

太陽熱エネルギー

太陽熱を利用する技術は、太陽熱給湯技術・冷暖房技術と太陽熱発電技術に大別される。太陽熱給湯技術・冷暖房技術は技術確立が進んだ古くからある技術である。1980年代に日本でも広く普及したという経緯があり、世界各国でも導入がなされている技術である。一方、太陽熱発電技術は日射条件の制約から、乾燥・半乾燥地域を中心に導入が近年進んでおり、今後の技術進歩が期待される技術である。

I 技術・エネルギーの説明

太陽熱を利用する主な技術として、太陽熱を給湯や冷暖房の熱源として利用する太陽熱利用技術と、太陽光を集光して得た高温を発電の熱源として利用する太陽熱発電技術がある。

1 太陽熱利用

太陽熱を利用して熱供給を行う技術を大別すると、太陽熱給湯技術と暖房・冷房技術がある。再生可能エネルギーである太陽熱を利用することで、熱生産のために利用される化石燃料や電力を代替することができる。⁽¹⁾

太陽熱利用による給湯技術は、太陽熱を集熱して水を温めて給湯利用するもので、古くから利用されてきた技術である。太陽熱利用による暖房技術は、太陽熱を集熱して建物の暖房に利用する技術である。太陽熱利用による冷房技術は、集熱した太陽熱エネルギーを熱駆動型冷凍機の熱源として利用するもので、例えば夏場の余剰熱を冷房利用することが可能な技術である⁽²⁾。

2 太陽熱発電

太陽熱発電の仕組みは、太陽光を集光した高温の集熱部を用いて蒸気を発生させるなどしてタービンを回し、電気を生成するというものである⁽³⁾。

* 本稿の執筆時点は平成26年1月29日である。インターネット情報の最終アクセス日は、平成26年1月29日である。

(1) IEA, *Technology Roadmap: Solar Heating and Cooling*, Paris: IEA, 2012, p.7. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar_Heating_Cooling_Roadmap_2012_WEB.pdf>

(2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第5章 太陽熱発電・太陽熱利用」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.61. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544820.pdf>>

(3) IEA, *Technology Roadmap: Concentrating Solar Power*, Paris: IEA, 2010, p.9. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/csp_roadmap.pdf>

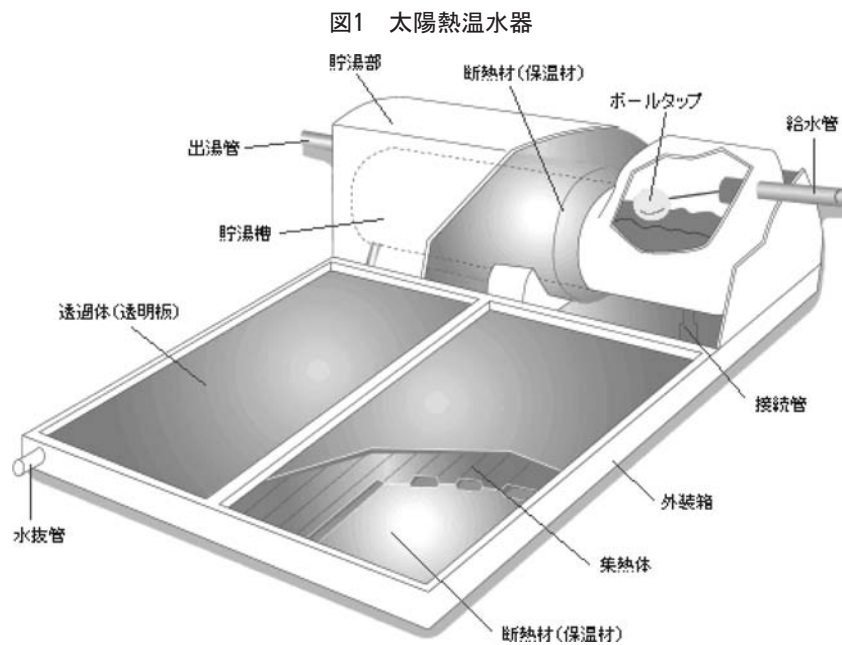
II 技術動向・利用動向・将来動向

1 技術動向

(1) 太陽熱利用

太陽熱利用のシステムは、太陽熱を集める集熱器、集熱した熱を貯める貯湯槽・蓄熱槽、そして曇天・雨天など太陽熱が不足した際に熱を補う補助熱源等により構成される。集熱器と貯湯槽・蓄熱槽の間を結ぶ熱媒には、水や不凍液が利用される。

給湯利用は比較的成熟した技術であり、エネルギー変換効率が60%に達する場合もあり、再生可能エネルギー利用技術の中でも変換効率は比較的高い⁽⁴⁾。給湯利用では、集熱器と蓄湯槽を一体にして家屋等の屋根に設置されるような自然循環形の太陽熱温水器や、別々に設置された集熱器と蓄熱槽の間に不凍液等の熱媒をポンプで循環させるソーラーシステムが代表的である。次に示した図1は、自然循環形の太陽熱温水器である。集熱部で温められた水は軽くなり自然に上の貯湯部に移動する。自然に循環するために動力を用いず給湯することが可能という特徴を持つ。

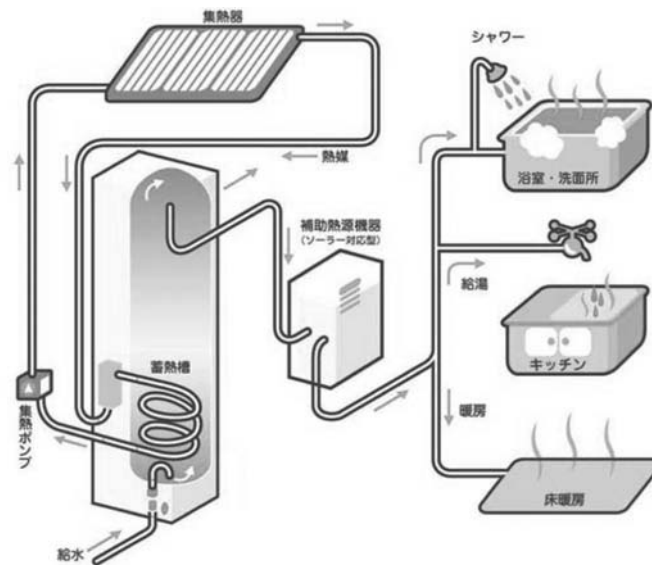


(出典) 一般社団法人ソーラーシステム振興協会『熱は熱で 太陽熱利用システム』2013, p.4.

