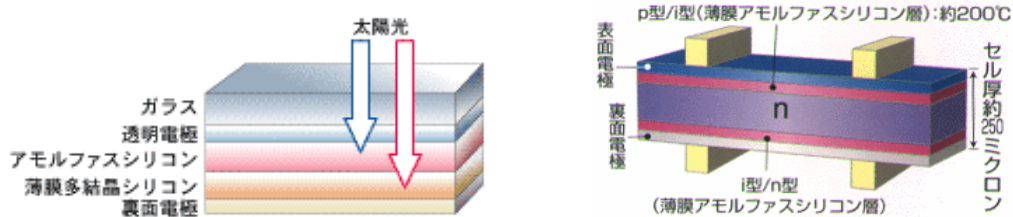
HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer) 太陽電池は、発電層に単結晶シリコンを用い、半導体の接合部分にアモルファスシリコン薄膜を用いて形成した構造となっている。そのため、太陽電池の重要な部分である接合部における界面特性が飛躍的に改善され、量産レベルでの太陽電池の変換効率が 19.7%、モジュール効率が 17.0%と業界トップレベルの性能を実現している。また、HIT 太陽電池は従来の結晶シリコン太陽電池と比べて温度特性が安定しており、夏場の高温時でも高い変換効率を維持し、発電量の低下が少ない。結晶系基板と、p 型及び n 型アモルファスシリコン層の間に不純物を添加させない i 型アモ

ルファスシリコン層を形成することで、界面特性の向上を図り、発電ロスを減らすことが可能になっている。

(b) アモルファスと薄膜多結晶

短波長（青色）に強い「アモルファスシリコン太陽電池」と長波長（赤色）に強い「薄膜多結晶シリコン太陽電池を重ねたハイブリッド構造も実用化されている。

図 2-6 ハイブリッド型太陽電池の構造



(出所) 左図: (株)カネカ 資料, 右図: 三洋電機(株) 資料

4) 化合物半導体系太陽電池セル

製造法や材料の種類が豊富であり、低コスト品から高性能品まで対応できるのが特徴である。また多結晶であるため、大面積化や量産化に向く。フレキシブルなものやカスタマイズ品も作りやすい。シリコン太陽電池が苦手とする分野から実用化が始まっているほか、禁制帯幅が材料次第で自由に変えられることから将来の多接合型太陽電池への応用も期待されている。日本でも量産化の取り組みが始まっている。

ただし、In (インジウム) と Ga (ガリウム) が希少な材料であり、Se (セレン) は有毒な材料であるという問題がある。

(a) III-V 族化合物半導体

GaAs を用いた太陽電池は耐放射線性に優れているため、宇宙用太陽電池として実用化されている。資源量や製造コストの問題で、大規模システムには不向きである。

(b) II-IV 族化合物半導体

CdTe-CdS を組み合わせてヘテロ接合した太陽電池は、低価格であるため工業化されている。CdTe 膜、CdS 膜を印刷法で形成するものであり、印刷されたペーストは、炉中で加熱されて焼結半導体層となるが、全体を通してベルトによる連続自動生産が可能である。ただし、有害なカドミウムを使用しているという欠点がある。

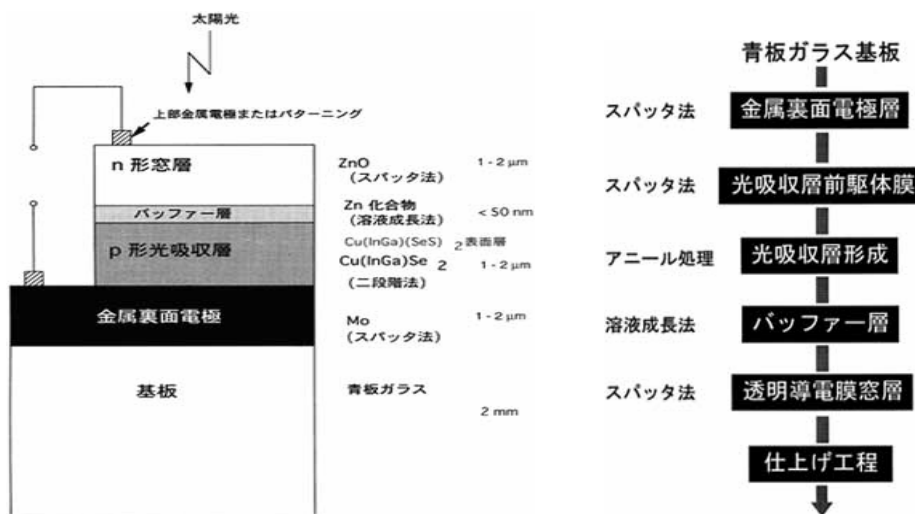
(c) カルコパイライト系化合物半導体

カルコパイライト系と呼ばれる I-III-VI 族化合物 (Cu, In, Se, Ga, S, Al, Zn, Ag, Sn など) を用いる。CuInSe₂ (CIS) や Cu(In, Ga)Se₂ (CIGS) が代表的な材料である。

CIS 太陽電池は、半導体および金属の積層構造薄膜層からなる。CIS 太陽電池の光吸収層 (銅、インジウム、セレン) は大きな光吸収係数をもつことから、数 μm 程度の薄膜で高効率な太陽電池になる。また、ガリウム、硫黄を加え、四元化合物、五元化合物と多元化することで太陽光スペクトルとの整合が最適になるように制御できる。CIS 太陽電池は、変換効率が高く、薄膜で作製でき、光劣化が無く、青板ガラス等安価な基板上に形成でき

るため、低コストで量産化が可能であり、次世代太陽電池として多いに期待されている。

図 2-7 CIS 系太陽電池の構造および製造プロセス



(出所) NEDO 技術開発機構 / 昭和シェル(株) 資料

5) 色素増感型(湿式)

酸化チタン (TiO₂)、増感色素、ヨウ素系酸化還元種 (I⁻ / I₃⁻) を含む電解液などの廉価な材料で構成される色素増感太陽電池は、真空プロセスを使用しないことから、次世代太陽電池の有力な候補として期待されている。最近、新規色素や電解液の固体化など、色素増感太陽電池の実用化を目指した研究が数多く行われている。