

ソーラーツインガラス

太陽光熱複合発電システム模型

ぼくら“ふたご”で倍発電！

環境にやさしく・力持ち



赤外線



可視光線

ソーラーツインガラスを使った実験マニュアル

用語集と技術資料

製造

株式会社ミウラセンサー研究所

〒981-3203 宮城県仙台市泉区高森2丁目1-40

21世紀プラザ研究センター207号室

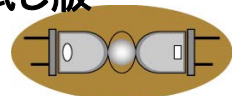
TEL 022-374-3207 FAX 022-772-0640

<http://www.miura-sensor.jp>

office@miura-sensor.jp

第4版

お試し版



MIURA SENSOR LABORATORY, Inc.

安全に関する注意（最初にお読みください）

概要	1
内容物	4
各部品の説明	5
組み立て方	9
カバーの取り付け（保管時、運搬時）	7
筐体の固定	10

ソーラーツインガラスを使った実験

実験 1 太陽光実験	11
実験 2 電圧計を使った開放電圧の測定	14
実験 3 電流計を使った短絡電流の測定	17
実験 4 電圧計を使ったモーター接続時の太陽電池の電圧測定	20
実験 5 太陽電池の電流－電圧特性の測定	23
実験 6 太陽電池と受光板を遮光した場合の太陽光実験	27
実験 7 熱電発電実験	30
実験 8 お湯の温度を変えた場合の熱電発電実験	33

保証と問い合わせ先	37
-----------	----

用語集と技術資料	38
----------	----

◆太陽に向かって走りだそう！

ソーラーツインザラスとは、可視光で動く青色のSOLAR CELL(太陽電池)、目には見えない赤外線で動く赤色のTHERMO ELECTRIC ELEMENT(熱電素子)が「ふたご」のように太陽光のエネルギーでクルクル回りだすという太陽光のパワーを実感できるエコ教材です。

(アクリル製の場合)

さまざまな波長の光を含んだ太陽光は本教材に含まれる波長分離フィルタによって、可視光と赤外線に分離されます。そしてフィルタによって反射された可視光は太陽電池へと照射され、赤外線はフィルタを透過し熱電変換素子へと照射されます。

(プラスチック製の場合)

さまざまな波長の光を含んだ太陽光は本教材に含まれるフィルタによって、2分岐します。反射した光は太陽電池へと照射され、フィルタを透過した光は熱電変換素子へと照射されます。

太陽電池・熱電変換素子にはそれぞれモーターがついていてツインザラスが動き出す過程を観察できます。太陽電池による太陽光発電だけでなく、赤外線という目には見えない光を熱エネルギーとして利用し電気エネルギーに変換するという2種類の太陽光発電方式を学ぶことができます。



ソーラーツインザラス本体
(左:プラスチック製、右:アクリル製)

◆日本の宇宙開発から生まれた最先端の技術に触れてみよう！

ソーラーツインザラスはJAXA(独立行政法人宇宙航空研究開発機構)が開発した太陽光熱複合発電システムをシンプルな模型にしたエコ教材です。太陽光熱複合発電システムは従来廃熱とされていた赤外線エネルギーを熱電発電として利用することができる新しい技術です。

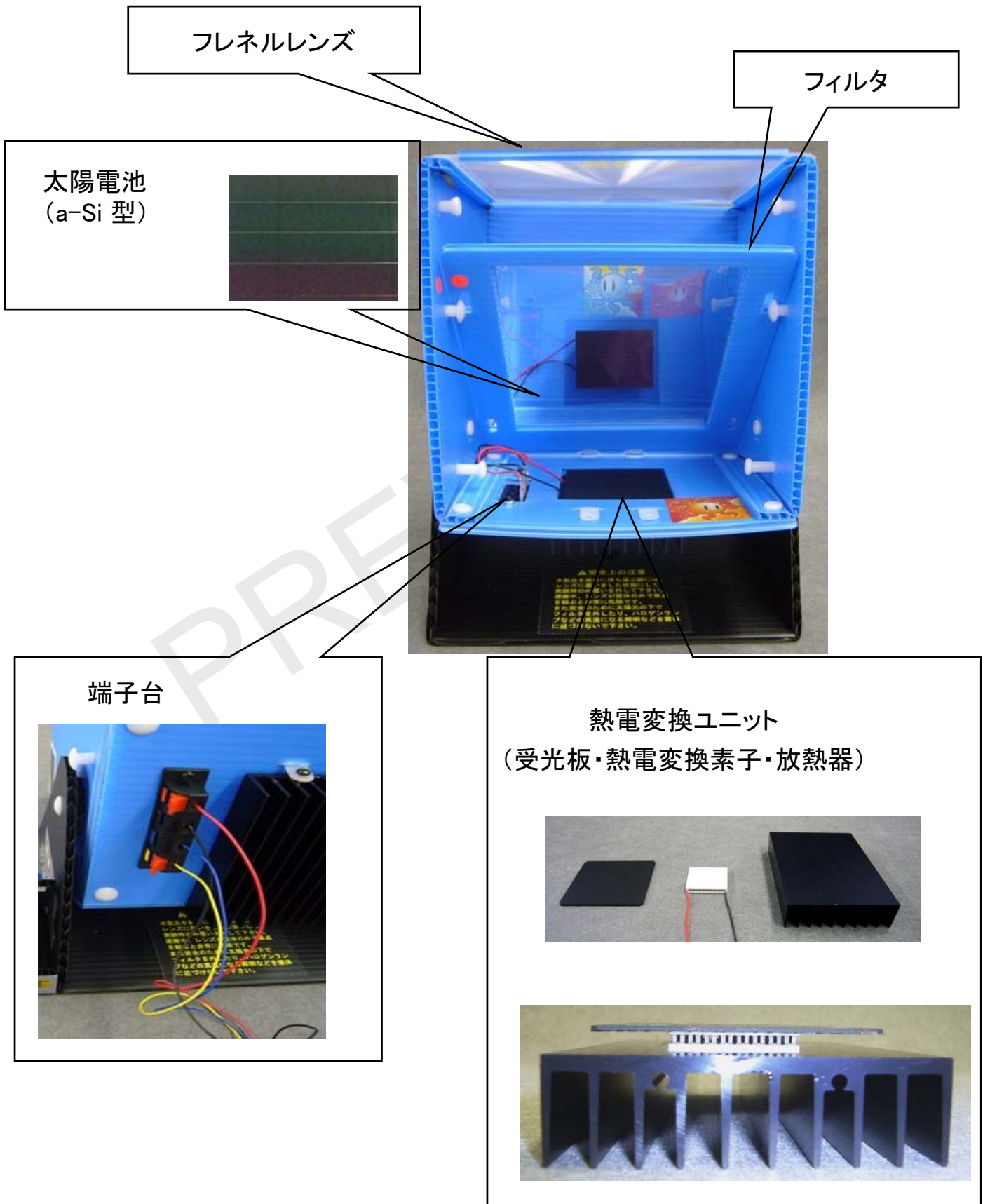
本製品は、日本の宇宙開発から生まれた最先端のアイデアをより多くの日常に届けるためのプロジェクトであるJAXA COMODE PROJECT に認定されています。