次の図2は、液体式のソーラーシステムの模式図となっている。図中左上にある集熱器と、図中左下にある蓄熱槽は分離しており、この2つの機器の間をポンプによって循環する液体の熱媒が結んでいる。蓄熱槽に運ばれた熱は、給湯あるいは暖房利用することができる。太陽熱による熱供給が不足した場合には、図中央にある補助熱源機器で熱を補うことができる。

(4) 光が集熱器の表面にあたって反射することや、集熱器に吸収されずに逃げてしまう熱があることで実際の変換効率は変化する。IEA, *Solar Energy Perspectives*, Paris: IEA, 2011, p.125. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar_Energy_Perspectives2011.pdf> 一般社団法人ソーラーシステム振興協会の資料では変換効率は40~60%と示されている。一般社団法人ソーラーシステム振興協会『熱は熱で 太陽熱利用システム』2013, p.5.

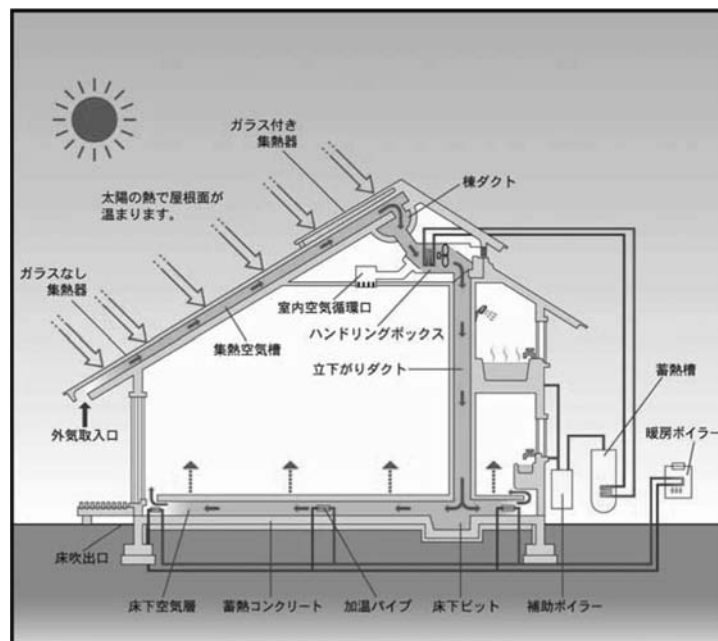
図2 液体式ソーラーシステム



(出典) 一般社団法人ソーラーシステム振興協会『熱は熱で 太陽熱利用システム』2013, p.4.

暖房利用は、温風集熱による暖房などが代表的である。空気式ソーラーシステムの仕組みは次の図3のとおりである。太陽熱により屋根面が温められると、屋根裏の空間の空気が熱せられる。熱せられた空気を、送風機ユニットで床下に送風することでコンクリートなどの蓄熱材を暖め、余剰熱を直接暖房として活用することができる。また、暖房利用しない季節においては、高温の屋根裏の空気を屋外に排出するといった利用方法や、屋外から涼気を取り込むといった利用方法もある。空気式ソーラーシステムでは、熱媒として気体を利用しているが、別途、熱交換器と組み合わせることで給湯利用することも可能である。⁽⁵⁾

図3 空気式ソーラーシステム



(出典) 一般社団法人ソーラーシステム振興協会『熱は熱で 太陽熱利用システム』2013, p.5.

(5) 一般社団法人ソーラーシステム振興協会 前掲注(4), p.5.

また、太陽熱利用をあらかじめ考慮した建物の設計により、補助動力を使わずに日中の太陽熱を蓄熱して夜間に放熱して利用するパッシブソーラーシステムという太陽熱利用方法もある。⁽⁶⁾

冷房利用は、冷熱源として吸収式冷凍機、吸着式冷凍機、デシカント空調を用いるものが主となっている。日本では、工業技術院（現・独立行政法人産業技術総合研究所）のサンシャイン計画（1974～1992年）において開発が進められた吸収式冷凍機・吸着式冷凍機の実用例が多いものの、ヒートポンプ式空調におされて市場は縮小しているとされる。これに対して、デシカント空調は近年研究開発が進められているもので、シリカゲル系あるいはゼオライト系の吸着材を利用した熱交換器を用いるものである。⁽⁷⁾

(2) 太陽熱発電

(i) 太陽熱発電の種類

太陽熱発電で実用化が進んでいる技術として、集光機構の違いによって、次の(a)から(d)に示す4タイプの技術がある。現在主流となっているのはトラフ型（Parabolic Troughs）で、他のフレネル型（Linear Fresnel）・タワー型（Towers）・ディッシュ型（Parabolic Dishes）は今後の導入が進んで、技術改良が進展することが期待されている。⁽⁸⁾

