

超低設置フレネル式太陽光集光装置の開発 (反射鏡面曲げ制御方式)

Development of a Super Low Profile Fresnel CSP with Controlling Mirror Curvature



馬	東	輝	Donghui Ma	㊴
芦	田	史	Satoshi Ashida	㊵
小	坂	浩	Hiroshi Kosaka	㊶
井	本	浩	Hirokazu Imoto	㊷

あ ら ま し

集光型太陽熱発電設備は、スペインおよびアメリカ西部を中心に世界で既に3GW以上が稼働している。さらに、世界で再生可能エネルギーの導入が大規模に進められる中、IEAによれば2035年には81GWに達すると予測されている。当社は、太陽光集光装置に注目し、より汎用性が高い超低設置（高さ3.8m）フレネル式太陽光集光装置の開発を行っている。開発中の集光装置は、各帯状の反射鏡に曲率半径を制御できる機能を持たせ（反射鏡面曲げ制御方式）、太陽の位置に応じて常に近似焦点がレシーバーチューブに収まるように、反射鏡の角度と曲率半径を制御しており、フレネル式でトラフ式と同等の集光倍率80倍以上を実現する。また、耐風・耐震性が高いという特徴がある。サウジアラビアでのパイロットプラントでは、集光倍率80倍以上、最高光学効率74%を確認している。

Abstract

Concentrated solar power (CSP) plants already generate more than 3GW of electricity in the world, mainly in the Western United States and Spain. With renewable energy being pushed forward on a large scale to combat global warming, International Energy Agency (IEA) has predicted that the electricity produced by CSP will reach 81GW by 2035. We are developing a Super Low Profile Fresnel CSP, 3.8m in height, with a high concentrated ratio of sunbeams. The reflecting mirror can be controlled in both angle of inclination and radius of curvature in order to follow the position of the sun and focus sunbeams on the receiver tube, for over 80 times concentrated ratio, comparable to that of troughs. Durability against wind and earthquake is also an advantageous feature of low profile installation. Our CSP pilot plant in Saudi Arabia recorded over 80 times concentrated ratio, and 74% peak optical efficiency.

1. 緒 言

集光型太陽熱発電設備（CSP：Concentrated Solar Power）は、スペインおよびアメリカ西部を中心に世界で既に3GW以上が稼働している。さらに、世界でクリーンな再生可能エネルギーの導入が大規模に進められる中、

IEAでは2035年には81GWに達すると予測されている¹⁾。

集光型太陽熱発電の集光方式には、タワー式、ディッシュ式、トラフ式、フレネル式がある^{1), 2)}。多くのタワー式、ディッシュ式、トラフ式（図1に示す）の反射鏡やレシーバーは高い位置に設置されるため、構造上耐風強度を確保し難い。実際に大型トラフ式集光装置では、風速が約11m/sになると反射鏡が大きく揺れ始めて運転に支障をきたし、15m/s以上では運転継続はできなくなって反射鏡を水平にするなど退避位置にせねばならない。よって、強風あるいは地震が多発する地域では、そのま

㊴ Hitz日立造船(株) 技術開発本部 機械・インフラ研究室 博士(工学)

㊵ Hitz日立造船(株) 技術開発本部 機械・インフラ研究室

㊶ Hitz日立造船(株) 環境・エネルギー・プラント本部 新事業・新製品推進室

ま設置できない状況である。

一般にフレネル式は、**図1**に示すように低設置で耐風強度に優れている等の利点を持っている。フレネル式の帯状の反射鏡は、幅が約1mと狭いので反射鏡を低い位置に設置できるために風圧の影響を受けにくく、耐風強度・地震強度を確保した構造設計が容易である。しかし、集光倍率がトラフ式(70～90倍程度)と比べて小さいので熱回収部からの放熱損失が大きく、システム効率が劣るといった欠点がある(熱回収温度が高いほど顕著になる)。従来のフレネル式の帯状の反射鏡には平面または僅かな凹面の鏡が用いられているが、これらの鏡にて太陽を追尾し直線レーザーに集光する場合、太陽の位置により焦点がずれるためレーザー背面に2次反射鏡を設けても、必要レーザー幅が大きくなり、高い集光倍率(50倍以上)が期待できない。