▶ 寸法・重量

	寸法(幅×奥行×高さ)	重量
プラスチック製	発電部:196mm×160mm×240mm	0.41kg
	モーター部:140mm×90mm×70mm	0.13 kg
アクリル製	発電部:190mm×160mm×240mm	1.3kg
	モーター部:140mm×90mm×70mm	0.23kg

①発電部の筐体

太陽電池、熱電変換ユニットを収納しています。

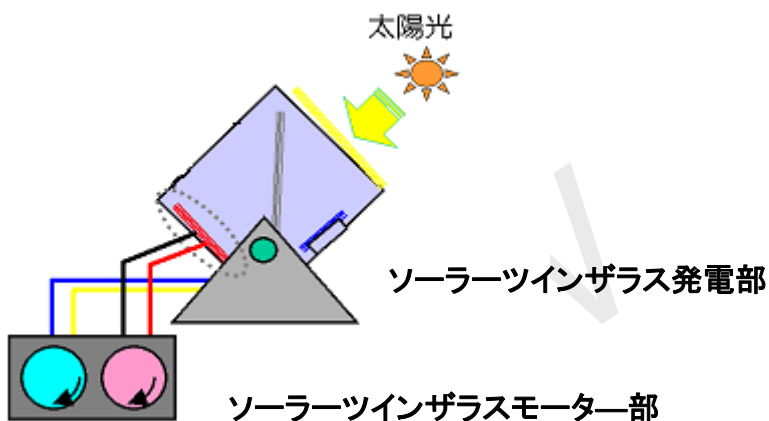


概要

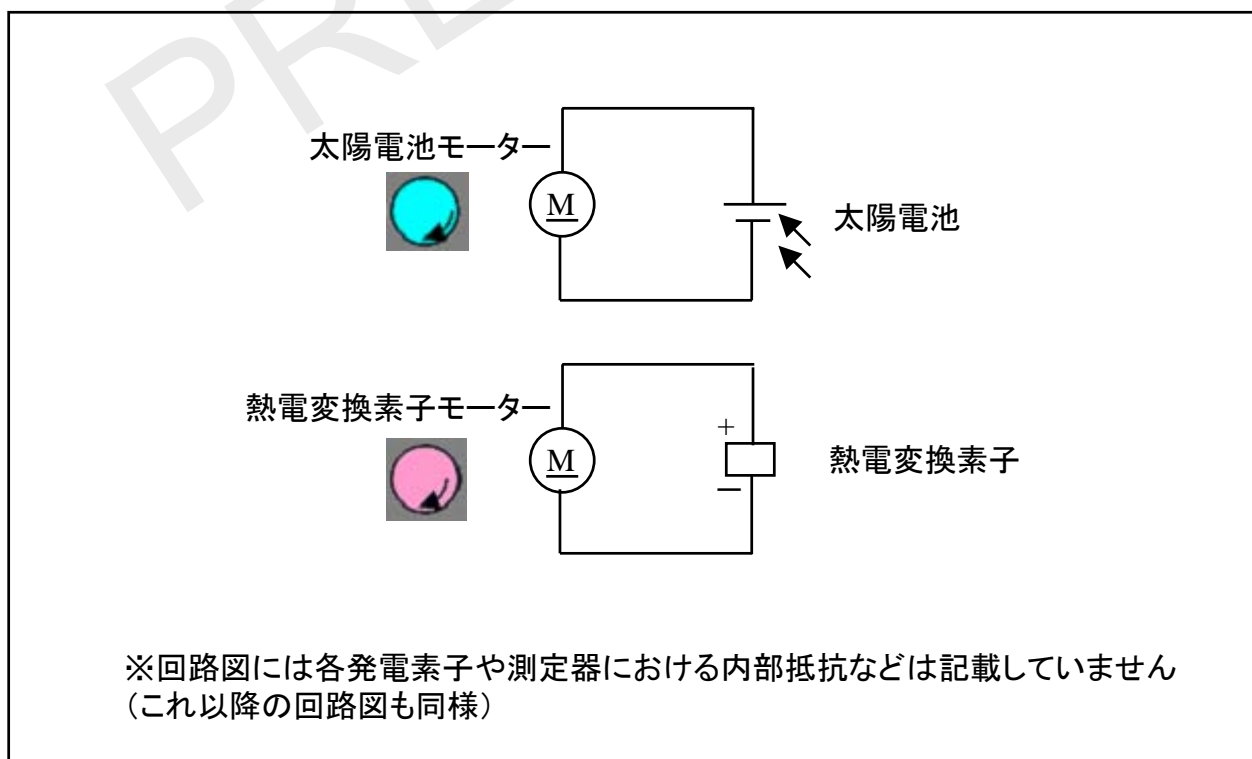
太陽光をフレネルレンズで集光して太陽電池と熱電変換素子で発電を行って、別々のモーターを動かす実験です。