(a) トラフ型

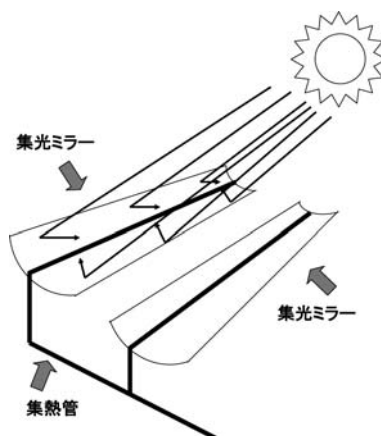
曲面の集光ミラーによりミラーの前面に配置した集熱管に集光することにより、集熱管内の熱媒を加熱する。加熱した熱媒を利用して、熱交換器で蒸気を生成し、タービンをまわすことにより発電を行う仕組みとなっている。現行の技術では熱媒が400度程度までしか上がらないため、システム利用率は14～16%程度とされる。熱媒に熔融塩を使用して熱媒の最高温度を550度程度とした場合は、システム利用率を15～17%程度に向上させることができる。（図4）

(6) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), p.63.

(7) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), pp.61-62.

(8) 以下の(a)～(d)の説明は次の資料により作成した。新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), pp.4-10; IEA, *op.cit.* (3), pp.11-12 ; IEA-ESTAP (Energy Technology Systems Analysis Programme) and IRENA, *Concentrating Solar Power Technology Brief*, 2013, pp.7-12. <<http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA-ETSAP%20Tech%20Brief%20E10%20Concentrating%20Solar%20Power.pdf>>

図4 トラフ型



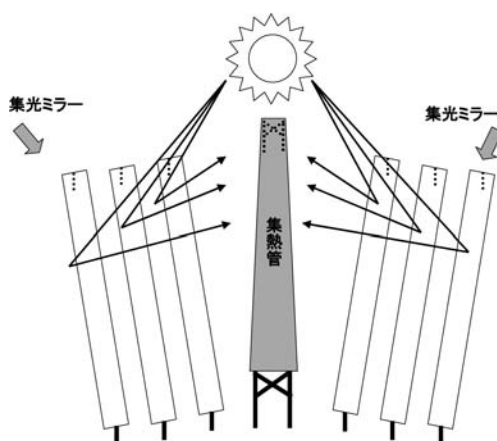
(出典) IEA, *Technology Roadmap Concentrating Solar Power*, Paris: IEA, 2010, p.11. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/csp_roadmap.pdf> ; 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第5章 太陽熱発電・太陽熱利用」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.5. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544820.pdf>>を基に筆者作成。

(b) フレネル型

長い集光ミラーの角度を少しずつ変えて並置し、ミラーの上方にある集熱管に集光して、熱媒を加熱する仕組みとなっている。集熱管内で直接高温の蒸気を発生させることができるため、熱交換器を使用しないでタービンを動かして発電することができる。

フレネル型で使用する集光ミラーは、トラフ型で使用する曲面集光ミラーよりも製造が容易で、製造や建設にかかるコストは相対的に低い。しかし、フレネル型はシステム利用率が8～10%とトラフ型に劣るとされ、また蓄熱槽を使うことが困難である。(図5)

図5 フレネル型



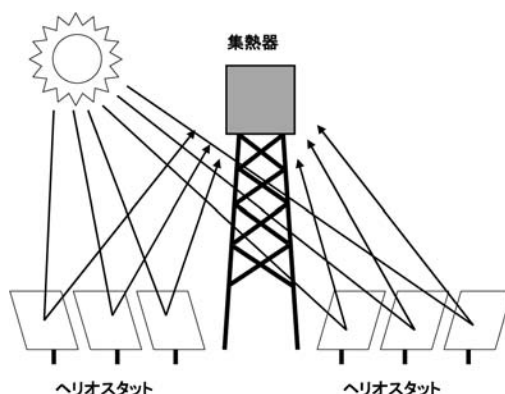
(出典) IEA, *Technology Roadmap Concentrating Solar Power*, Paris: IEA, 2010, p.12. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/csp_roadmap.pdf> ; 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第5章 太陽熱発電・太陽熱利用」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.6. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544820.pdf>>を基に筆者作成。

(c) タワー型

タワーを取り囲む多数の平面状の集光ミラー（ヘリオスタット）を用いて、タワー上部の集

熱器に集光する仕組みとなっている。ヘリオスタットは太陽の動きに合わせて動くように設計されており、日中は集熱器に集光されるようになっている。集熱器はフレネル型のように直接蒸気を発生させるもの（Direct Steam Generation: DSG）や、合成オイルや熔融塩を熱媒として利用するものがある。また、ガスを使用することも考えられており、その場合の温度は800度を超えるものとなる。トラフ型・フレネル型以上の高温状態を作り出すことができるため、システム利用率は20～35%程度になるとみられている。長期的にみて、安価な太陽熱発電となることが期待されている。（図6）

図6 タワー型

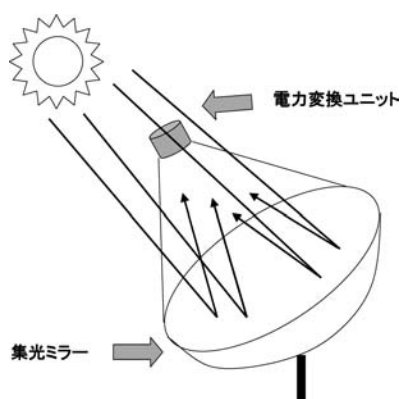


（出典）IEA, *Technology Roadmap Concentrating Solar Power*, Paris: IEA, 2010, p.12. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/csp_roadmap.pdf>；新エネルギー・産業技術総合開発機構「第5章 太陽熱発電・太陽熱利用」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.8. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544820.pdf>>を基に筆者作成。