当社は、高い幾何学効率と耐風・耐震に有利な低設置の太陽光集光装置を目指して、超低設置フレネル式太陽光集光装置(Hitz Super Low Profile Fresnel CSP、以下HSLPF)を開発している。その集光原理(反射鏡面曲げ制御方式)を**図2**に示す。各帯状の反射鏡に鏡面の曲げ曲率半径を制御できる機能を持たせ、太陽の位置に応じて常に近似焦点がレーザーチューブに収まるように、反射鏡の傾動角度と曲率半径を制御している。これによって装置がコンパクトになり超低設置が実現され、耐風・耐震性が高く、かつ、フレネル式であるにも係らず集光倍率が高いという特徴が得られる。

本報告では、まず、反射鏡曲げ制御方式の仕組みを

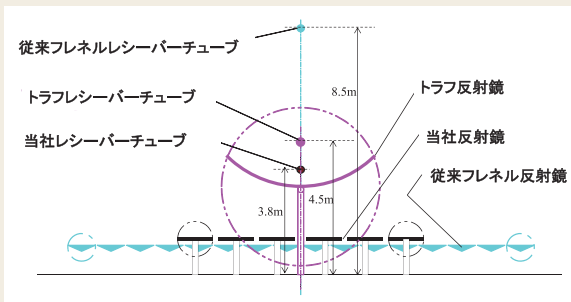


図1 集光装置設置高さ比較

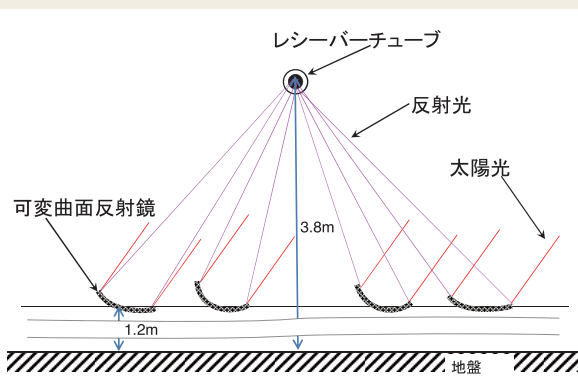


図2 超低設置フレネル式集光装置(HSLPF)の集光原理(反射鏡面曲げ制御方式)

紹介したのち、数値解析および基礎的実験等によって確認した、反射鏡の適性曲率半径、支持板の剛性、接着箇所耐久性、フレームのねじり剛性、および偏心荷重等の開発要素について紹介する。最後に、昨年3月末より運転を開始したサウジアラビアにおけるパイロットプラントを紹介する。このパイロットプラントでは、トラフ式で実績のある真空断熱レーザーチューブによる熱回収システムを採用している。既に最高光学効率74%を確認した。