太陽光による発電を体験することにより、太陽のエネルギーを利用して電気で駆動するものを動かすという学習を行うことができます。

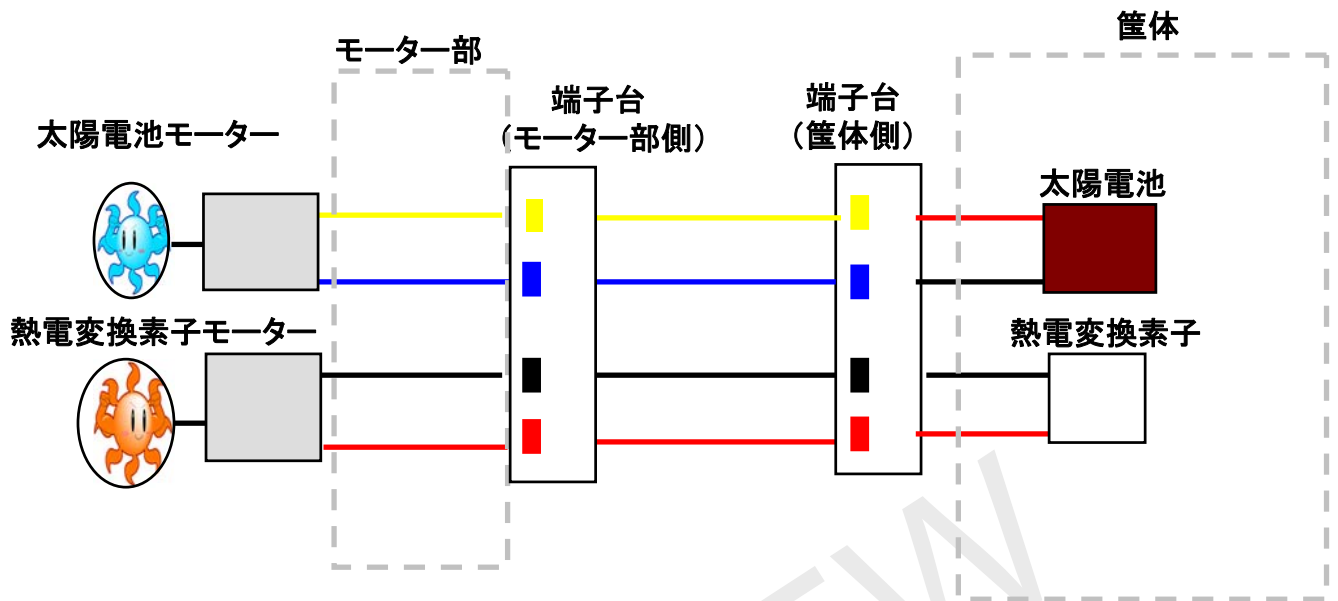
実験のセットアップ



回路



接続図



実験方法

晴天の屋外で実験を行います。雨天、曇天の日にはモーターを動かすのに必要な電力を得ることができません。また、薄曇りの日や黄砂が発生している日でも、モーターを回すのに十分な電力が得られない場合がありますので、注意して下さい。

- 1) 屋外で安定している地面にソーラーツインガラス発電部とモーター部を置きます。
- 2) ソーラーツインガラス発電部とモーター部をリード線で結線します。
- 3) 筐体上面のフレネルレンズを太陽光の方向に向け、太陽電池と受光板に光が当たっていることを確認します。
- 4) フレネルレンズを太陽の方向に向けると、太陽電池がすぐに動き出します。
もしも太陽電池に太陽光が当たっているにもかかわらずモーターが動かない場合には、太陽電池の円板を手で軽く回してみると回り始めます。
- 5) 熱電変換素子のモーターは光があたってから回り始めるまでに数十秒から数分程度かかります。
数分程度待っても回り始めない場合には、熱電変換素子の円板を手で軽く回してみると回り始めます。
- 6) 太陽の方向に向けていたフレネルレンズを何かで遮るか、もしくは筐体の角度を変えて太陽光が当たらないようにすると、太陽電池のモーターが止まり、その後に熱電変換素子のモーターも止まります。