（d）ディッシュ型

放物曲面状の集光ミラーを用いて集光し、ミラーの焦点部分に設置したスターリングエンジンやマイクロタービン等を稼働させて発電を行う仕組みとなっている。分散型発電システムとして適していることやシステム利用率が25～30%程度と高いこと、冷却用の水を必要としないことなどが利点として挙げられる。全体のサイズや発電出力は他のシステムよりも小規模である。（図7）

図7 ディッシュ型



(出典) IEA, *Technology Roadmap Concentrating Solar Power*, Paris: IEA, 2010, p.12. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/csp_roadmap.pdf> ; 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第5章 太陽熱発電・太陽熱利用」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.9. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544820.pdf>>を基に筆者作成。

(ii) 太陽熱発電の特徴

太陽熱発電では、蓄熱槽と組み合わせることで、熱エネルギーを貯蔵することが可能である。貯蔵した熱エネルギーを利用することで、太陽が雲に覆われたときや日没後などの集光できない状況下でも発電することができる。これは太陽光発電や風力発電と異なる点であり、日没後の電力需要のピーク時にも対応することができ、安定的な運転ができるという大きな利点がある。⁽⁹⁾

他システムとの組み合わせも可能であり、太陽熱により作った蒸気とガスタービンの排熱により作った蒸気の両方を用いて発電する太陽熱複合発電システム (Integrated Solar Combined Cycle: ISCC) がある。これは、太陽熱によって作られた蒸気を用いて燃料となるガスの一部を代替することができるシステムである。2010年よりモロッコ⁽¹⁰⁾、2011年よりエジプト⁽¹¹⁾・アルジェリア⁽¹²⁾において、稼働を開始している。⁽¹³⁾

水冷式の太陽熱発電プラントが必要とする水量は多く、例えばトラフ型・フラネル型では1MWhあたりの発電で約3,000 lが必要となり、原子力発電プラント並みの水量が必要となる。⁽¹⁴⁾

(9) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), pp.3-4.

(10) National Renewable Energy Laboratory, "ISCC Ain Beni Mathar," *Concentrating Solar Power Projects*, 2013.1.24. <http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=43>

(11) National Renewable Energy Laboratory, "ISCC Kuraymat," *Concentrating Solar Power Projects*, 2013.2.12. <http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=65>

(12) National Renewable Energy Laboratory, "ISCC Hassi R'mel," *Concentrating Solar Power Projects*, 2013.2.12. <http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=44>

(13) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), p.12.

(14) IEA, *op.cit.* (3), p.17.

2 利用動向

(1) 太陽熱利用

(i) 世界

太陽熱利用のうち給湯システムは、1960年代に日本やオーストラリア、イスラエル等の国々で大規模に導入された⁽¹⁵⁾。2011年末時点での世界での導入実績は247GWth⁽¹⁶⁾で、2012年末には282GWthに達したと推計されている⁽¹⁷⁾。2011年末時点での導入実績の国別シェアにおける上位12か国をみると、導入実績の合計は、223GWthであり、その中でのシェアは中国68.0%、ドイツ、トルコ各4.6%、ブラジル1.7%、インド、日本各1.5%、イスラエル、オーストラリア、ギリシャ各1.3%となっており、中国での導入実績が圧倒的である⁽¹⁸⁾。太陽熱利用の冷房システムは、2004年から2012年までに全世界で約1,000システムが導入されたと推計されている。⁽¹⁹⁾

(ii) 日本

日本国内での利用動向について、太陽熱温水器の年間販売台数とソーラーシステムの年間設置台数を図8に示した。太陽熱温水器の年間販売台数をみると、1979年に44.2万台、翌1980年の80.3万台にかけて急伸したのがピークとなり、その後1989年の13.6万台まで減少を続ける。1990年代に販売台数がやや回復して、1995年に19.7万台となったのちは、再度減少傾向となり、2012年の販売台数は4.1万台となっている。ソーラーシステムの年間設置台数の推移についても、太陽熱温水器の販売台数と同様に、1983年に6.41万台のピークとなったのち、1989年の1.55万台へと減少している。その後、1996年に2.45万台まで伸びるも減少傾向が続き、2012年の設置台数は0.51万台へと落ち込んでいる⁽²⁰⁾。こうした普及動向の推移は、後述のとおり原油価格の影響を受けてきたとみられている。

(15) IEA, *op.cit.* (1), p.10.