2. 反射鏡面曲げ制御方式の仕組み

2.1 集光の仕組み 反射鏡面曲げ制御は、太陽の位置に応じて常に近似焦点がレーザーチューブに収まるように、反射鏡の傾動角度と曲率半径を制御している。

HSLPFの集光の仕組みを**図3**に示す。装置が稼働する場所(緯度、経度)と日時から決まる太陽の位置より、

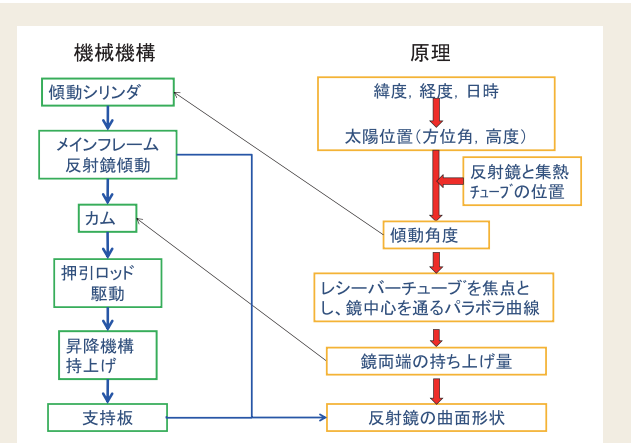
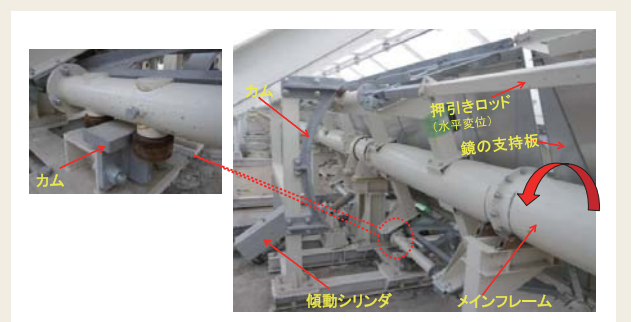


図3 反射鏡面曲げ制御方式の仕組み



(a) 傾動シリンダとカム



(b) 昇降機構 (c) 鏡面の曲げ=曲率半径制御

図4 反射鏡の傾動に対応した曲率半径制御の機構

それぞれの反射鏡列に対して適正な傾動角度と曲率半径を算出する。そして、算出された最適傾動角度となるよう、**図4** (a) に示す鏡傾動シリンダを制御することで、メインフレーム（鋼管）を回転させ、反射鏡の傾動角度を制御する。また、反射鏡が傾動角度に合った曲率半径になるように**図4** (a) および (b) に示すカムと昇降機構（押し引きロッド、昇降ガイド、シャフト）を介し、中央位置を固定した反射鏡の支持板両端を持ち上げることで、反射鏡の曲率半径を制御する。

2.2 反射鏡集光角度の許容誤差範囲 まず、**図5**に示す条件下で、完全集光（幾何学効率100%）を満足する条件を導出するために、許容される反射光の角度誤差 β を式(1)より算出する。

$$\beta = 2 \times \arcsin\left(\frac{D/2}{\sqrt{H^2 + L^2}}\right) \quad \text{式(1)}$$

ここで、Hは反射鏡からレシーバーチューブまでの高さを、Lは反射鏡からレシーバーチューブまでの水平距離を、Dはレシーバーチューブの直径を意味する。

ただし、本式では太陽の視差角は無視した。

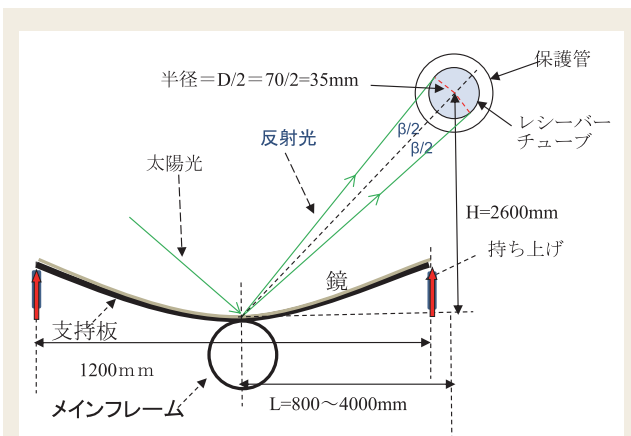


図5 反射光の許容角度誤差(太陽の視差角無視)

表1 完全集光の許容角度誤差(太陽の視差角無視)

反射鏡	第3,4列		第2,5列		第1,6列	
距離	L mm	800	L mm	2400	L mm	4000
高さ	H mm	2600	H1 mm	2600	H1 mm	2600
集光チューブ	D mm	70	D mm	70	D mm	70
許容誤差	β °	1.47	β °	1.13	β °	0.84
		± 0.735		± 0.565		± 0.420