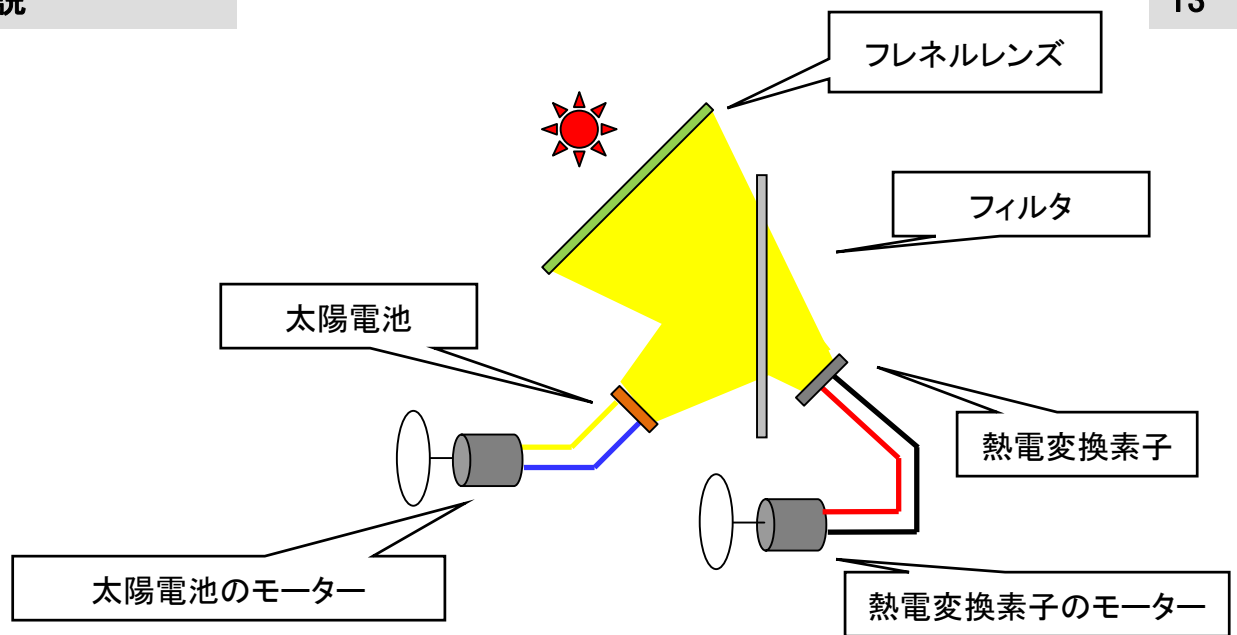


図 ソーラーツインガラスの原理

太陽光をフレネルレンズで集光することにより、単位面積当たりの光のエネルギー密度を高めて利用します。フレネルレンズで集光された太陽光はフィルタによって反射光と透過光に分けられます。反射した光が太陽電池に照射されることで、光エネルギーが電気エネルギーに変換されます。透過した光が受光板に照射されると、受光板は太陽光を吸収して温度が上昇します。受光板の温度が上昇することによって、受光板の下に貼り付けられた熱電変換素子の上面の温度も上昇します。一方、熱電変換素子の下面には放熱器が取り付けられており、効率よく熱を空気中に逃がすことができます。このように熱電変換素子の上面で熱を得て、下面で熱を逃がすことによって上下面に温度差を発生させ、熱電変換素子による発電を行います。

このように直接的に太陽光を利用しながら、原理の異なる2つの発電方法を体験することができます。

課題

- フレネルレンズの上に何かをかぶせて太陽光を遮ったときに、モーターの回転はどのようなようになるでしょうか？
- 2つのモーターの回転を観察したときに違いがあるでしょうか？
また、その違いの理由はなぜでしょうか？
- 太陽電池と熱電変換素子では、モーターが回り始めるまでに時間に差があるのはなぜでしょうか？
- 熱電変換素子のモーターの回転速度を速くするには、どのような工夫をすればよいでしょうか？
(太陽電池のモーターは止まっても構いません。)

■太陽光

晴れた日が明るくて暖かく感じるのは太陽のおかげです。植物は太陽の光をエネルギーにして育っています。太陽光にはさまざまな波長を持つ光成分が含まれており、光の波長による名称の違いを図1に示します。光は波長の短い方から、紫外線・可視光線・赤外線と呼ばれています。ソーラーツインザラスで利用している光成分の波長は可視光線と赤外線です。

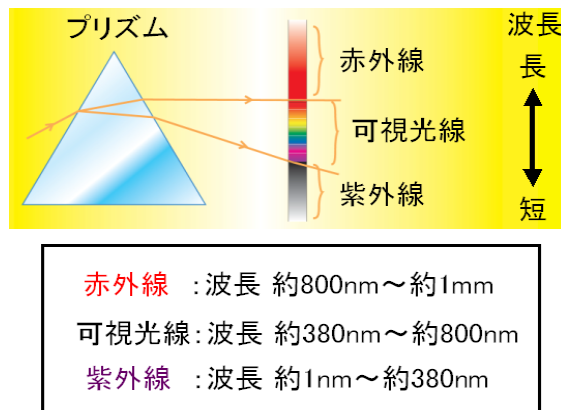


図1 光の波長

補足: 光は電気と磁気が振動しながら進む波で、その一回の振動に進む距離を波長といいます。

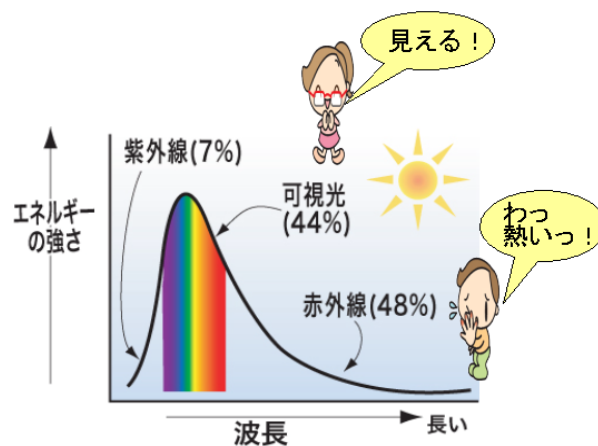


図2 光の波長とエネルギーの関係

図2には太陽光の波長に対するエネルギーの分布を大まかに示します。図2から可視領域の光が約44%、赤外領域の光が約48%のエネルギーをもっていることがわかります。太陽光熱複合発電システムでは、これまでの太陽光発電では利用していなかった、赤外領域の波長の光も有効に利用することができるのです。このように光の波長を分離・選別して、これまで有効利用されていなかった波長を利用した太陽エネルギー活用は今後ますます盛んになると考えられます。

