

2024年12月6日

連載講座 1 : 「太陽熱利用の基礎_ver. 1」

1. 太陽について

1. 1 太陽エネルギーとその特徴
1. 2 太陽エネルギーの性質
1. 3 太陽エネルギーの特徴

2. 集熱器について

2. 1 各種集熱器
2. 2 液体集熱式集熱器、「平板型」と「真空ガラス管型」
2. 3 各種集熱器の集熱効率線図

1. 太陽について

1. 1 太陽エネルギーとその特徴

太陽から放出されるエネルギー量は、一年を通してほぼ同じであるが、地球の公転軌道が楕円形であることや地軸の傾きといった天文学的要因によって、地球が受け取る太陽放射エネルギー量は変化する。(図1-1)

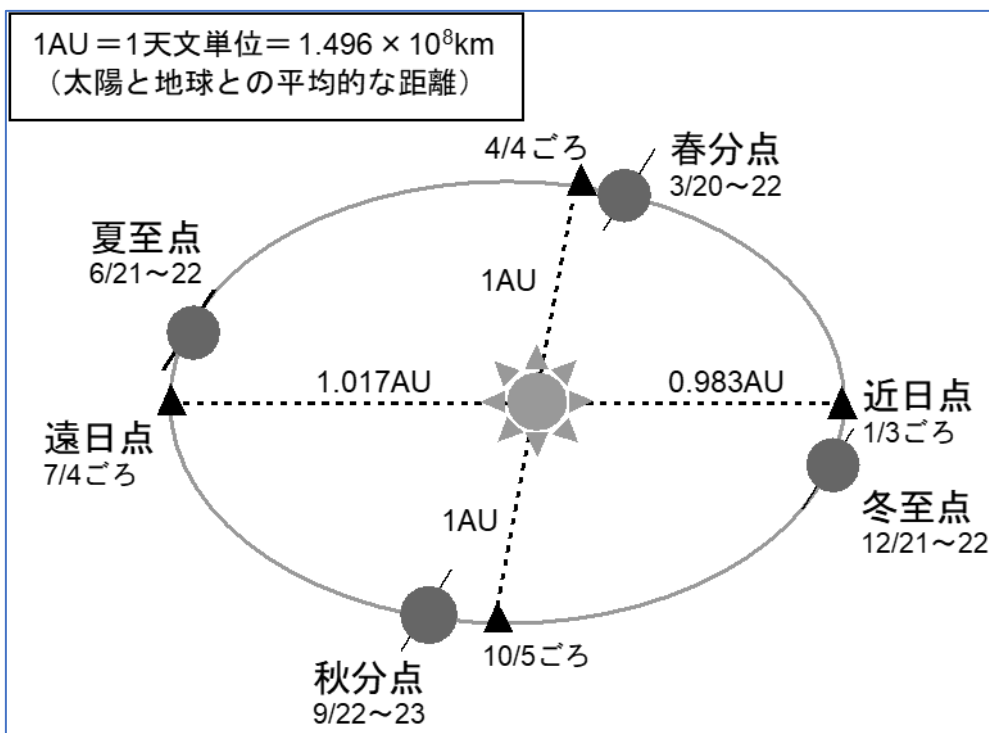


図1-1 太陽と地球の距離の関係 (「新太陽エネルギー利用ハンドブック」日本太陽エネルギー学会)

- 1) 地球が受け取る太陽放射エネルギー量は下記の影響により変化する。
 - ・ 地球の公転軌道が楕円形
 - ・ 地軸の傾き (約 23.4 度)
- 2) 太陽と地球の平均距離は約 1.5×10^8 km が 1 天文単位である。
(=1AU、AU は Astronomical Unit の略)
- 3) 地球が最も太陽に近づく場所は近日点で、逆に遠ざかる場所は遠日点と呼ぶ。
- 4) 放射強度は距離の 2 乗に反比例して、距離が遠くなるほど小さくなる。