高さを2600mm、水平距離を800mm、2400mm、および4000mmと想定したときの許容誤差 β を、**表1**にまとめる。遠い位置の反射鏡(L=4000mm)では、許容誤差が小さくなり、より厳しい精度の形状制御が要求される($\pm 0.420^\circ$)。また、太陽の視差角は約 0.5° であり、太陽の視差角を考慮するとそれぞれの値よりさらに $\pm 0.25^\circ$ 小さくなる。

2.3 円弧形状とパラボラ曲線の関係 太陽位置に応じて反射鏡およびレシーバーチューブの位置関係より、レシーバーチューブに集光出来る反射鏡の傾きと

曲面形状（パラボラ曲線の一部）が決まる。太陽の位置は刻々と変化するため、必要な傾きと曲面形状も刻々と変化する。本開発では、高い集光倍率と製作および制御の容易性を両立させるために、反射鏡面を円弧形状に制御することとした。このために、円弧形状と理想的なパラボラ曲線形状でどの程度の誤差があるのかを調べた。

図6に、最も要求精度の厳しい（レシーバーチューブから最も遠い）反射鏡の検討例を示す。この場合でも円弧とパラボラ曲線の接線角度差は小さく、円弧で製作しても十分な集光倍率が得られることがわかる。

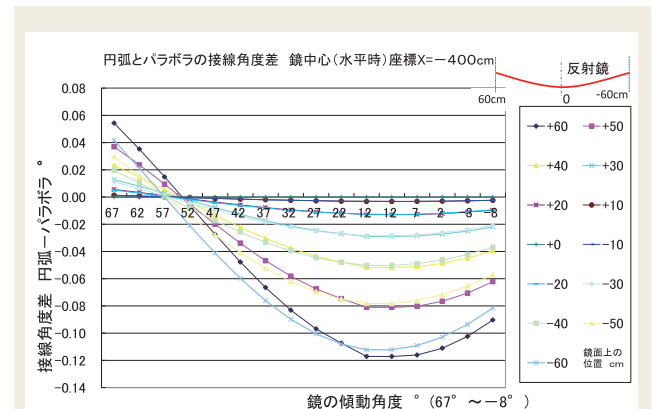


図6 円弧によるパラボラ曲線近似誤差の一例

また、**図6**に示すように円弧近似による接線角度差はほぼ一方方向にまとまっているので、傾動角度を角度差の平均値で補正すれば接線角度差の最大値をほぼ半分にすることが可能である。即ち、傾動角度を補正することで円弧をよりパラボラ曲線に近づけ得ることが分かった。

図6に示した接線角度差の分布からその平均接線角度差分だけ傾動角度をオフセット補正する。**図6**の例では、鏡の傾動角度 12° 付近で誤差の範囲が大きく、接線角度差の平均 -0.0446° 分オフセット補正すると、ずれの最大値が 0.0725° になる。即ち、オフセット補正により最大接線角度誤差 -0.1171° が 0.0725° に減少する。

最大接線角度誤差が $\pm 0.0725^\circ$ であれば反射光の最大角度誤差はその倍の $\pm 0.145^\circ$ となる。**表1**の反射光の許容誤差 $\pm 0.42^\circ$ （太陽の視差角を考慮すると $\pm 0.17^\circ$ ）と比較して小さいことが分かる。以上から、反射鏡を円弧形状に制御することで、十分な集光を実現できることが分かる。

3. 支持板の剛性

3.1 はりの検討 反射鏡部分の構造としては、鏡、鏡を保護するための裏板、反射鏡曲面形状制御用の支持板の三層構造を採用している。

2節のとおり、本装置では、反射鏡を円弧形状に制御することとしたが、反射鏡の中央を固定し、両端部を持ち上げるという単純な機構によってこれを実現するには、反射鏡部分の曲げ剛性を、持ち上げによる曲げモーメントに比例させれば良い。反射鏡部分の中央から半分を**図7**に示すような片持ちはりともみなした場合、このような