① 可視光線

私たち人間が目に見える波長の光です。言いかえると、可視光線の波長以外の光は人間の目には見えないのです。例えば赤外線を利用したリモコンなどでは、送受信する際に光が目には見えなくても信号は伝わっています。さて、人間の目に見える光というのは、波長がおよそ380nm～800nmくらいの範囲の領域です。可視光領域の波長の違いによって目に見える光の色は異なり、波長の短い方から「紫・赤紫・青・緑・黄・橙・赤」となります。この色の並び方は、図1にも示したような光の屈折と分散を利用したプリズムで確認できますが、雨上がりの空にかかる虹でも見られます。ちなみに光の波長と色の関係はおよそ青色450nm、緑色540nm、赤色630nmとなっています。この青・緑・赤は光の3原色と呼ばれ、同一輝度で同時に照射すると人間の眼には白色に見えます。

② 赤外線

赤外線はおよそ800nm以上の波長の長い光で、人間の目には見えません。たとえば、屋外で炭などを熱したとき、風上にも暖かさを感じられます。これは、炭が発する赤外線によってエネルギーが周囲に伝わって、私たちはその赤外線によって伝わってきたエネルギーを熱として皮膚で感じ取っているのです。赤外線が利用されている例としては、家電製品のリモコンや携帯電話などのデータ送受信などがあります。

③ 紫外線

紫外線は人間の目には見えない短い波長の光で、英語の略称からUV(Ultra Violet)とも呼ばれています。紫外線は皮膚でビタミンDを合成する働きがあり、人間にとって必要な光なのですが、紫外線を吸収するオゾン層の破壊が進み太陽から地球に届く紫外線が急激に増えてしまい、「紫外線対策」が重要になってきています。紫外線は人間の目や皮膚に当たると身体に悪影響を及ぼしますが、食品の殺菌などでは有効に利用されています。

☆もっと詳しく！

Q. オゾン層の破壊がなぜ進んでいるのか調べてみましょう。

A. オゾン層は、20～30km上空に広がった厚さは3mm程度の薄い層です。オゾン層には紫外線を吸収する重要な作用があります。現在、フロンガスがオゾン層を破壊し、地球に届く紫外線の量が急激に増えているのが問題となっているのです。

■波長分離フィルタ

さまざまな波長成分の光が含まれている太陽光の中から、ある波長を境にして、その波長より長い光を透過・短い光を反射させる(あるいは長い光を反射・短い光を透過させる)フィルタは、波長を分離して利用するということから波長分離フィルタと呼ばれます。波長分離フィルタはその性質からホットミラーとコールドミラーの2種類に分類されます。

白熱電球や蛍光灯などの光源にもさまざまな波長成分の光が含まれています。身近にある波長分離フィルタの例としては、窓ガラス用の断熱フィルムや照明用ミラーなどがあります。これらは可視光領域の光は透過して、赤外領域の光は反射するようなフィルタです。可視光を透過しているためほぼ透明に見えますが、赤外線は反射するためにフィルタを通過してきた光はエネルギーが小さくなり、人が立っていて暑さをあまり感じません。そのため、窓用断熱フィルムを利用することで夏場のエアコン運転を減らすことができ、省エネルギーにもつながります。断熱フィルムや照明用ミラーなどの可視光を透過して赤外線を反射するフィルタをホットミラー(赤外線=暖かい光を反射)と呼ばれます。

赤外線を透過して可視光を反射するフィルタをコールドミラー(赤外線より短い波長の光=冷たい光を反射)と呼ばれます。JAXAの太陽光熱複合発電システムに使われているフィルタは、フィルムの表面に特殊な金属をコーティングしたコールドミラーの性質をもつ誘電体多層膜フィルタです。

ソーラーツインガラスでは、プラスチック製品ではハーフミラーの性質をもつフィルタを使っています。ハーフミラーフィルタとは、太陽光を2分岐するための特殊金属をコートしたフィルタです。アクリル製品では誘電体多層膜フィルタのコールドミラーを使っています。

ハーフミラーフィルタと誘電体多層膜フィルタの写真を図3に示します。ハーフミラーフィルタは黒っぽいフィルムなのに対して、誘電体多層膜フィルタは金属光沢があるのがわかります。ハーフミラーフィルタが黒っぽい半透明なのは、図4からわかるように可視光の透過率が低く、反射率もそれほど高くないためです。誘電体多層膜フィルタは、可視光線の透過率がかなり低く、反射率は高いために表面は金属のような光沢があります。これらフィルタの見た目の違いは、フィルタの透過・反射の特性を表しているのです。



図3 フィルタの写真
(左:ハーフミラーフィルタ
右:誘電体多層膜フィルタ)