(16) GWthは、Giga Watt Thermalの略で、熱出力の単位。

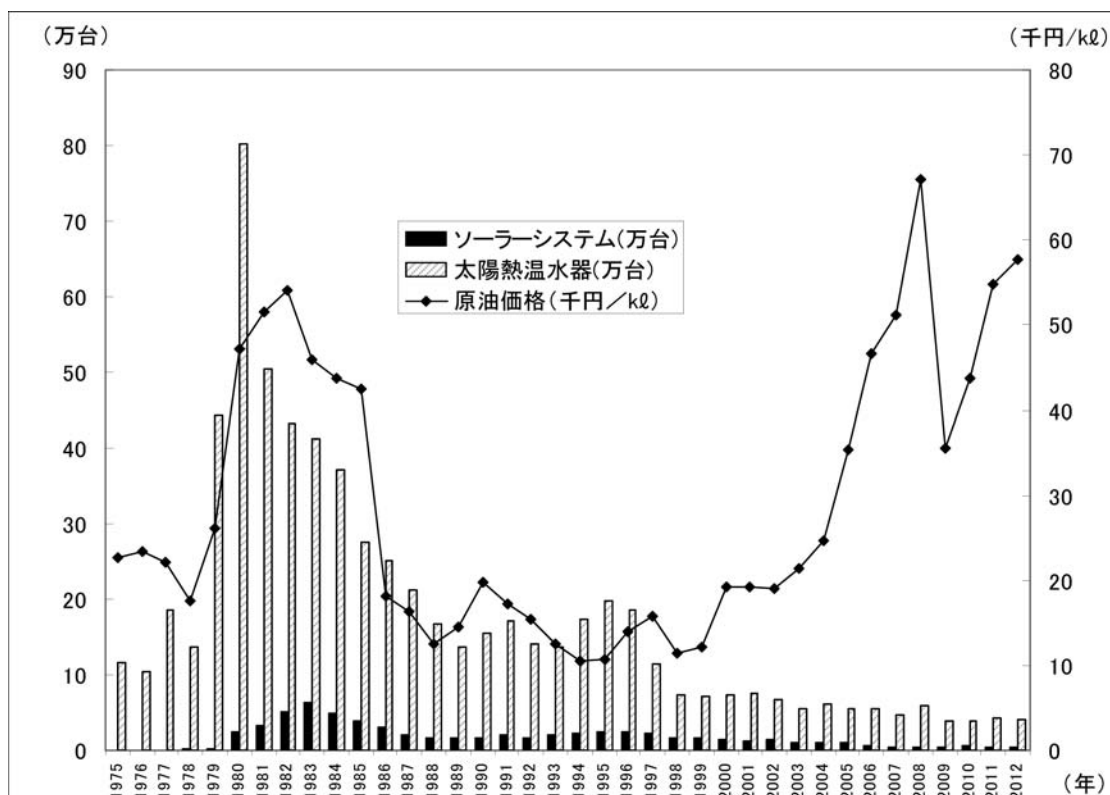
(17) Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, *Renewables Global Status Report (GSR) 2013*, p.46.
<http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013_lowres.pdf>

(18) *ibid.*, p.47.

(19) *ibid.*, p.48.

(20) 一般社団法人ソーラーシステム振興協会「太陽熱利用機器販売台数推移」『設置実績』<<http://www.ssda.or.jp/energy/result.html>> 太陽熱温水器の設置台数は経済産業省「鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計」の販売台数からまとめた数値である。ソーラーシステムの設置台数は協会による自主統計となっている。

図8 太陽熱温水器・ソーラーシステムと原油価格（1975～2012年）



(注) 太陽熱温水器の設置台数は経済産業省「鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計」の販売台数からまとめた数値である。ソーラーシステムの設置台数は協会による自主統計となっている。

(出典) 「太陽熱利用機器販売台数推移」『設置実績』一般社団法人ソーラーシステム振興協会ホームページ <<http://www.ssda.or.jp/energy/result.html>>を基に筆者作成。

日本国内での二人以上の世帯での普及率をみると、全国平均で6.2%となっている。地域別では、九州・沖縄地方及び中国・四国地方で普及率がそれぞれ13.7%、13.3%と高くなっており、北陸・東海6.1%、近畿4.3%、関東4.2%、北海道・東北2.1%と南北で普及率に差がみられる。⁽²¹⁾

(2) 太陽熱発電

(i) 世界

太陽熱発電に関する研究プログラムは、第一次石油危機の頃に日本を含む複数の国で始められた。世界初の商用発電は1984～1991年にかけて米国カリフォルニア州のモハーヴェ砂漠に建設された、9つのトラフ型のプラントSEGS (Solar Electric Generating Station) I～IXによるものである。⁽²²⁾

2006年になって、スペインと米国において固定価格買取制度等の施策によって、太陽熱発電市場は盛り上がりを見せた⁽²³⁾。世界での太陽熱発電プラントの発電能力は2010年の約1,080

(21) 総務省『平成21年度全国消費実態調査 エネルギー消費に関する特別集計結果 (報道資料)』平成24年3月30日, p.4.<<http://www.stat.go.jp/data/zensho/2009/energy/pdf/yoyaku.pdf>>

(22) IEA, *op.cit.* (3), p.9 ; IEA, *op.cit.* (4), p.141 ; National Renewable Energy Laboratory, *Concentrating Solar Power Projects in the United States*. <[http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/by_country_detail.cfm/country=US%20\(%22self%22\)](http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/by_country_detail.cfm/country=US%20(%22self%22))>

(23) IEA, *op.cit.* (3), p.9.

MWから2011年に約1,580MWと大幅に伸びており、2012年には約2,550MWに達したとみられている⁽²⁴⁾。

(ii) 日本

日本では、サンシャイン計画の中で新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）により開発が進められ、1980年代に香川県仁尾町（現・三豊市）で、タワー型とトラフ型の2タイプの実証実験（1MW級）が行われた。実証実験の結果、「日本では太陽熱発電に適した日射量が少ないことなどから、日本国内での実用化、商用化には経済性の面で適性が少ない」⁽²⁵⁾との判断が下された。

3 将来動向

(1) 太陽熱利用

IEAは将来の動向として、2050年の段階で太陽熱給湯・暖房利用が年間16.5EJ、太陽熱冷房利用が年間1.5EJに達するとみている⁽²⁶⁾。太陽熱給湯・暖房利用は熱利用されるエネルギーの16%以上、太陽熱冷房利用は冷房用に利用されるエネルギーの17%に達する推計となっており、CO₂排出量を年間8億トン削減できると推計している。⁽²⁷⁾

(2) 太陽熱発電

建設中のプロジェクトは世界各国合わせて22件あり、北・中米地域では、アメリカ合衆国・メキシコ・カナダ、ヨーロッパではフランス・スペイン、アフリカではモロッコ・南アフリカ、そして、アジア・オセアニア地域ではインド・オーストラリア・中国において建設が進められている。建設中のプロジェクトではトラフ型以外に、フレネル型（フランス・インド・オーストラリア）、タワー型（アメリカ合衆国・南アフリカ・中国）、ディッシュ型（アメリカ合衆国）も建設中である。⁽²⁸⁾

IEAは将来の動向として、2030年に累積導入量が337GWに達し、年間発電量が1,140TWhになると推計している。2040年には累積導入量が715GWに達し、年間発電量は2,790TWhになり、その後、2050年には累積導入量が1,089GWに達し、年間発電量は4,770TWhとなると推計している。⁽²⁹⁾

III 資源・エネルギーの賦存量・導入ポテンシャル

1 太陽熱利用

全世界での太陽熱利用のポテンシャルは、年間発電量で、3,415TWhといった推計がなされ

(24) Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, *op.cit.* (17), pp.44-45.