剛性分布のはりは「均等強さのはり」としてよく知られている。

はりの曲げの基礎式は式(2)のとおりであり、片持ちはりにおける曲げモーメント分布は式(3)で表される³⁾。

$$\frac{1}{R} = \frac{M}{E \times I} \quad \text{式(2)}$$

$$M = W \times (L - x) \quad \text{式(3)}$$

R : 曲率半径

M : 曲げモーメント

E : ヤング率

I : 断面2次モーメント

$$\text{長方形断面: } I = \frac{b \times h^3}{12}$$

b : はりの断面の幅

h : はりの断面の高さ

L : はり長さ

W : 持ち上げ力

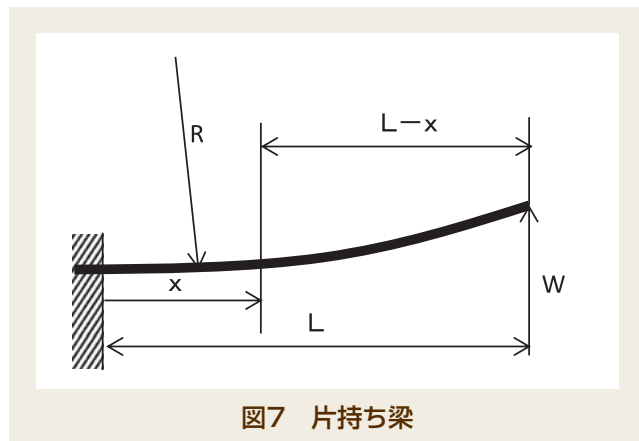


図7 片持ち梁

式(2)、(3)から、次の関係式が得られる。

$$\frac{1}{R} = \left(\frac{12}{Eh^3}\right) \times \frac{(L-x)}{b} \times W \quad \text{式(4)}$$

「均等強さのはり」としては、式(4)においてbを(L-x)に比例させる例と、h³を(L-x)に比例させる例が一般的で、ここでは前者を採用することとした。すなわちはりの形を三角形(幅bが固定点からの距離xに従って反比例的に減少する変断面はり)とし、片持ちはり先端に持ち上げ力を作用させることでRが一定となり、はりの形状は円弧になる。さらにWを変化させることで、Rの大きさを制御することができる。

反射鏡は前述(本章)のとおり3層構造を採用している。しかし、鏡の厚さを変化させるのは困難で、幅を減少させることは本末転倒であるため、鏡の剛性は理想的な円弧形状の実現を妨げる方向にしか作用しない。すなわち、鏡はできるだけ薄く剛性の低いものを選び、支持板は鏡に対してできるだけ高剛性とし、鏡の剛性をうち消すことで理想に近づく。しかし、支持板の高剛性は、一般に持ち上げ力の増大を招き、制御が困難になるので、その

剛性と反力のバランスを考慮して、支持板の形状寸法を決める必要がある。

3.2 支持板の形状寸法の検討 支持板に求められる性能は、精度の良い円弧形状を形成できる剛性分布を有しており、かつ、持ち上げ力が不必要に大きくなることである。そこで、図8に示すようなモデルで有限要素法コードABAQUSによる数値解析を実施して、支持板の形状が、これらの要件を満たすことを確認する。材料の機械特性と板の厚みを表2のように示す。モデルの解析条件は、以下のとおりである。

