

## REC Alpha シリーズ： 革新的な発電効率の実現と持続可能なエネルギー社会への大きな貢献

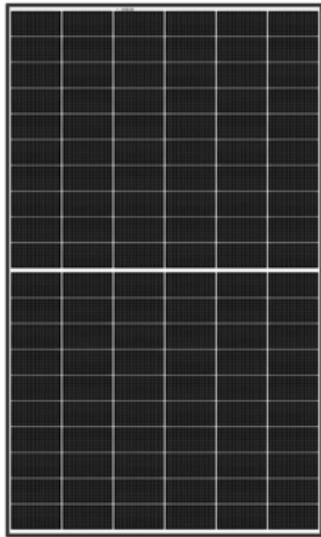
世界最大レベルの出力を誇る REC Alpha シリーズが 2019 年 5 月に発表され、太陽電池モジュール製造業界に大きな影響を与えています。REC Alpha シリーズは同じ設置面積の従来の太陽電池モジュールと比べて 20% 以上高い出力が可能であり、現在実用化されている製品を出力レベルで大きく引き離していますが、最大出力は Alpha シリーズが提供する数多くの利点の 1 つに過ぎません

### REC Alpha シリーズとは

REC Alpha シリーズは、長年の開発プロジェクトから生まれ、REC の長年に渡る n 型単結晶シリコンセルとハーフカット技術の経験、およびヘテロ接合セル技術 (HJT) の徹底的なプロセス知識の構築に基づいています。実際、REC Alpha シリーズは、新しい太陽電池モジュール技術の開発がこのような革新的な成果をもたらし、太陽光発電への投資収益率を拡大させた全く初めての事例です。

REC Alpha シリーズ (図 1) では、ヘテロ接合セルおよび高度の低温セル接続技術を REC の画期的なツインモジュール設計に採用しています。

図 1: HJT セルおよび高度のセル接続技術を採用した REC Alpha シリーズ



### REC Alpha シリーズはどこが違うのか

Alpha シリーズはすでに E.U. とシンガポールで意匠特許を取得しており、最先端で独創的なモジュール設計としての地位が認められています。変換効率の高いヘテロ接合セル、ハンダ付けプロセスを使用しない高度なセル接続技術、ハーフカットセルの高い発電効率、および高い性能を実現するツインモジュール設計の利点を組み合わせた初めての太陽電池モジュールです。すなわち、REC の 60 セルモジュールの電力密度は世界最高レベルであり、従来の太陽電池モジュールと比べて 20% 以上高い出力 (最大 217 W/m<sup>2</sup> の電力密度) が可能です。これは、住宅や屋根上の設置面積が狭い商業施設など、限られた設置空間では大きな魅力になります。

図 2: REC Alpha を住宅の屋根上に設置した場合の従来の 60 セルモジュールとの出力の比較

	P型多結晶	P型単結晶	REC Alpha シリーズ
	16x290 Wp	16X310Wp	16X380Wp
	4.6kW	4.9kW	6.1kW
	REC Alpha シリーズよりも出力が28%低減	REC ALPHA シリーズよりも出力が22%低減	同じ面積で20%以上も出力が向上

### ヘテロ接合技術とは

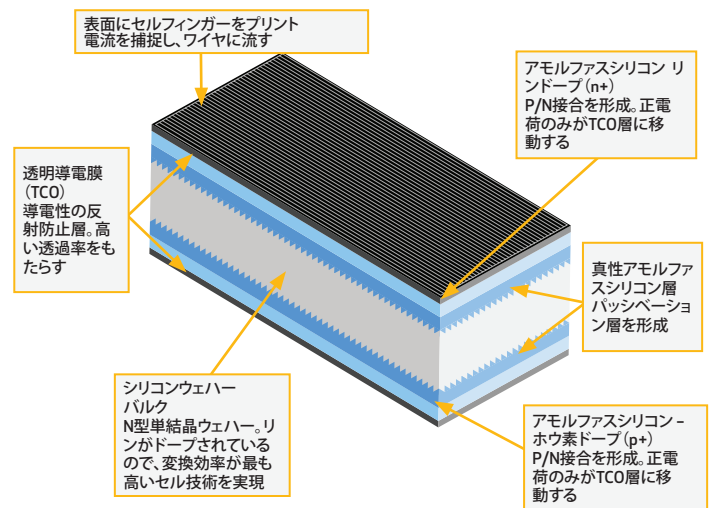
ヘテロ接合技術により、結晶シリコンセルの利点と薄膜技術の利点を 1 つのセル構造に融合します。これにより、25% を上回るセル変換効率も今や実現可能です。