ハーフミラーと誘電体多層膜フィルタの分光特性の一例を図4に示します。ハーフミラーの分光特性としては、可視光から赤外光までの広い領域で、光の約50%を透過して、約25%を反射していることがわかります。一方、誘電体多層膜の波長選択フィルタの分光特性は波長の短い可視光の領域では光の約80%を反射して、約10%しか透過しません。0.8 μm 以上の赤色～赤外領域では光の約10%程度しか反射しませんが、約80%を透過します。この誘電体多層膜フィルタの特性が、太陽光を可視光と赤外線に分けて利用することができる理由なのです。

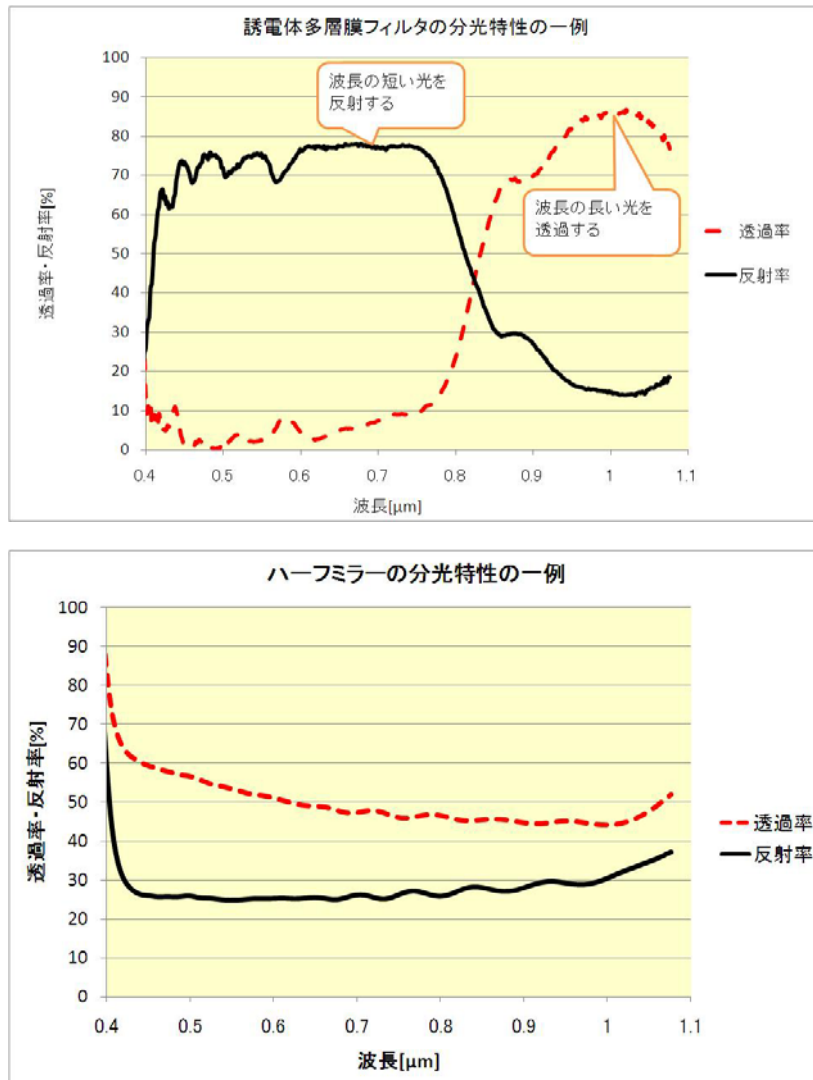


図4 フィルタの分光特性
(上:ハーフミラーフィルタ 下:誘電体多層膜フィルタ)

誘電体多層膜を蒸着した薄いフィルムは製造コストが非常に高くなってしまい、教材用として量産するのは難しいのが現状です。そのため、ソーラーツインザラス プラスチック製品では「太陽光の光と熱のエネルギーを使って発電する」という観点から、模式的にハーフミラーを使っています。

■フレネルレンズ

フレネルレンズはプラスチック製のシートに溝を切ったレンズであり、このレンズで太陽光を集光しています。フレネルレンズの特徴はガラス製凸レンズなどに比べて薄型化・軽量化が可能なことです。

フレネルレンズの原理を図5に示します。まず凸レンズの曲率部分を分割して、分割した部分の曲率に対応するような溝(断面はノコギリのような形状になります)を作ることで、凸レンズと同様に一点に光を集めています。図では溝を大きく描いていますが、ソーラーツインガラスに用いられているフレネルレンズでは、同心円の溝の間隔は数100 μ mのオーダーです。

