

# 1

# 太陽電池とは どんなもの？

光のエネルギーを  
電力に変える半導体素子

太陽から地球上に1時間に降り注ぐ光のエネルギーは、人類が消費しているエネルギー1年分にも相当します。実際に発電に利用できそうな量だけでも、人類全体のエネルギー消費量の数十倍に達します。この太陽光のエネルギーは地面や屋根にあたると吸収され、熱に変換されて大気中に逃げていきます。そのせつかくのエネルギーをつかまえて、電力に変えるのが太陽電池です。光から電力への変換には、半導体の性質を応用しています(このしくみは2章で解説しています)。この変換は直接的に行われ、途中で熱エネルギーや運動エネルギーに変換しません。太陽電池を用いた発電を、太陽光発電と呼びます(太陽の熱を利用して発電機を回す、太陽熱発電とは異なります)。

太陽光発電は世界のエネルギー需要をまかなえる大きな可能性を持っています。発電量当たりの二酸化炭素の排出量が少なく、製造時に必要なエネルギーも2年程度で回収されます。発電用の燃料が要ら

ず、エネルギーの自給率を向上させます。冷却水も要りません。保守の手間が少なく、振動も発生しません。このため建物の屋根や市街地、砂漠や宇宙まで、光さえ当たるならばどこでも設置できます。出力は天候などによって変動しますが、上手に使えば火力発電の燃料を節約でき、国の経済や環境保護に貢献します。このように太陽電池は、もともと未利用だった太陽光エネルギーを電気エネルギーに変換して利用することで、環境保護だけでなく、私たちの暮らしを豊かにする様々な利益を生み出します。

太陽電池は開発当初は非常に高価で、用途は宇宙開発などに限られました。家一軒分の太陽電池の値段が、今の貨幣価値にして数億〜十数億円もしたのです。しかし半世紀以上にわたる努力により、条件次第では火力発電と競うほど安くなってきました。そしてエネルギー・環境問題への対策が世界的に求められている今、普及期を迎えようとしています。

## 地球に降り注ぐ太陽エネルギー



太陽

総放射エネルギー:  $3.8 \times 10^{26} \text{W}$   
残り寿命約50億年(事実上無尽蔵)

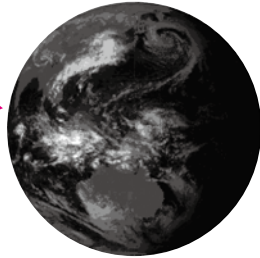


写真: 気象庁

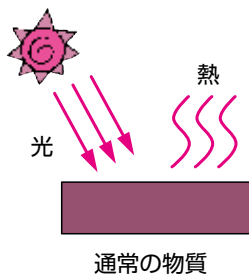
地球の大気圏に到達するエネルギー:  
約  $1.8 \times 10^{17} \text{W} = 180,000 \text{TW}$  (テラワット)

人類が消費する全エネルギー:  
約  $16 \text{TW}$  (2007年)

実際に人類が地上で収集可能な太陽エネルギー:  
約  $1 \times 10^{15} \text{W} = 1,000 \text{TW}$  (世界のエネルギー需要量の数十倍)

## 光のエネルギーを有効利用する太陽電池

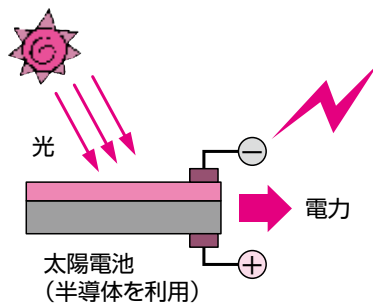
### 普通の場合



通常の場合

太陽光のエネルギーが熱に変わる

### 太陽電池の場合



太陽電池 (半導体を利用)

