

パワー半導体とは

○ パワー半導体は脱炭素化の切り札のひとつ

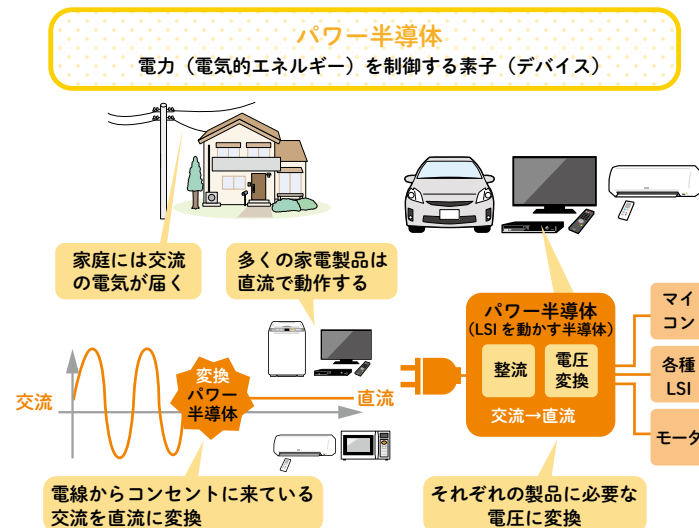
近年、気候変動対策として二酸化炭素 (CO₂) を排出しないエネルギー利用 (脱炭素化) が注目されるなか、「パワー半導体」という用語がニュースなどで取り上げられるようになりました。

「パワー半導体」とは何でしょうか。まず、「パワー」は「電力」のことを指します。そして「半導体」は、電気を通す「導体」と、電気を通さない「絶縁体」の中間の性質をもつ物質のことです。半導体には、電気を流したり流さなかったりする切り替え (スイッチ) の機能をもたせることができます。つまりパワー半導体は、**電力を制御できる素子 (デバイス)** のことなのです。

私たちは普段、電気を使うために、コンセントにプラグを差し、スイッチを入れて電化製品などを動作させています。この電気は、家庭に届くまでに大きく3つのステップがあります。1つめは発電です。電気はまず発電所でつくられます。2つめは送電・変電です。つくられた電気は、家庭などに届ける必要があります。発電されたばかりの電気は、数十万Vという超高電圧で送電され、途中の変電所で電圧を下げ、用途に合った電圧で供給されます。そして、3つめは電力変換です。家庭には主に交流100Vの電気が供給されます。その電気を電化製品に必要な電圧に変換して使います。

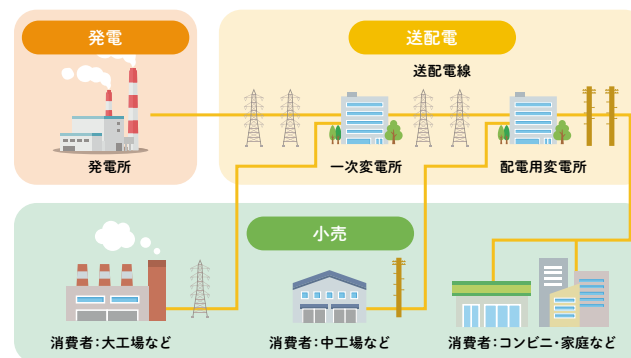
このように**発電から電気利用までの間に、数多くの電力変換が行われています**。これを行うのがパワー半導体です。電力変換が行われると、電気の20~30%が失われます。そのため、**変換効率の高いパワー半導体の開発**が、脱炭素化の切り札のひとつとなるのです。