従来の結晶ソーラーセルでは単一材のシリコンを使用していたのに対し、HJT セルでは結晶シリコンとアモルファスシリコンの 2 つの異種材料の間に接合層が形成され、この接合をヘテロ接合と呼びます。この結果、従来のセルと比べて、性能面で多くの利点をもたらします。

### HJT 技術の利点とは

太陽電池モジュールの出力および変換効率を向上させる上で、HJT セルの構造が重要な役割を果たします。真性アモルファスシリコン層がシリコンウェハの最適なパッシベーションをもたらし、セル電圧を大幅に向上させることができます。アモルファスシリコン層により、コンタクト層が「キャリア選択性」となり、一方の種類のキャリアのみを通過させ、コンタクト (電子 (負電荷) または正孔 (正電荷)) に到達できるようにすることで、キャリア再結合を大幅に軽減させ、セルの変換効率と出力の向上を実現します。

図 3: REC Alpha のセル構造図



表裏対称構造の HJT セルは事実上両面受光型セルとなり、他のセル構造タイプの中で最高の両面受光性能を提供します。他の構造の場合、いずれかの層に光が吸収されたり、抵抗損が発生したりすることで両面受光性能が低下します。両面受光型の構造の HJT セル技術は両面受光型の太陽電池モジュールに最適ですが、端面受光型の太陽電池モジュールでも、両面受光特性を活かして、セル裏面から光を受けることで、エネルギー収量を上げることができます。

### 低温製造

従来の太陽電池セルでは、拡散工程により、ドーパされた薄膜をウェハに成膜させて、p-n 接合を形成します。この工程は広く使用され、確立された製造方法ですが、大量のエネルギーを消費する高い温度を要し、ウェハの洗浄にさらに湿式化学工程が必要になります。REC の HJT セルでは、真性アモルファスシリコンとドーパされたアモルファスシリコンの層が低温で結晶シリコン基板上に堆積されるため、その後の処理は一切不要であり、製造工程によるセルへの影響を減らすことができ、ビルド品質が向上します。

## ゼロ LID

光誘起劣化 (LID: Light Induced Degradation) は多くの結晶セル技術に見られ、最初に太陽光を受光した際に太陽電池モジュールが回復不能なレベルまで電力を損失する現象です。これは、ウェハー内のホウ素と酸素の結合によって発生します。REC Alpha シリーズでは、ホウ素を含まない n 型単結晶ウェハー技術を採用することで、セルが LID の影響を受けることはありません。つまり、REC Alpha では設置直後から長く続く電力損失は全く見られず、購入時のままの電力レベルを保つことができます。

## マイクロクラックに対する HJT による高い抵抗力

太陽電池モジュールは、その耐用寿命の中でさまざまな環境ストレスに耐えることが求められます。積雪、風、毎日の気温変動はすべて、太陽電池モジュールには負担になります。このような条件下において、従来の太陽電池モジュールの脆いセルでは、マイクロクラックが発生する可能性があり、全体的な性能の低下につながる恐れがあります。セントラルフロリダ大学 (UCF) が独自に実施した試験により、製造時にセルに及ぼす熱的ストレスや機械的ストレスを低減させることで、ビルド品質が向上し、こうした欠陥に対し高い抵抗を示すことが明らかになっています。<sup>1</sup>

## メタライゼーションと直接接触しない

従来のセルでは、セルのメタライゼーションがシリコンと直接接触します。この金属とシリコンの接触は、光の入射による電子と正孔の再結合トラップとなり、セルの変換効率を低下させます。これに対し、HJT セルでは、ドーパされたアモルファスシリコンの上に透明導電膜 (TCO) を蒸着させることで、コンタクトとシリコンが直接接触せず、再結合が低下します。

TCO 膜は導電性であるため、従来のセルに見られる銀ペーストを大量に使用する必要が減り、HJT セルの表面積が大きくなり、より多くの光を受光することができます。

## 優れた温度係数

REC Alpha は HJT セルを使用することで、温度定格が大幅に向上します。REC Alpha シリーズは優れた温度係数 (25°C から 1°C 上昇することの電力損失の割合) を誇り、高温下でも高い変換効率を維持します。