電力に変わる

太陽電池は、太陽エネルギーを即時に電力に変換する

### 用語解説

**電力**: 電気的なエネルギー。電流による単位時間あたりの仕事のこと、単位はワット(W)。  
**エネルギー**: 運動エネルギー、位置エネルギーなど、物理的な仕事ができる諸量のこと。熱、光、電磁気などもエネルギーの1つの形態。

### 要点BOX

- 光のエネルギーを電気エネルギーに変える
- 太陽光エネルギーには大きな可能性がある

「太陽電池」  
登場前夜

前身は光センサー

光を照射すると電気(電力)が発生する現象(光起電力効果)は、1839年にベクレルによって初めて報告されました。彼は電解液中の銀電極に光を照射して電流が発生することを見つけました。1877年にはセレンに光を照射した時に電力が発生する現象が詳しく研究され、これらを下地としたセレン・亜酸化銅を使った光センサーとして実用化されました。しかし変換効率はわずか1%ほどで、大きな電力は得られませんでした。このため19世紀当時の太陽エネルギーの研究は、もっぱら太陽熱で蒸気機関を動かしたり、温水を得たりすることに注力していました。

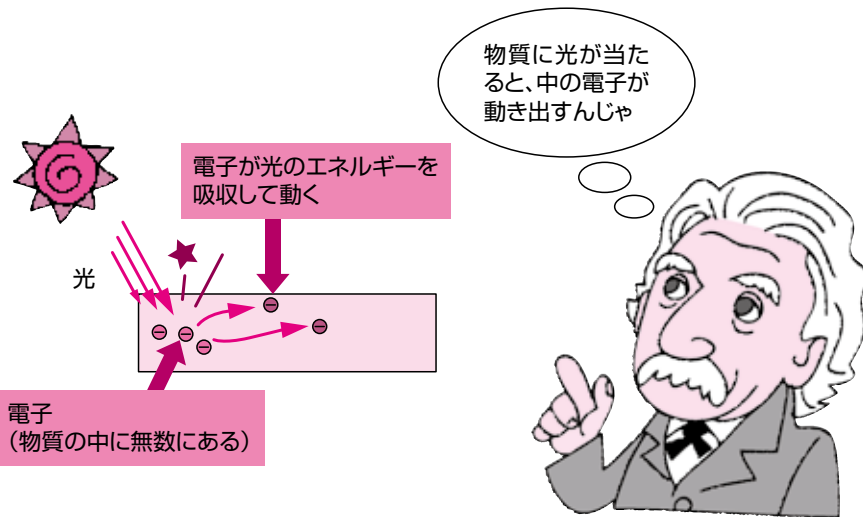
セレンを用いた光センサーはカメラの照度計などに広く応用され、比較的最近まで使われました。しかし20世紀の初めまで、その動作原理は長らく不明でした。電気が発生するということは、物質を構成する電子が動くということですが、19世紀までの物理学では、なぜ光が当たると電子が動き出すのか、うまく説明

できませんでした。そのため、技術開発もなかなか進みませんでした。しかし1905年にアインシュタインが提唱した「光量子仮説」により、光と電子の相互作用が初めて数式で記述できるようになりました。同時に、原子レベルでの物質の振る舞いの理解も大いに進みました。現在様々な電子機器で使われている半導体の理論的な基礎ができたのも、この頃です。初期の半導体素子ではセレンやゲルマニウムが用いられましたが、現在最も広く用いられているシリコン(ケイ素、元素記号はSi)の半導体素子の方が高性能です。シリコンは砂漠の砂の主成分でもある珪砂から製造でき、事実上無限に使えます。シリコンで特性の安定した半導体素子を作製するためにはいくつかのハードルがありました。高純度の単結晶の製造法(CZ法)の発明(1918年)、ゲルマニウム接合型トランジスタの発明(1948年)などを経て、実用的な太陽電池の開発に必要な技術が徐々に蓄積されていきました。

セレン光センサーを用いた  
フィルム式カメラ(Canon Demi)

右上の格子状の部分  
が露出計  
(写真: Canon Camera Museum)