▶ 電力を制御するパワー半導体



出典：サンケン電気株式会社「パワー半導体とは？」を参考に作成

▶ 電気が家庭に届くまで



出典：資源エネルギー庁「電力供給の仕組み」をもとに作成

まとめ

- パワー半導体とは電力を制御・変換するための半導体
- 高効率なパワー半導体は脱炭素化の切り札のひとつ

電力の制御方法や材料などで分類されるパワー半導体

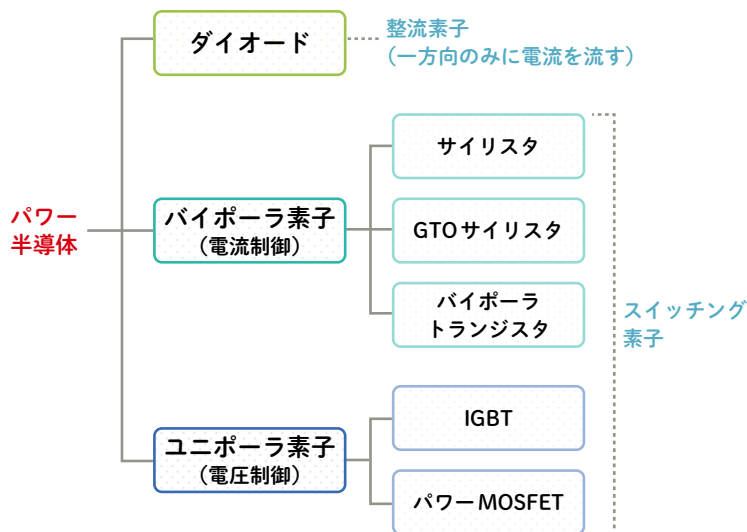
電力の制御方法で3種類、材料で2種類に大きく分類

パワー半導体には、さまざまな種類のデバイスがあります。パワー半導体は電力を制御するデバイス（P.8参照）ですが、この**電力の制御方法によって分類**できます。1つめは、パワー半導体そのものにかかる電圧の向き（プラスまたはマイナス）によってオン・オフを行うデバイスです。代表的なものが「ダイオード」（P.28参照）です。2つめは、電流を制御信号として利用し、オン・オフを行うデバイスです。代表的なものに「バイポーラトランジスタ」（P.44参照）や「サイリスタ」「GTOサイリスタ」があります。3つめは、電圧を制御信号として利用し、オン・オフを行うデバイスです。代表的なものに「^{モスフエット}パワーMOSFET」（P.46参照）や「IGBT」（P.48参照）があります。

また、**使用する半導体材料によって分類**することもできます。一般的な半導体材料はSi（シリコン）です。半導体と呼ばれるものの多くは、Siを使ってつくられています。一方、「化合物半導体」と呼ばれる材料もあります。Siは単一元素の半導体材料ですが、化合物半導体はその名のとおり、複数元素を材料にしている半導体です。パワー半導体では「SiC（シリコンカーバイド）」や「GaN（窒化ガリウム）」が利用されています。SiCはSiとC（炭素）で、GaNはGa（ガリウム）とN（窒素）で構成される化合物半導体材料です。これらの材料を利用することで、Siより**低損失で高耐圧な半導体**をつくることができます（詳細はPart5参照）。

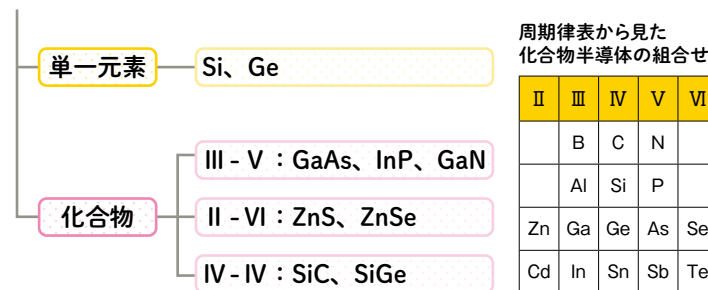
そのほか、用途でも分類できます。電力や交通、通信といったものから、自動車向けや家電向けなど、幅広い用途があります。