図 4: 標準的な太陽電池モジュールと REC Alpha モジュールの温度定格の比較

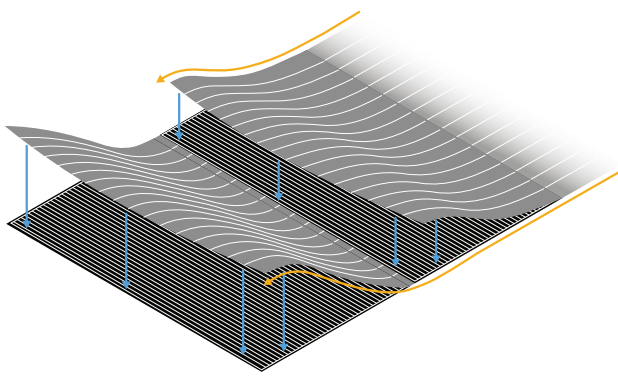
太陽電池モジュールの温度定格:	標準	Alpha
$P_{MAX}$ の温度係数:	-0.37%/°C	-0.26%/°C
$V_{OC}$ の温度係数:	-0.31%/°C	-0.24%/°C
$I_{SC}$ の温度係数:	0.05%/°C	0.04%/°C

## REC の高度なセル接続技術とは

REC Alpha シリーズは特別に開発されたホイルとワイヤの組み合わせにより、セルとメタライゼーションの間にコンタクトを形成します。この工程は、従来のセルに見られる高温でのハンダ付けの場合よりも侵襲性が低く、HJT セルの統合性が保護され、品質が向上します。

REC Alpha シリーズで使用されるワイヤは、100% 無鉛の特殊な低合金が被覆されているため、従来の太陽電池モジュールと比べて鉛含有量を 81% 減らすことができます。

図 5: 高度の低温接続による 2 つのハーフカットセルの接合



ワイヤとセルを接合するために、まずホイル上にワイヤが配置された後、ホイルがセルに配置されます (図 5)。ホイルは漏洩や機械的ストレスに対する保護層の役割を果たします。続いて、その後の製造段階でも位置がずれないようにするために、ホイルに少し熱が加えられます。太陽電池モジュールが積層温度に到達すると、外側のワイヤ層が融解し、セルに完全に接合されます。この結果、ワイヤは従来のセル接続で使用されているリボンの幅のわずか 1/4 となり、見た目も美しくなります。

## REC Alpha の高度の低温接続技術の利点とは

REC Alpha シリーズの高度なセル接続技術の主要な利点の 1 つとして、従来のセルを作製する場合よりも製造工程のステップの数がはるかに少なくなります。さらに、従来のセルでは 800°C 以上の温度が必要であったのに対し、Alpha のセルでは 200°C 以下と比較的低温で済みます。

## ビルド品質の向上

従来の太陽電池モジュールでは、非常に高温でセルのバスバーにリボンをハンダ付けする必要があるため、異素材の間に高い熱的ストレスが発生します。これに対し、高度なセル接続技術ではハンダ付けがないため、製造時にセルを極度に加熱する必要がありません。セルのハンダ付けが不要になることで、セルの製造時に生じるウィークポイントがはるかに少なくなるので、ホットスポットなどの不具合が発生する可能性が大幅に低下します。また、低温処理のため、素材間 (例えば、錫と鉛の合金とシリコンの間) の熱係数の差に起因する損傷のリスクも大幅に減少します。同様の侵襲的な方法のようにセルを加熱しないことで、セル構造の不具合が発生する可能性が大幅に低くなり、内部抵抗の増大および電力の低下を防ぐことができます。

実際に見てみると、ハーフカット技術を採用した従来のセルでは、リボンが 5 つの場合、リボン当たりのハンダ付け箇所が 5 箇所だけであっても、セル当たりでは 50 箇所のハンダ付けが必要となり、セル全体のハンダ付け箇所は 6000 箇所に及びます。

この結果、セルに一定の熱や圧力が加わることで、マイクロクラックが発生しやすくなります。これに対して、REC Alpha の高度なセル接続では、ワイヤがセル表面に直接接続され、セル上にバスバーを敷設する必要がなくなり、セル表面の被覆率が減少します。また、セルのハンダ付け工程が完全に不要となるため、セルのハンダ付け箇所はゼロ (0) になり、太陽電池モジュール全体のハンダ付け箇所をわずか 320 箇所に減らすことができます。