(25) 新エネルギー・産業技術総合開発機構編『NEDO30年史』2010, pp.64-65. <<http://www.nedo.go.jp/content/100115849.pdf>>

(26) EJ=Exajouleであり、Exa=10¹⁸、1 Joule≒0.24calである。

(27) IEA, *op.cit.* (1), p.22.

(28) NREL, *Concentrating Solar Power Projects Under Construction*. <http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/projects_by_status.cfm?status=Under%20Construction>

(29) IEA, *op.cit.* (3), pp.22-23.

ている⁽³⁰⁾。世界の多くの地域で太陽熱冷暖房技術を活用するに見合った十分な日射があるとされており、この点は後述の太陽熱発電との違いとなる。⁽³¹⁾

日本においては、全天日射量分布図によると北海道南央部や長野県、太平洋側や瀬戸内海沿岸の地域において比較的日射量が多い。日本におけるポテンシャルについては、2005年度の一次エネルギー供給量5億8700万kℓ（原油換算）の1.4%にあたる約810万kℓといった推計がある⁽³²⁾。これは、立地上の制約や建築物に関する規制を考慮して、物理的な潜在量約3242万kℓに対して実際的な潜在量を25%程度と仮定した推計である。

2 太陽熱発電

太陽熱発電は、日射量のうち、大気中で散乱や反射などの影響を受けずに直達した「直達日射量（Direct Normal Irradiance: DNI）」が多い地域でのみ活用できる。具体的には、直達日射量が年間1,900～2,100kWh/m²以上の日射条件が必要となる。北半球・南半球ともに緯度が15度～40度の地域の半乾燥・乾燥地域で太陽熱発電は利用することができる⁽³³⁾。日本の直達日射量は年間1,000～1,300kWh/m²となっており、日本の地理・気象条件下では採算をとるのは困難であるとされる⁽³⁴⁾。

日射量は、太陽熱発電を運用する上での経済性に大きく影響を与える。例えば、スペインのような直達日射量が年間2,000～2,100kWh/m²ある地域と、カリフォルニアやアルジェリア、南アフリカのような直達日射量が年間2,700～2,800kWh/m²ある地域とを比べた場合、後者の方が同規模のプラントで発電コストが25%安くなる。⁽³⁵⁾

IV 経済性

1 太陽熱利用

太陽熱利用システムの経済性に大きく影響する初期の投資コストは、導入するシステムの設計・規模や利用する技術等によって異なる⁽³⁶⁾。ここではいくつかの推計結果を示す。

(30) M. Hoogwijk and W. Graus, *Global potential of renewable energy sources: a literature assessment. Background report prepared by order of REN21*. Utrecht: Ecofys, 2008, pp.28, 34-39. <http://www.ecofys.com/files/files/report_global_potential_of_renewable_energy_sources_a_literature_assessment.pdf> 太陽光発電のポテンシャル分析において使用したデータを基に、“rough assessment”を行ったとの備考がある。本資料は、IEA, *op.cit.*(1) p.12で唯一の推計であるとして、参照されている。

(31) IEA, *op.cit.*(1), pp.11-12.

(32) 新エネルギー・産業技術総合開発機構『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2010, p.412. <<http://www.nedo.go.jp/content/100116323.pdf>> 2013年に出た『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』においては、太陽熱利用に関する記載が大幅に削除されたため、本脚注に係る箇所は削除されてしまった。日射条件は大きく変わるものではないため、2010年版の記載を参照して掲載している。

(33) IEA, *op.cit.*(3), pp.9-10.

(34) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), p.18.

(35) IEA-ESTAP and IRENA, *op.cit.*(8), pp.20-21.

(36) IEA, *op.cit.*(1), pp.20-21.

(1) 給湯利用の経済性

東京都環境局は、集合住宅に太陽熱利用機器を導入した場合の投資回収年数について、シミュレーションを行っている。50世帯の集合住宅に対し、ガス給湯器を補助熱源とするソーラーシステム（集熱面積175㎡、1戸あたり3.5㎡）を導入した場合、給湯利用するエネルギーのうち約46%が太陽熱によってまかなわれることとなる。これを都市ガスに換算すると9,846m³となり、都市ガス単価を138.1円/m³とした場合、年間で約136万円のガス代削減となる。システムの設備工事費を2750万円とした場合、設備工事費の投資は約20年で回収できると見込んでいる。東京都内においては、東京都による「集合住宅等太陽熱導入促進事業」という補助金制度を利用すれば、設備・工事費が半額補助される。補助金を利用した場合には、投資回収年数は約10年となる。⁽³⁷⁾

また、一般社団法人ソーラーシステム振興協会では、ソーラーシステムによる年間集熱量が他エネルギー換算でどの程度の削減効果をもたらしているかを算出している。この試算によると、集熱面積6㎡のソーラーシステムでは、年間13,061MJを集熱することができ、他のエネルギーに換算するとLPガスでは155.0m³、都市ガスでは364.4m³、灯油では444.9ℓ、電力では4,535kW相当の削減効果を持つとされる。⁽³⁸⁾