ソーラーツインガラスでは

- ・厚さ 0.6mm
- ・縦と横の寸法 160mm
- ・焦点距離 270mm前後

のフレネルレンズを使っています。

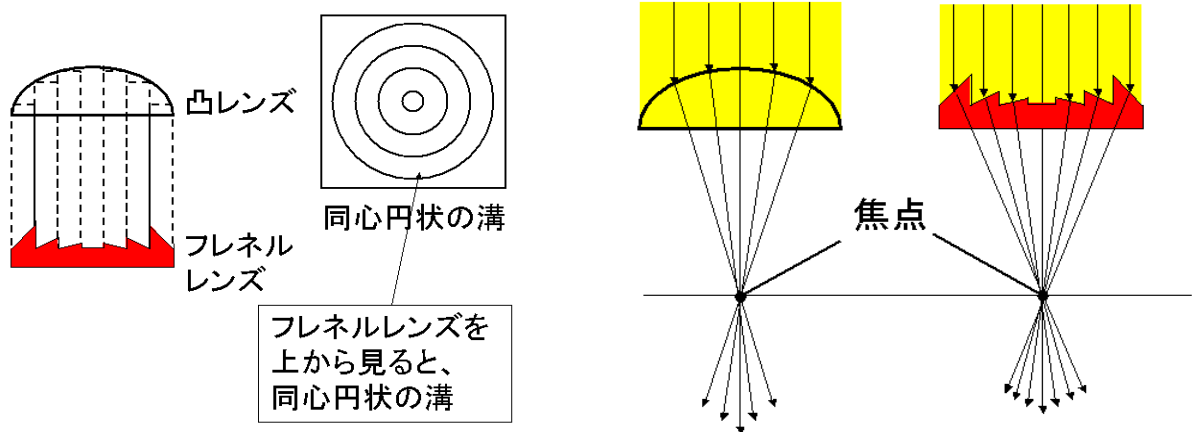


図5 凸レンズとフレネルレンズの構造

また、ソーラーツインガラスでのレンズ・フィルタ・受光板・太陽電池の関係は図6のようになっています。レンズで集光した光が太陽電池と受光板に無駄なく照射されるように設計されています。

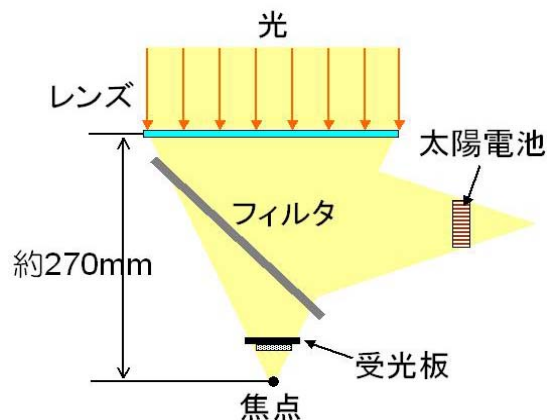


図6 ソーラーツインガラスの光学系

■ 熱電変換素子

熱電変換素子は、温度差があると発電できる二枚の板の間に金属または半導体を挟み込んだ素子です。

ソーラーツインガラスでは、図7の写真のように縦30mm×横30mm×厚さ4.1mmのビスマステル(Bi-Te)系材料の熱電変換素子を用いています。



図7 熱電変換素子

熱電変換素子単体では温度差がつけにくいいため、上面には受光板を取り付け、フィルタを通過した太陽光を受光板に集めることで受光板を加熱します。一方、熱電変換素子の下につけた熱伝導性のよいアルミ製放熱器(ヒートシンク)で放熱することで、比較的低い温度差でもモーターを回せるように設計されています。図8には熱電変換ユニットの構造を示しています。

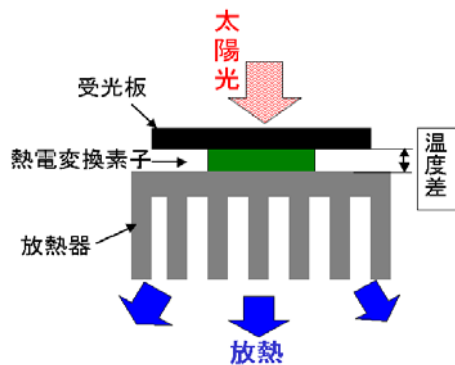


図8 熱電変換ユニットの構造

熱電変換素子の基本的な原理としては、異なる種類の金属または半導体を接合して、その両端に温度差を与えることで起電力が発生するゼーベック効果を利用しています。

ゼーベック効果のモデルを図9に示しますが、これを利用した代表的なものに熱電対と呼ばれる温度センサがあります。ゼーベック効果で発生する電圧の大きさは、金属の種類と温度差で決まります。そのため、あらかじめ金属の種類と温度差に対する電圧の関係さえわかっているならば、発生した電圧から温度がわかるのです。

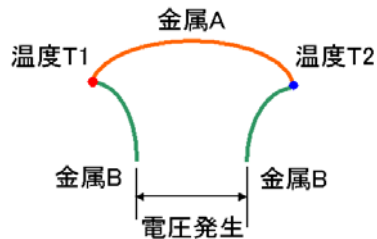


図9 ゼーベック効果

さて、この図9のモデルのように3つの金属で接点が2つだけでは、非常に微弱な電圧しか発生せず、発電には使えません。そこで、図10のようにp型とn型の半導体を金属で挟み込んでつなげていったものが熱電素子になります。図10では半導体の数が少ないですが、実際の熱電素子では数10個～数100個の半導体が接続されたものが使われます。この半導体を挟んでいる両面の金属に温度差ができると、ゼーベック効果によって電気エネルギーが発生することになります。

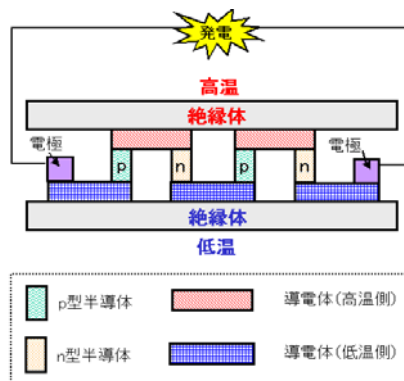


図10 熱電変換素子の構造と発電原理

☆もっと詳しく！

熱電変換素子とはあまり馴染みのない言葉ですが、同じ原理を用いたものにペルチェ素子という素子があります。

Q. どのような場所に使われていると思いますか？

A. ペルチェ素子はホテルの小型冷蔵庫やパソコンなどの電子機器内部の冷却に利用されており、電気エネルギーによって二枚の板に温度差を作り出して冷却を行っています。ペルチェ素子も熱電変換素子と構造や原理は同じなのですが、電気を温度差に変えているために発電とは逆のエネルギー変換になります。