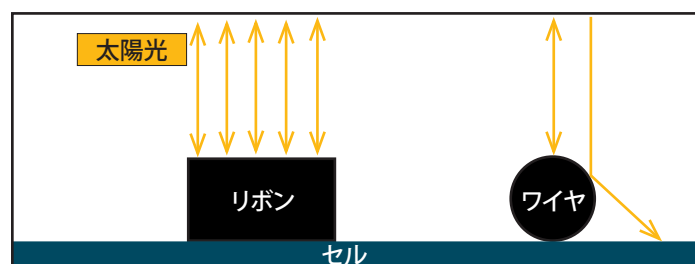
## 電流の増大と電力損失の低下

また、REC の高度な低温接続技術により、太陽電池モジュール内のオーミック (抵抗) 損失を減らすこともできます。損失が低下することで、電力が増大し、エネルギー収量が高くなります。試験により、ワイヤの本数を 16 本 (5 本のバスバー) に増やした場合に内部抵抗の低下とセルの被覆率の間のバランスが最適となり、最も高い発電量を実現することが明らかになっています。このため、Alpha ではセルとワイヤの接続箇所をセル当たり 800 箇所とし、太陽電池モジュール全体で 100,000 箇所近い接続箇所があります。これにより、電流が流れる距離が短くなり、電流が増大し (「混雑」が軽減)、電力損失が低下します。

## 丸い形状のワイヤにより変換効率が向上

従来のバスバーと比較した場合のワイヤのもう 1 つの利点は、ワイヤの形状が丸いことで、セルへの太陽光の反射を増やすことができる点です (図 6)。この結果、セルの発電量が増加し、変換効率を向上させることができます。

図 6: 丸い形状のワイヤではリボンと比較すると太陽光の反射が増加



<sup>1</sup> Eric Schneller et al, PV Magazine Webinar, 09.2019, Fewer microcracks thanks to HIT technology?, www.pv-magazine.com/webinars/fewer-microcracks-thanks-to-hit-technology



## RECによるセル接続品質の保証とは

REC Alphaシリーズの太陽電池モジュールは開発に2年以上の歳月をかけ、設計や製造のばらつきについてあらゆる側面を入念に検討し、それらが太陽電池モジュールに与える影響を慎重に調査してきました。

さらに、REC Alphaシリーズの太陽電池モジュールは外部の認証(IEC 61215/61730 & UL 61730 など)を取得し、これには結露凍結、熱サイクル、および高温湿潤条件下での加速試験が含まれています。こうした認証に先立ち、REC社内でも太陽電池モジュールに対してIECの試験基準よりも厳しい認定検査を最大3回実施して、太陽電池モジュールが当社の厳しい品質基準を満たし、長期に渡り電力を供給できることを確認しています。

## REC Alphaにおける二酸化炭素排出量の削減とは

太陽光発電に投資する上で、二酸化炭素排出量の削減はしばしば大きな要素になります。REC Alphaシリーズはセルとモジュール両方の製造に低温工程を採用し、エネルギー消費を抑えながら、高い電力密度(限られたスペースで高い発電量)を実現します。すなわち、太陽光発電設備からより多くのクリーンエネルギーを作り出すことができ、二酸化炭素排出量を削減することができます。

太陽電池モジュールの鉛含有量を大幅に削減し、環境にやさしい太陽光発電の象徴でもあるREC Alphaシリーズは、RECのサステナビリティに対するコミットメントを体現しています。Alphaの高度なセル接続により、鉛含有量が高いハンダ付けが100%なくなるるとともに、HJTセルで使用する低温の銀ペーストは無鉛であるため、REC Alphaシリーズの太陽電池モジュール全体の鉛含有量は標準的な太陽電池モジュールと比べて81%削減されています。この結果、合計重量に対し鉛が占める割合は、従来の太陽電池モジュールでは0.13%以上であったのに対し、わずか0.02%に低減します。このように、Alphaは環境に無害であり、耐用年数終了後も簡単に廃棄処分することができます。



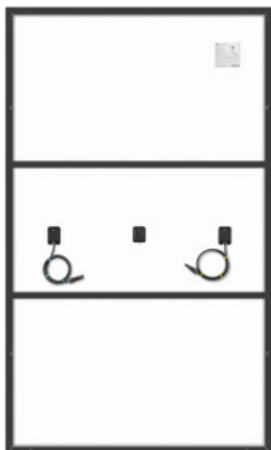
## RECの新しいフレーム構造の利点とは

REC Alphaシリーズは、7000 Paの積雪荷重および最大4000 Paの風荷重に耐えることが実証され、革新的な2Sフレーム設計を特徴としています。これは高さ30 mmのフレームで、裏面にサポートバーを備えることで、安定性および耐久性を実現します。サポートバーで補強することにより、重負荷がかかった場合でもガラス層が曲がるのを防止し、極度のたわみからセルを保護します。セルの損傷、およびフレームやガラスの破損のリスクが低減されるため、長期間に渡って高出力を提供でき、長期的に高いエネルギー収量を実現することができます。