(2) 冷房利用の経済性

太陽熱の冷房利用についての投資コストは、技術が初期段階にあることから算出が困難であるとされる。すでに導入された先行事例から投資コストを推計すると、補助金等を使用しない場合の中型から大型のシステムで1,600～3,200ドル/kWcooling（16～32万円/kWcooling）⁽³⁹⁾となると推計されている。⁽⁴⁰⁾

2 太陽熱発電

(1) システムコスト

太陽熱発電のシステムコストは、建設地の日射量・地価・人件費や、機器の規模・利用する技術、蓄熱槽の有無からなる。特に、集光・集熱部分に関する費用は、設備費全体の3割超を占める。システムコストは、機器の大型化や設備機器の大量生産化、新技術による効率化などで下がると考えられている。⁽⁴¹⁾

トラフ型のシステムコストは、IEAによる試算では4,200～8,400ドル/kW（42～84万円/kW）であるとされる⁽⁴²⁾。また、IEA-ESTAP（IEA Energy Technology Systems Analysis Programme）およびIRENA（International Renewable Energy Agency）が各種資料からまとめたところでは、蓄熱槽なしのシステム利用率20～25%のトラフ型プラントで4,600～7,100ドル/kW（46～71

(37) 東京都環境局『実例！太陽熱導入ハンドブック＜本編＞』2012年，pp.9-10. <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/energy/renewable_energy/attachement/%e5%a4%aa%e9%99%bd%e7%86%b1%e5%b0%8e%e5%85%a5%e3%82%ac%e3%82%a4%e3%83%89%e3%83%96%e3%83%83%e3%82%af%e6%9c%ac%e7%b7%a8.pdf>

(38) 社団法人ソーラーシステム振興協会『2013ソーラーシステム・データブック』2013，p.35. <<http://www.ssda.or.jp/profile/img/b12.pdf>> メンテナンス費用および動力費を考慮に入れていない値。

(39) 1ドル=100円で換算。以下同じ。Wcoolingは冷却能力を表す単位である。

(40) IEA, *op.cit.* (1), p.21.

(41) IEA, *op.cit.* (3), pp.27-28.

(42) IEA, *op.cit.* (4), p.159.

万円/kW)、蓄熱容量4.0～6.5時間分の蓄熱槽があるシステム利用率40%以上のトラフ型プラントで7,300～9,000ドル/kW（73～90万円/kW）であるとされる。タワー型は利用可能なデータに限られるが、蓄熱容量6～9時間分の蓄熱槽があるシステム利用率41～54%のプラントで6,300～7,700ドル/kW（63～77万円/kW）、12～15時間の蓄熱容量を持つ蓄熱槽があるシステム利用率68～79%のプラントで9,000～10,500ドル/kW（90～105万円/kW）であると推計されている。⁽⁴³⁾

(2) 発電コスト

発電コストは、プラント自体のシステムコストやシステム利用率や、プラントが立地する土地の日射量等の各種要素に影響を受ける。⁽⁴⁴⁾

IRENAは、トラフ型とタワー型それぞれの2011年、2015年の発電コストを表1のとおり推計している。⁽⁴⁵⁾

表1 太陽熱発電システムの発電コスト

プラント		2011年時点（ドル/MWh）	2015年時点（ドル/MWh）
トラフ型	蓄熱槽なし	300～370	260～340
	蓄熱槽（容量：6時間分）	210～370	180～310
タワー型	蓄熱槽（容量：6～7.5時間分）	220～280	170～240
	蓄熱槽（容量：12～15時間分）	170～240	150～205

（出典）IEA-ESTAP (Energy Technology Systems Analysis Programme) and IRENA, *Concentrating Solar Power: Technology Brief*, 2013, p.20. <<http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA-ETSAP%20Tech%20Brief%20E10%20Concentrating%20Solar%20Power.pdf>>を基に筆者作成。

V 技術的課題

1 太陽熱利用

太陽熱利用システムの課題としては、各構成部分のコスト削減や効率の向上が指摘されている。コスト削減においては、大量生産による量産効果が働くことが特に重要となるが、ここでは技術的課題のみを扱う。⁽⁴⁶⁾

設備の設置・メンテナンスにかかる時間や費用を削減するために、機器の標準化や設置・メンテナンスが容易になることが重要である。また、集熱器の建物への組み込みについても改善の余地がある。ライフサイクルコストを下げるという観点では、集熱器に用いる機能性被覆の高熱への耐久性を向上させることや、紫外線照射にさらされても劣化しにくい新素材を開発することが必要である。

太陽熱による冷房技術は、開発初期段階で多くの研究開発課題が残っているとされる。冷凍機効率の向上と低コスト化、補助熱源や予備の冷却装置など他機器とのハイブリッド化などである。こうした太陽熱利用機器に関する技術的課題をまとめると次の表2のとおりとなる。

(43) IEA-ESTAP and IRENA, *op.cit.* (8), p.14.

(44) IEA-ESTAP and IRENA, *op.cit.* (8), p.18.

(45) IEA-ESTAP and IRENA, *op.cit.* (8), p.20.