電力の制御方法によるパワー半導体の分類



材料によるパワー半導体の分類

半導体



周期律表から見た化合物半導体の組合せ

	II	III	IV	V	VI
		B	C	N	
		Al	Si	P	
Zn	Ga	Ge	As	Se	
Cd	In	Sn	Sb	Te	

まとめ

- 電力の制御方法によって3種類に分類される
- 材料ではSiと化合物半導体に分類される

電気を使えるようにする 電力インフラのパワー半導体

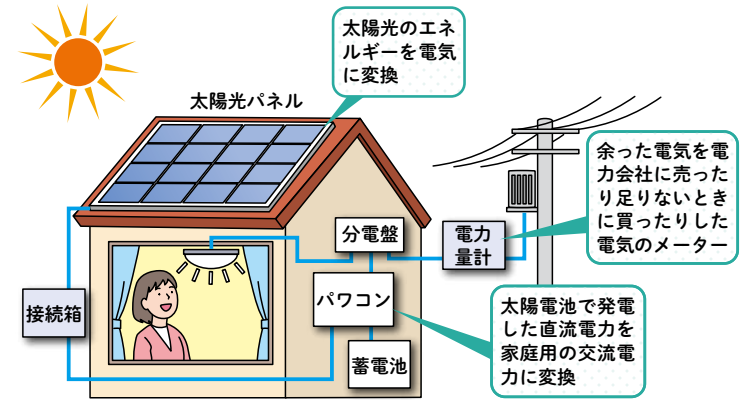
◎ 発電した電気を電力変換により使えるようにする

パワー半導体の用途としてまず挙げられるのが、「電力インフラ」です。電力インフラとは、電気をつくる発電所から送電線を通り、変電所や配電線を経由して、工場や家庭に至るまでの電力供給に必要な設備の総称です。発電方式は、水力発電や原子力発電、特に日本では火力発電の割合が高いですが、太陽光や風力などの再生可能エネルギー（再エネ）を使った発電も普及しています。

太陽光発電で発電できる電気は直流です。太陽光発電では、太陽から得られる光エネルギーは日射量によって左右され、発電量は安定しません。晴れの日と雨の日では発電量が大きく異なります。そのため発電した電気は、**昇圧用の回路で一定の電圧に安定化**されます。その後、インバータ回路で交流に変換され、家庭内で使用されたり、余った電気は電力会社に売却されたりします。住宅用の太陽光発電システムでは、**パワーコンディショナー（パワコン）と呼ばれる装置内で電力変換**が行われています。

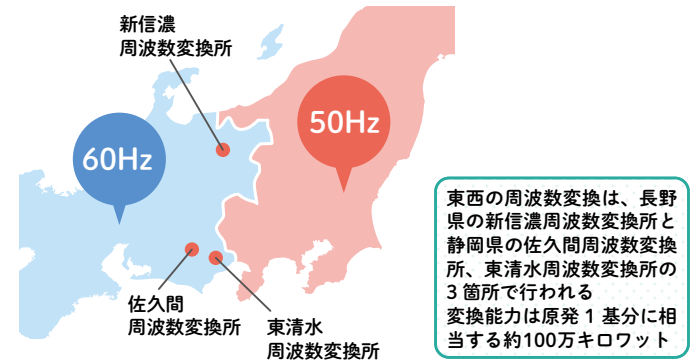
ほかにも、Part2のコラム（P.36参照）で紹介したように、日本では東日本と西日本で使う電気の周波数が異なります。しかし、東日本と西日本の間で電気のやり取りをする場合もあるため、**国内には3か所の周波数変換所**があります。こうした設備があることで、たとえば西日本の太陽光で発電した電気を東日本で使うことが可能になります。実際に2011年の東日本大震災では、発電所などが大きな被害を受けたため、関東地方や東北地方は電力不足に陥りました。こうした災害時にも電気のやり取りが行われています。