以上のことから、放射強度で見ると、地球の北半球は太陽から遠い距離にある夏よりも、近日点付近を通過する冬のほうが太陽から受ける放射エネルギーは大きいことになる。

1. 2 太陽エネルギーの性質

太陽放射は主に紫外線、可視光線、赤外線からなり、エネルギーの半分が可視光線域に含まれる。(図1-2)

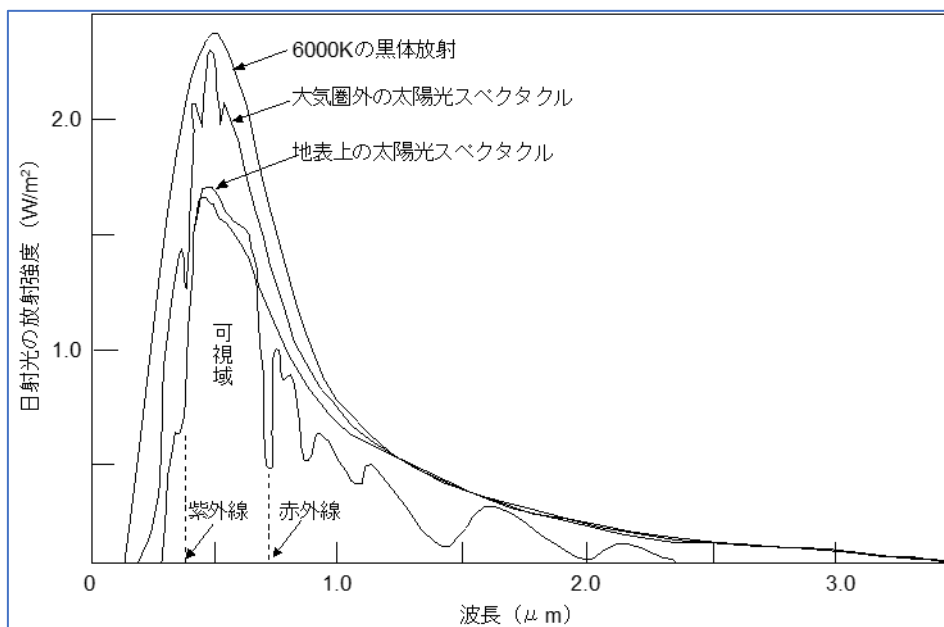


図1-2 波長別日射強度と大気の吸収

(「ソーラー建築デザインガイド」独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO))

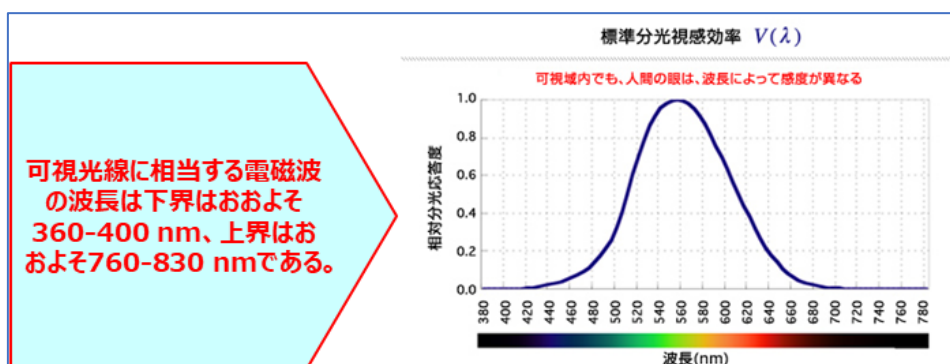


図1-3 波長と可視光の関係

- 1) 太陽が射出する電磁波のことを太陽放射、または単に日射と呼ぶ。
- 2) 地球に入射する日射光の電波領域は、波長が非常に短いX線から数百mまで広範囲にわたっており、そのほとんどが紫外線、可視光線、赤外線の波長帯に含まれている。
- 3) 全エネルギーの約半分が可視光線域(波長0.4~0.8μm)に含まれ、残りのほとんどが赤外線域(波長>0.8μm)に含まれることがわかる。