## アインシュタインによる光電効果の理論付け(光量子仮説)



## 用語解説

**CZ法**: チョクラスキー法の略。高純度な原料の製造方法。

**トランジスタ**: 電流を増幅する作用を持つ基本的な半導体素子。

**光量子仮説**: 光が波であると同時に、波長に応じたエネルギーと運動量を持った粒子のように振る舞うという仮説。アインシュタインが1905年に発表し、後のノーベル賞受賞の理由となった。

要点  
BOX

- 約1世紀前に初めて理論付け
- 光が物質に当たると、電子が動き出す

## 3 「太陽電池」の誕生

今の社会を支える、  
60年前の技術たち

1954年、空から無料で降り注ぐ無尽蔵の太陽エネルギーから電力を得たいという人類の夢がかなったことが発表されました。米国ベル研究所のピアソン、フラー、シャピンにより、世界で初めて実用的な性能を持つ太陽電池が開発されたのです。それまでにゲルマニウム製のトランジスタの実用化が始まっていましたが、現在広く使われているシリコンは様々な電気的特性に優れ、資源量も豊富です。彼らはシリコン結晶の表面に薄く広く不純物を添加(ドーピング)する技術を開発し、太陽電池の心臓部となる、安定で大きな面積を持つpn接合(2章で解説しています)の作製に成功しました。これによって従来より遙かに高い変換効率を持つ受光素子が実現し、Bell Solar Battery(ベル研の太陽電池)と呼ばれました。最初の変換効率は約6%で、その後まもなく10%前後まで性能が上がりました。この発表は新聞などで「砂の成分(シリコン)から電池ができた。太陽の無限のパワーを取

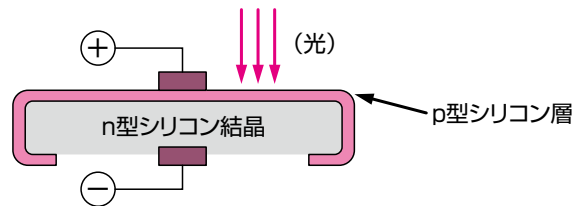
り出すものだ」と報道され、無尽蔵の太陽エネルギーの新たな利用の道を開いたことに注目が集まりました。その後の太陽電池開発は、結晶シリコンを主流として進められました。

太陽電池の作製に使われたシリコン表面からのドーピング技術は、その後の様々な集積回路(ICやLSI)の製造に應用されています。また太陽電池は光を電力に変える半導体素子ですが、逆に電力を光に変える半導体素子である発光ダイオード(LED)も、同時期の1955年に初の実用的な素子が開発されています。半導体では発光と受光の技術は表裏一体の関係にあり、以後これらの技術は相互に影響し合いながら発展し、半導体レーザやカメラ用撮像素子など、その後の様々な光半導体技術の基礎となりました。部屋を照らし、映像を取り込み、光ケーブルを通じて世界を繋ぎ、私たちの生活を支えるたくさんの方々の技術のルーツを、この時代に求めることができます。

## 太陽電池創生期の年表

1839年	電解液に浸した2電極間で光起電力が確認される
1876年	固体(セレン)で光起電力が確認される
1891年	世界初の太陽熱温水器が発売される
1905年	アインシュタインの光量子仮説の発表
1918年	単結晶シリコンの製法(CZ法)が開発される
1941年	シリコンのpn接合で光起電力が確認される
1947年	世界初のトランジスタ(点接触トランジスタ)の実現
1954年	米国ベル研究所、効率6%の”Solar Battery”を発表
1958年	太陽電池が初めて人工衛星に搭載される(ハンガード1号)

## 最初期の太陽電池の構造例



## 最初の「太陽電池」を発明した(左から順に)ピアソン、チャピン、フラー



机の上の小さな黒い太陽電池に白熱球の光を当てて、出力を右の測定器で確認しているところ

(写真：AT&T Archives and History Center)

## 用語解説

**半導体**：電気を通す導体と、通さない絶縁体の中間の材料全般をいう。光や熱、電流などの刺激によって電子の動きを様々に変えることができる。

**ドーピング**：半導体の性質を変えるために、わざと微量の不純物を添加すること。(2章参照)

**pn接合**：プラスの電荷を持つ正孔が電気伝導を主に担うp型半導体と、マイナスの電荷を持つ電子が電気伝導を主に担うn型半導体の接触面のこと。

## 要点BOX

- 1950年代の米国ベル研究所の研究で生まれた
- その後の集積回路や様々な光センサの基礎に