◎ 発電した電気の電力変換を行うパワー半導体



出典：一般社団法人 太陽光発電協会（JPEA）「住宅用太陽光発電システムとは」を参考に作成

◎ 日本に3か所ある周波数変換所



- まとめ
- 発電した電気を家庭で使えるようにするパワー半導体
 - 東日本と西日本との間で周波数を変換して電気を融通

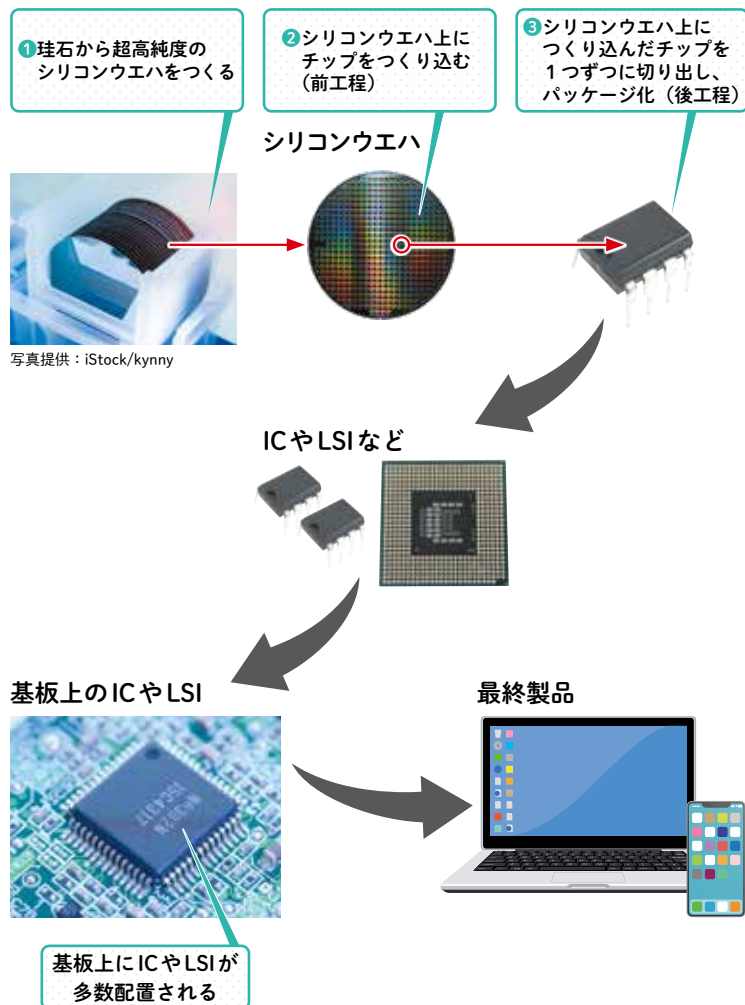
半導体をつくるための 3つの工程

シリコンウエハをつくり、その上にチップをつくる

半導体製造の全体像をイメージしやすくするため、まずは完成した製品から逆に追って見ていきましょう。たとえば、私たちが普段使っているパソコンやスマートフォンの内部を開けてみると、黒色や緑色をした電子基板の上に、抵抗やキャパシタなどの電子部品とともに多くの半導体（主にIC）が搭載されています。これらの半導体は、外部からの汚染や衝撃から保護するための**黒いパッケージに覆われており**、このパッケージ内に半導体のチップが入っています。半導体のチップは主に、シリコンウエハ上につくります。シリコンウエハ上には、同じチップが数百から数千もつくり込まれます。半導体のチップがつくり込まれる**シリコンウエハが大元の材料**ということです。

半導体の材料まで戻ることができたので、半導体ができるまでの工程を大きく3つに分解してみましょう。最初は**1**シリコンウエハをつくる工程です。シリコンウエハの原材料は珪石^{けい}という石です。身近なところでは河原に転がっている白い石が珪石です。意外と身近にあるのですが、シリコンウエハに使うものは純度の高い海外製の珪石です。つまり、珪石から超高純度のシリコンウエハをつくる工程といえます。次が**2**シリコンウエハ上にチップをつくり込む工程です。これを**前工程**と呼びます。半導体製造のメインとなる工程で、クリーンルームと呼ばれる特別な工場内で行われます。最後が**3**シリコンウエハ上につくり込んだチップを1つずつに切り出し、パッケージ化する工程です。**後工程**と呼びます。パッケージ化されたICが電子基板上に接続され、スマートフォンなどの製品に組み込まれます。