- 4) 大気圏外の太陽光スペクトルは 6,000K の黒体放射スペクトルとよく似た形状を示している。(太陽の表面温度：約 5,800 K)
- 5) 太陽放射エネルギーは地球に到達後、空気、雲などにより、吸収・散乱されたりして地表に達するまでに減衰・拡散するため図のような分布になる。
- 6) 生命に有害な紫外線など $0.3\mu\text{m}$ 以下の波長帯は、大気圏外の太陽光スペクトルには分布が見られるが、オゾン層による吸収により地表には到達しない。

1. 3 太陽エネルギーの特徴

太陽定数は、地球が太陽から受ける放射エネルギーの量を示し、**約 1.4kW/m^2** である。地表には約 70% のエネルギーが到達し、直達日射と天空（散乱）日射に分けられる。全天日射は両者の合計であり、太陽エネルギー量は **約 1.0kW/m^2** 。(図 1-4)

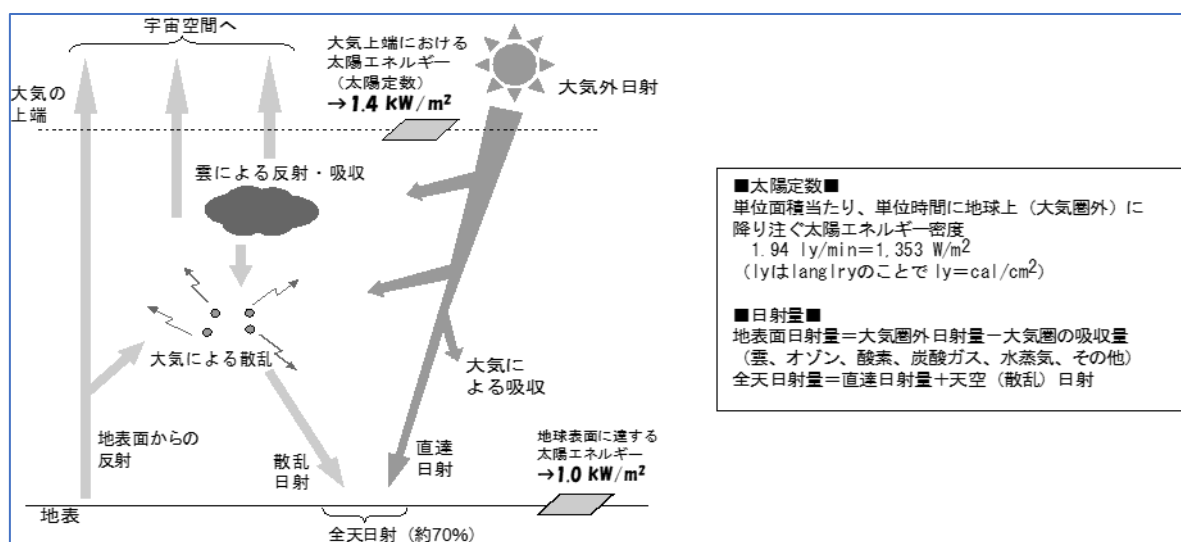


図 1-4 大気に入射した日射の日射収支

(「ソーラー建築デザインガイド」独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO))

- 1) 太陽定数 (solar constant) とは太陽から宇宙空間を経て地球に到達する太陽の放射エネルギーを定義する量、地球大気の上端で入射方向に垂直に入射する、単位面積あたり単位時間の太陽エネルギー量であり、**約 1.4kW/m^2** である。
- 2) 地表に達する太陽エネルギー量は約 **1.0kW/m^2** である。
- 3) **日射とは？**
 - ・ **直達日射**：地表に達する日射のうち、大気外日射として直接入射する成分。
 - ・ **天空（散乱）日射**：大気による散乱や、雲によって反射された成分が最終的に地表に届いたもの。