## スプリットジャンクションボックスの利点とは

ジャンクションボックスをより小さな部品に分割することにより、メタライゼーションが少なくなり、太陽電池モジュール内の抵抗が減少します(図7)。また、太陽電池モジュールを並列に接続された60個のハーフカットセルの「ツインセルセクション」に分割することができ、RECを象徴するツインモジュール設計が形成されます。

図7: サポートバーとスプリットジャンクションボックスをもつREC Alphaパネルのリアビュー



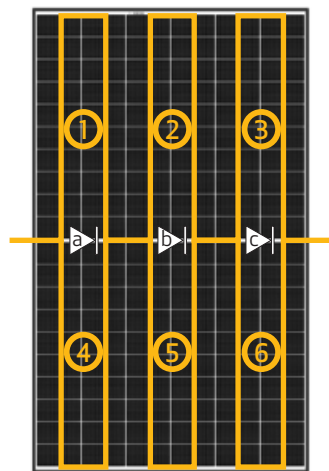
3つのボックスに小型化したことにより、標準的な太陽電池モジュールと比べて、ジャンクションボックスの裏側のセルに蓄積される熱が15~20°C低下します。これにより、セルがより低温に保たれ、セルの吸収効率、抵抗の低減、信頼性、および全体的な出力が向上します。

## RECのツイン設計をAlphaで採用

RECのツインモジュール設計を採用した太陽電池モジュールは、上半分と下半分の2つのセクションに分割されます。それぞれのセクションが、正方形のセルを2つの同じサイズのセルに切断した60個のハーフセルで構成され、この象徴的な外観を作り上げています。それぞれ20個のセルで構成されるストリング3つにセルが直列に接続され、その後2つのセクションが並列に接続されて、120個のハーフカットセルの6つのストリングで構成される太陽電池モジュールとなります。

このレイアウトを採用することで、一方が日影になっても、エネルギー出力を続けることができます。つまり、日影のある条件下で、太陽電池モジュールの下半分全てのセルが日影になっても、上半分のセルでエネルギー出力を得ることができます。

図8: 6つの内部セル列をもつREC Alphaシリーズのパネル



セルを2等分に切断することで、セル1枚当たりの電流が半減されます。セル内部の電力損失は電流の2乗に比例する( $P_{loss} = R \times I^2$ )。ここで、Rは抵抗値、Iは電流値)ので、REC Alphaシリーズの電力損失はフルサイズのセルと比べて、4分の1に減少することになります。

## 結論:

REC Alphaシリーズは、太陽電池モジュールの出力、変換効率、および信頼性を全く新しいレベルに押し上げるものです。HJTセル内で結晶シリコンとアモルファスシリコンを組み合わせることで、バンドギャップの差により、優れたパッシベーション特性を提供します。これに加え、RECの高度な低温セル接続技術を採用することで、コンタクト箇所が増え、電流が増大し、オーミック損失が低下して、変換効率がさらに向上します。この結果、環境への影響を大幅に低減しながら、従来の太陽電池モジュールと比べて電力密度が高い太陽電池モジュールとなります。このように、REC Alphaシリーズは、限られた設置スペースを最大限に活用することができます。

とは言え、太陽電池モジュールの初期電力レベルだけが重要な特徴ではなく、耐用寿命に渡って高い性能を提供することも重要です。しかし、それこそがREC Alphaシリーズが他の製品に勝る点です。セルのハンダ付けをなくすことで、熱的ストレスに起因するウィークポイントが少なくなり、マイクロクラックやホットスポット、その他の不具合の発生を減らすことができます。それとともに、極めて強固なフレーム構造により堅牢性が向上し、長期に渡って高い保護性能を発揮します。

新たな技術による発電量の増加と数十年に渡る発電量の維持に加え、REC Alphaシリーズは業界屈指の保証を提供します。出力低下は初年度で2%以下、2~25年目で0.25%以下であり、25年後でも銘板出力の92%が保証され、耐用寿命に渡って高い発電量を提供する理想的な太陽電池モジュールです。