半導体製造の流れ



まとめ

- まず半導体の材料となるシリコンウエハをつくる
- 前工程と後工程を経てICが完成する

パワー半導体の市場規模

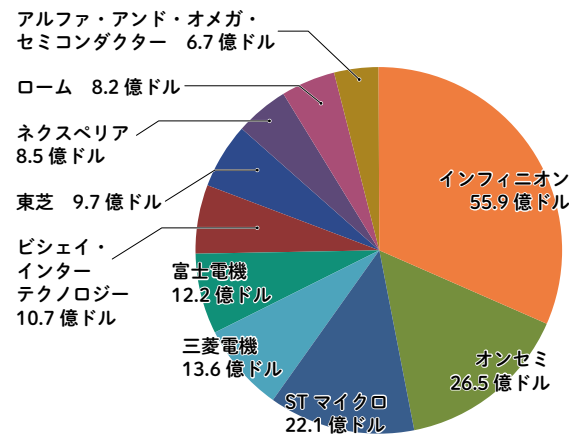
世界で約261億ドルの市場規模を誇る

パワー半導体の市場規模は、英国の調査会社オムディアによると、2022年のデータで**約261億ドル**とされています。P.76のWSTSのディスクリート分野の数値と異なるのは、ディスクリート分野にはパワー半導体に分類されない小信号用ダイオードやトランジスタが含まれていることと、調査母体が異なることです。

売上高の世界シェアの上位を見ると、トップはドイツのインフィニオンテクノロジーです。同社のシェアは約21%で、第2位以下に大差を付けている圧倒的なトップ企業です。第2位は米国のオン・セミコンダクターで、シェアは約10%、第3位はスイスのSTマイクロエレクトロニクスで、シェアは約8%です。

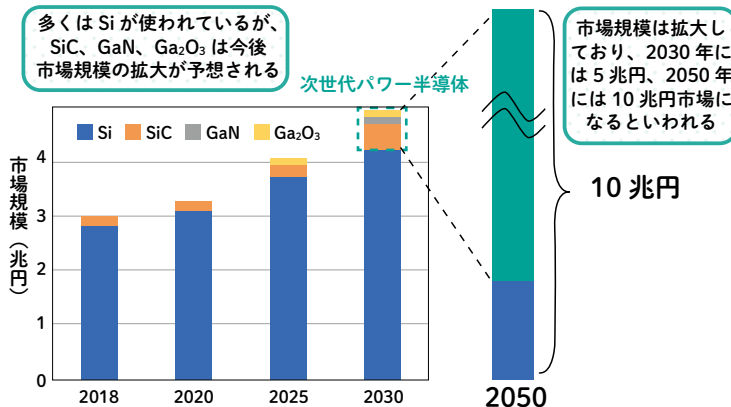
トップ3は欧米企業に占められていますが、第4位以下では日本の三菱電機、富士電機、東芝、ロームの4社がトップ10内にランクインしています。ルネサスエレクトロニクスも2021年のランキングではトップ10に入っていましたが、2022年のランキングからは漏れています。日本企業は複数社がトップ10入りをしています。上位3社と比較すると、**規模の点で見劣り**をしています。特にSiパワー半導体では、ウエハの大口径化が進んでおり、12インチ（300mm）ウエハを使った**設備投資の競争下**にあります。こうしたなか、上位企業を追いかけ、競争力を確保し続けられるかが課題といえます。上場廃止となった東芝に出資しているロームや、国内企業の再編を促したい経済産業省の戦略（Part8参照）によって今後、国内企業の勢力図が変わるかが注目されます。

▶ パワー半導体のシェア (2022年)



出典：英調査会社オムディア
出所：日本放送協会（NHK）「日本のパワー半導体、欧米、中国にどう立ち向かう？」をもとに作成

▶ パワー半導体の世界市場



出典：NEDO「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト」
出所：経済産業省「資料3『次世代デジタルインフラの構築』プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画（案）の概要」（2021年10月）をもとに作成