- ・**全天日射**：地表が受ける全ての日射成分は直達日射と天空（散乱）日射をあわせたもの。

* 全天日射量は全国で直接観測されているが、太陽熱利用においては、壁面や屋根に集熱器を設置するため、水平面で観測した全天日射量よりも、斜面における入射量を定義した**斜面日射量**の方が実用的である場合が多い。

2. 集熱器について

2. 1 各種集熱器

太陽エネルギーを熱に変える装置は集熱器と呼ばれるもので、集熱温度によって様々な形態がある。水の沸点を超えない温度範囲ではおおよそ給湯に利用され、200℃を超えるトラフ型は発電用に、100～200℃のフレネル型が蒸気発生用に利用されている。

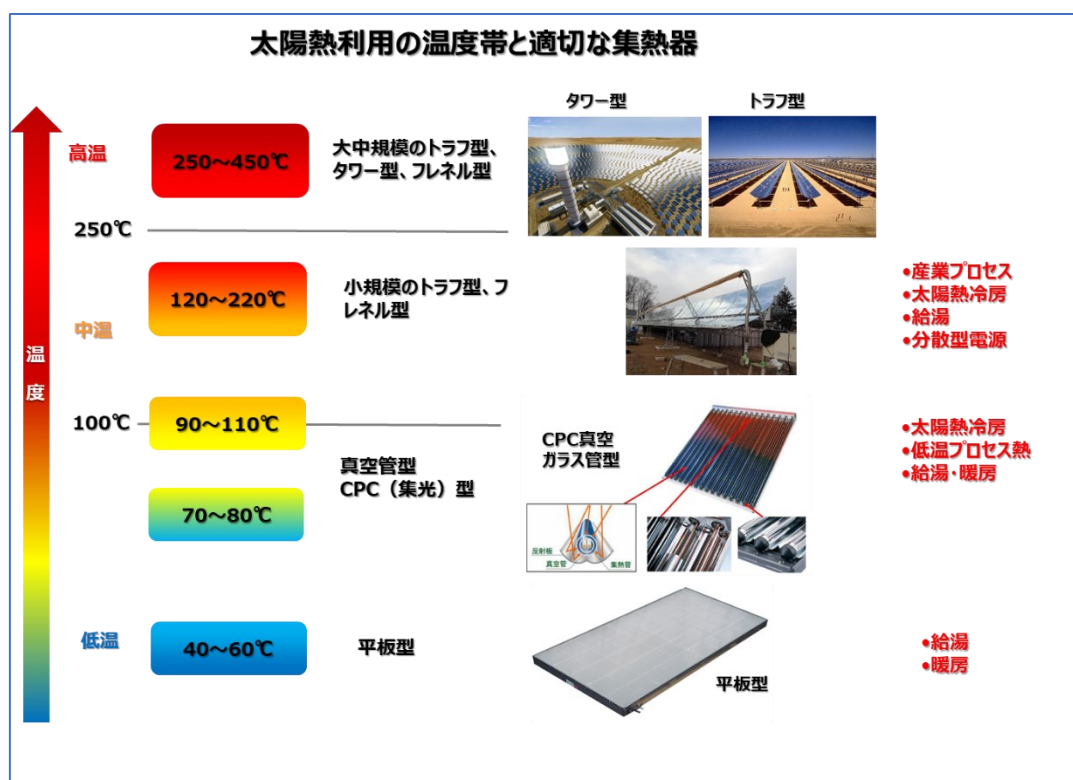


図 2 - 1 利用温度による集熱器の分類

日本国内では、現在、集熱器は平板型と真空ガラス管型が利用されており、それ以外の種類の利用例は非常に少ない。また、家庭用では給湯用に利用されている平板型が主である。

また、集熱器には集熱媒体による分類が可能で、液体式と空気式に分類される。(図 2 - 2)