(46) 以下、IEA, *op.cit.* (1), pp.29-33を参考にした。

表2 太陽熱冷暖房システムの主な技術的課題

技術的課題	対応策
設備費・施工費の削減	・建物と一体化した集熱器 ・システムの標準化、施工・メンテナンスの簡素化
集熱・蓄熱効率の向上	・集熱器の効率向上 ・集熱器用の高熱への耐久性を持つ機能性被覆の開発 ・紫外線照射にさらされても劣化しにくい新素材の開発 ・蓄熱槽の貯熱性能の向上・コンパクト化
冷凍機効率の向上（冷房利用）	・機器効率の向上と低コスト化 ・他機器とのハイブリッド化（補助熱源や予備冷却装置）
システム効率の向上	・太陽光発電システムとのハイブリッドシステムの商用化

（出典）IEA, *Technology Roadmap Solar Heating and Cooling*, Paris: IEA, 2012, pp.29-33. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar_Heating_Cooling_Roadmap_2012_WEB.pdf>を基に筆者作成。

2 太陽熱発電

フレネル型・タワー型やディッシュ型など事例が少ないタイプの発電設備については、各種改良の余地があるとされる。太陽熱発電の課題の解決に向けて進められている技術開発は、次の表3のとおりである。⁽⁴⁷⁾

蓄熱システムにおいて使われている蓄熱媒体については、現在、硝酸塩系が利用されているが、融点が230度以上と高く、固化を防ぐために加温が必要となる場合がある。このような課題への対応として、融点が低い新たな熔融塩の開発が進められている。また、新たな素材としてコンクリートやセラミックを用いる蓄熱媒体や、小容量で大きな熱エネルギーを蓄えられる硝酸塩系熔融塩や金属系の潜熱蓄熱材、アンモニア合成・分解を利用した蓄熱システムなどの新しい蓄熱媒体が開発されている。

発電効率の向上にあたっては、タービンに高温の蒸気を送り込むことが重要であることから、高温の蒸気を生成して活用する各種技術が開発されている。代表的なものとしては、集熱部で直接蒸気を発生させるDSGシステムがあるが、DSGシステムにおける蓄熱システムでは蒸気による蓄熱となるため、長時間蓄熱できないということが課題となる。その他、タワー型で利用する高温域に対応した集熱器、高熱で使用可能な熱媒などの開発が進められている。

設備費・運転費の削減に関連して、トラフ型・パラボラ型のプラントでは、集光・集熱部分の大型化が進められている。また、発電に利用した蒸気を復水するための水冷式熱交換器では大量の水を消費するため、立地条件や環境規制によっては、水冷式ではなく空冷式熱交換器の導入を迫られる場合もある。空冷式は大きな熱交換器を必要とする上に効率が悪くコスト増につながるため、今後低コスト化・高効率化していくことが重要となる。

表3 太陽熱発電技術の主な技術的課題

技術課題	対応策
発電量の増大	・蓄熱システムの開発と低コスト化（蓄熱方式・蓄熱媒体）
発電効率の向上	・集光システムの高度化 ・熱媒の高温化 ・高温蓄熱技術 ・直接蒸気生成システム（DSG）における長時間の蓄熱
設備費・運転費の削減	・集光・集熱部分のコスト削減・大型化 ・空冷式熱交換器の高効率化・低コスト化

（出典）新エネルギー・産業技術総合開発機構「第5章 太陽熱発電・太陽熱利用」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, pp.36-54. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544820.pdf>>を基に筆者作成。

(47) 以下、新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2), pp.36-54を参考にした。

VI 技術を取り巻く社会経済状況

1 太陽熱利用

太陽熱利用のうち太陽熱給湯は早くから利用されてきたが、その普及動向は原油価格の影響を受けてきたとみられている。エネルギー価格が低下すると、太陽熱利用機器の導入によって削減される燃料代も目減りする。そのため、太陽熱利用機器を導入するため初期投資コストの回収も長期間にわたることとなる。かつて第二次石油危機の影響で原油価格の高騰が続いた1979年から1985年にかけて集中的に販売されたが、その後原油価格の低下したことの影響を受け、太陽熱利用機器の販売量は減少したとされる。⁽⁴⁸⁾

業界団体である一般社団法人ソーラーシステム振興協会では、消費者への普及啓発を目的として、補助金などの助成制度の資料や、施工業者についての案内を公開している。その他、機器の品質確保のため、設備を施工する施工士について同協会が認定を行う「ソーラーシステム施工士認定登録制度」といった取り組みなどを行っている。⁽⁴⁹⁾

動力を使用していない自然循環形の太陽熱温水器は、電力・水道が止まった場合でもタンク内の貯湯槽から水を取り出すことができ、東日本大震災後、避難所等で活用された事例がある。⁽⁵⁰⁾

2 太陽熱発電

国際的な電力ネットワークとして、電力生産地となる砂漠地帯から電力消費地に送電する試みとして、DESERTEC Foundationが推進している計画がある。具体的には電力生産地となる砂漠地帯を有する中東・北アフリカと電力消費地であるヨーロッパを結ぶことで、中東やアフリカの豊富な日射量を活用することが考えられている。⁽⁵¹⁾

みずほ総合研究所株式会社 社会・公共アドバイザー一部
 政策・経営研究グループ 担当研究員 山口 堯史
やまぐち たかし

(48) 社団法人ソーラーシステム振興協会「太陽熱（ソーラーシステム）業界における取組と課題について」（第7回総合エネルギー調査会新エネルギー部会（平成12年7月14日）配布資料3），2000.7.14，p.2. <<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g00714ej.pdf>>

(49) 一般社団法人ソーラーシステム振興協会『ソーラーシステム施工士認定登録制度』<<http://www.ssda.or.jp/service/sekoushinintei.html>>；一般社団法人ソーラーシステム振興協会『取扱業者検索』<<http://www.ssda.or.jp/service/001/>>；一般社団法人ソーラーシステム振興協会『助成制度』<<http://www.ssda.or.jp/assist/index.html>>

(50) 一般社団法人ソーラーシステム振興協会 前掲注(4)，p9. 同協会では、東日本大震災後にプレスリリースを出している。一般社団法人ソーラーシステム振興協会『非常時における太陽熱利用機器の取り扱いについて』2011.3.22. <<http://www.ssda.or.jp/topic/emergency.html>>

(51) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(2)，pp.33-34；IEA，*op.cit.*(3)，pp.20-21.