まとめ

- 市場シェアのトップ3は欧米企業が占める
- トップ10には国内企業も複数あるが規模で劣る

カーボンニュートラルの実現に貢献するパワー半導体

カーボンニュートラル実現に向けた陰の主役

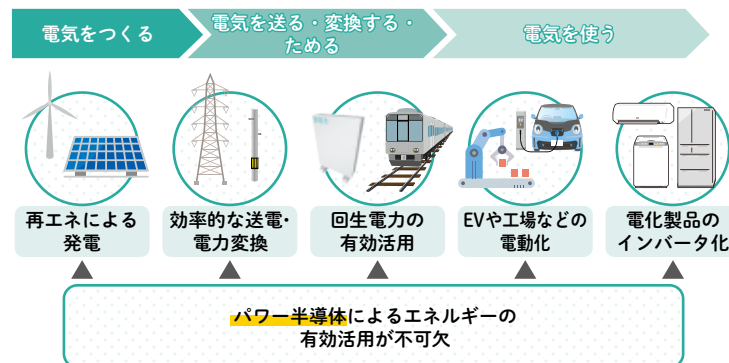
近年、気候変動問題への対応は避けて通れない状況下にあります。特に世界的な潮流として温室効果ガスへの対策が急務です。主要な温室効果ガスである二酸化炭素 (CO₂) の排出量から、森林などによる吸収量を差し引き、実質的に排出量をゼロにする**カーボンニュートラル** (直訳で「炭素中立」) 実現のための取り組みが必要です。

EUではカーボンニュートラル実現に向け、2026年から「**炭素国境調整措置 (国境炭素税)**」の導入が決定しています。日本では2020年10月の所信表明演説において、当時の菅総理大臣が2050年までにカーボンニュートラル実現を目指すことを宣言しています。

カーボンニュートラル実現に向けた具体的な取り組みとしては、再生可能エネルギー (再エネ) や省エネ技術の導入、電気自動車 (EV) など**CO₂排出ゼロの自動車の普及**、エネルギーの効率利用といったことが挙げられます。こうした取り組みを進めるためのキーデバイスとしてパワー半導体が重要になります。

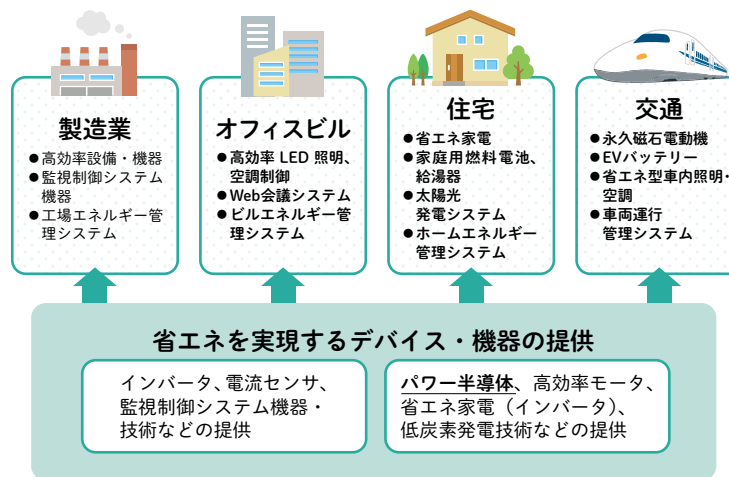
これまでにみてきたように、太陽光や風力などの再エネによる発電や電力変換、送電などの電力インフラ、自動車の電動化、電化製品のインバータ化による省エネといった**多くの場面でパワー半導体**が貢献しています。加えて、SiCやGaN、さらには次世代パワー半導体が実用化されることで、これまで以上にエネルギー損失を減らし、エネルギーの有効活用が進みます。多くの人の目に触れるものではありませんが、パワー半導体はカーボンニュートラルの実現に向けた陰の主役といえるでしょう。

さまざまな場面で活用されるパワー半導体



出典：三菱電機株式会社「#07 SDGsへの取組事例 パワー半導体デバイス」を参考に作成

省エネ・脱炭素化を実現する技術としてパワー半導体が貢献



出典：一般社団法人 電子情報技術産業協会「電機・電子業界の温暖化対策」を参考に作成

まとめ

- 日本は2050年までにカーボンニュートラル実現を目指す
- 再生エネによる発電や省エネなどにパワー半導体が活躍