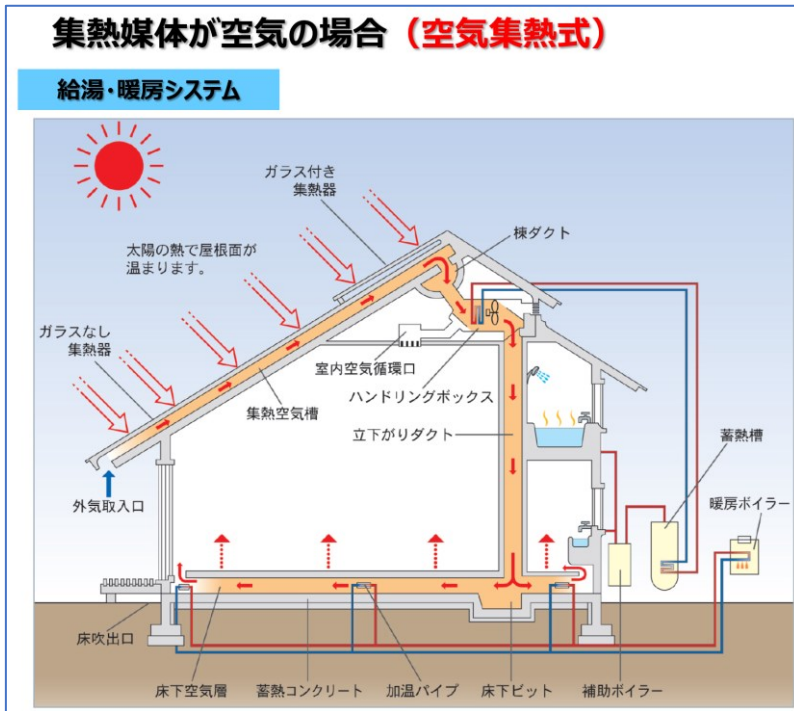


図 2-2 空気式太陽熱利用システム

2. 2 液体集熱式集熱器、「平板型」と「真空ガラス管型」

国内の家庭用には液体式平板型と真空ガラス管型が利用されており、設置台数では平板型が最も多い。平板型と真空ガラス管型の仕様・構造を図 2-3 に示す。

	平板型	真空ガラス管型
外観		
特徴	コストは安い、高温を得るのは難しい (~60℃)	コストが高いが高温を得るのに適している (~100℃)
主な用途	住宅の給湯	給湯・暖房・冷房(業務用・産業用にも)
需要(国内)	多数	少数
需要(海外)	3割	7割

図 2-3 平板型、真空管型の仕様・構造

平板型集熱器

平板型集熱器は透過体、集熱板、断熱材、受熱箱で構成され、金属の受熱箱の中に集熱板や断熱材を配置した集熱器で、表面は強化ガラス製の透過体でカバーした構造が多い。集熱板表面は黒色に塗って光線吸収率を高めるか、選択吸収面処理を施し太陽光線吸収率を維持しながら赤外線放射を抑える工夫がされている。表面の透過体には太陽光線透過率を高めるために白板ガラス（低鉄分ガラス）や表面に反射防止膜を施したものがある。さらに、ガラス面からの対流損失を抑えるために 2 重ガラスにしたり、ガラスと吸収面の間の空気層に特殊樹脂成形品でできた透明断熱材を挿入して性能を高めている集熱器もある（主に外国製）。集熱板は銅パイプの水路と銅板のフィンで構成したチューブオンシート形と 2 枚のステンレス板を使って水路を構成したチューブインシート形がある。一般的にチューブインシート形のほうが集熱板に接触する熱媒面積が大きいため太陽エネルギーの伝熱性が良い。チューブオンシート形は水路ピッチを大きく取ると熱抵抗が増えて効率が悪くなる。