■ 太陽電池

太陽電池は、光が当たると電気を発生する半導体です。身近なところでは、卓上電卓や腕時計などに使われており、近年ではさまざまな施設や一般家庭にも発電用の太陽電池が盛んに導入されています。太陽電池を利用した太陽光発電には、次のような特徴があります。

- (1) 発電に必要な光は化石燃料と異なり枯渇する心配がなく、発電時にCO₂などの排出がない
- (2) 火力・水力発電所のように、大規模なシステムが不要
- (3) 光があればよいため、宇宙空間などでも発電が可能

これらの特徴をもつため、太陽光発電による電力はクリーンなエネルギーと呼ばれ、現在でも盛んに開発が行われております。日本ではここ10年間で太陽電池の出荷量は大きく増加しており、現在では国内市場のみならず海外への輸出が大きなウェイトを占めています。

図11に太陽電池の構造と原理のモデル図を示します。もっとも簡単な太陽電池の構造は、p型とn型の半導体を組み合わせたものに反射防止膜をつけて、電極で挟んだものになります。この半導体に照射された光のエネルギーが電気エネルギーへと変換されることで発電を行っています。

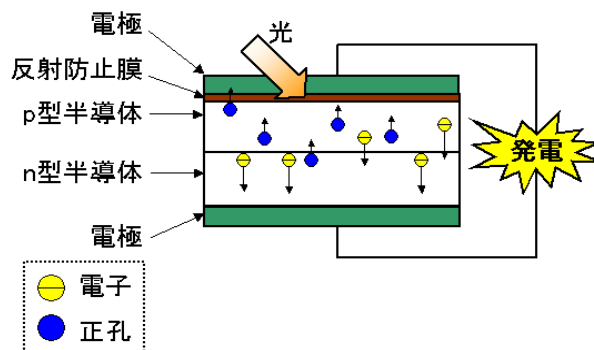


図11 太陽電池の構造と発電原理

一口に太陽電池といっても様々な種類があります。たとえば、現在最も普及しているシリコンを用いた太陽電池だけでも単結晶シリコン、多結晶シリコン、アモルファスシリコンなどの種類があります。また、光吸収層に無機化合物や有機化合物を用いたものもあります。形状による違いでは、薄膜型や光吸収層を積層したタンデム型などがあります。

ソーラーツインガラスに使われている太陽電池は縦4cm×横5cmのアモルファスシリコン(a-Si)太陽電池です。a-Si太陽電池は高温でも性能が低下しにくく、可視光で効率よく発電することができるという特徴があります。図12にa-Si太陽電池と単結晶シリコン太陽電池(c-Si太陽電池)の波長に対する感度の一例を示します。a-Si太陽電池の感度のピークは可視光領域の波長0.6 μ m付近であるのに対して、c-Si太陽電池の感度のピークは波長0.9~1 μ m付近にあるのがわかります。太陽光熱複合発電では可視光と赤外線を分離しているために、太陽電池に照射される光のほとんどは可視光になります。そのため、可視光で感度がよいa-Si太陽電池を使うことで有効に発電を行っているのです。

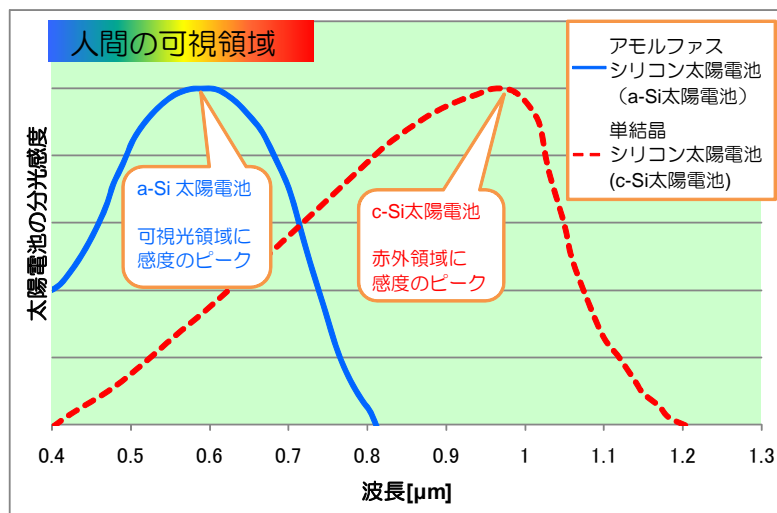


図12 太陽電池の光の波長に対する感度

☆もっと詳しく！

Q. 太陽光熱複合発電システムでは、可視光と赤外線を分離して利用していますが、なぜ分離する必要があるのでしょうか？

A. 太陽電池が温度の上昇に伴って性能が低下するという欠点を補うためです。太陽光に含まれる赤外線が太陽電池に照射されると太陽電池の温度を上昇させ、太陽電池の性能を低下させてしまいます。そのため、可視光線に感度がよいa-Si太陽電池に可視光線をなるべく多く照射させつつ、赤外線をカットすることが望まれます。さらに、a-Si太陽電池はc-Si太陽電池に比べて温度上昇による性能低下が小さいことも利点となります。赤外線を大幅にカットしても太陽電池の温度は上昇してしまいますが、性能の低下が少なく済みます。