真空ガラス管形集熱器

真空ガラス管形集熱器は、ガラス管内を真空にして、この中に集熱板を配置している真空ガラス管形集熱器とガラス管を 2 重にしてその間を真空にした真空ガラス 2 重管形集熱器がある。いずれも真空にすることで対流熱損失をなくし、断熱材を省略でき、断熱効果を優れたものにしていく。放射損失に関しては選択吸収面が使われ、設置面積に対する開口面積はやや小さいが高温集熱に適している。集熱板はガラス管内部に入るように細長い短冊状の形状をしている。ガラス管を貫通する継ぎ手部分の真空封止の耐久性確保が非常に難しい技術である。真空ガラス 2 重管形は、ガラス管を 2 重にしてその間を真空にしたもので、非真空部分に集熱板を配置したタイプである。真空部分がすべてガラスで構成されるため信頼性が改善されている。集熱板が高温になるためヒートショックに弱いという難点がある。CPC 集熱器は真空ガラス管集熱器の下側に略放物面形状をした反射板を配置し、真空ガラス管をすり抜けた太陽光線を集熱板方向に反射させ効率を改善したものである。

2. 3 各種集熱器の集熱効率線図

液体式平板型と真空管型の集熱特性を図 2-4 に示す。縦軸は集熱効率 η 、横軸は集熱効率変数 ($\Delta\theta / I$) である。

$\Delta\theta$: 集熱媒体平均温度から気温を差し引いたもの、 I : 集熱面日射強度

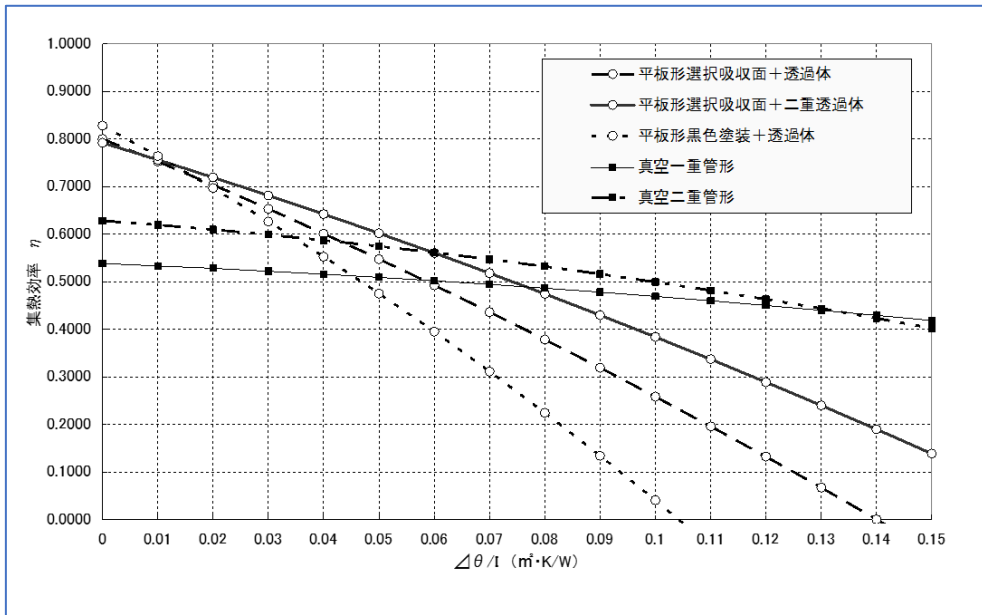


図 2-4 平板型、真空ガラス管形集熱器の集熱特性

一般的に、集熱器の熱損失を抑制すると図 2-4 のグラフの傾斜が小さくなる。事実、真空ガラス管の方が平板型に比較してその傾きが小さい。平板型においても二重の透過体にすることで熱損失を抑制する効果があり、一重よりも傾きが小さい。さらに、選択吸収膜の有無による傾きの差からもその効果が窺える。また、特に米国においてプールに設置されるものは透過体の無い集熱器が利用されている。プールでは低温の温水が利用されており、横軸の値が小さい場合に相当する。この領域では熱損失そのものが小さく、熱損失に対する対策の効果も小さいことから、コストメリットを優先して透過体の無い集熱器を利用している。

JISA4112(2020)の効率算出の際の条件(横軸)は下記になる。

$\Delta\theta / I$ における条件

- ・ 日射量 : 20000kJ/(m² · Day)
- ・ $\Delta\theta$: 10K