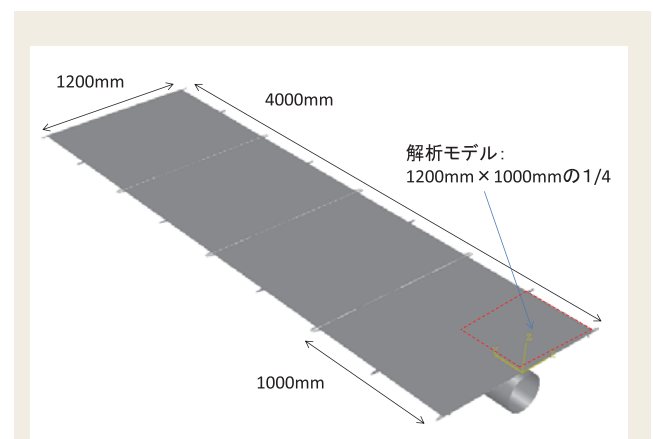
支持板(三角板)の寸法: 600×100(上辺5)mm
600×200(上辺10)mm

鏡, アルミ板: 600×500mm

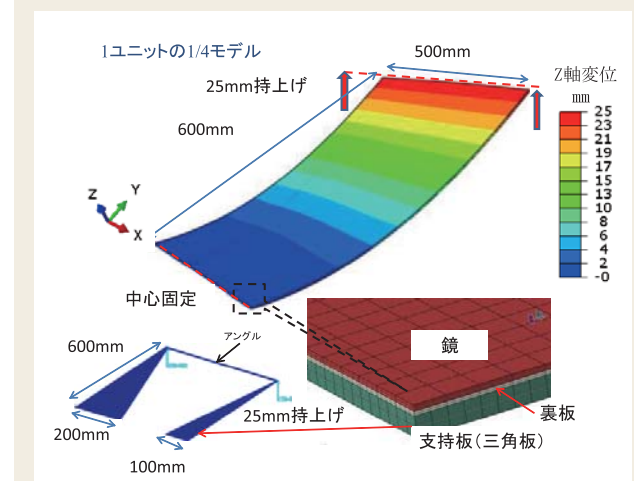
三角板端25mm持ち上げ、中心固定

表2 反射鏡用材料の機械特性と寸法

反射鏡	材料	弾性率	ポアソン	密度	G	厚さ
		MPa	比	kg/mm ³		mm
支持板	ss400	210000	0.3	7.85E-06	9.8	3.2
裏板	AL	71000	0.3	2.70E-06		0.6
鏡	Glass	70000	0.2	2.50E-06		0.95



(a) 反射鏡ユニットの寸法



(b) FEMモデル

図8 検討用のFEMモデル

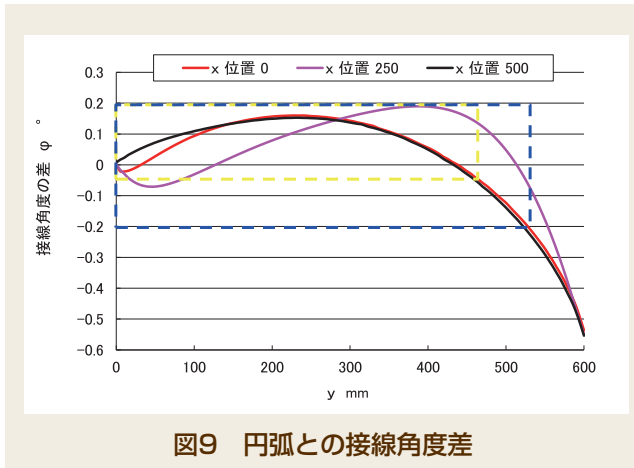


図9 円弧との接線角度差

図9にyを中心からの距離、xを横方向の距離として、 $x=0$ 、250および500mm位置における円弧（目標形状）と鏡表面との接線角度差 ϕ を示す。図9に黄色線で囲んだ、中心から450mmまでの範囲では接線角度差は $\pm 0.125^\circ$ 程度で、反射光の最大角度誤差は $\pm 0.25^\circ$ となり、鏡の幅75%以上で集光が期待できる。

図9に示す解析結果より、図8中に示すような三角形の支持板の寸法諸元は、円弧形状となるのに十分な剛性を有している。また、その際の反力は、126Nであり、容易に駆動可能である。

接線誤差がさらに小さくなる支持板を設計済みで、商用機で適用する予定である。

4. 耐久試験

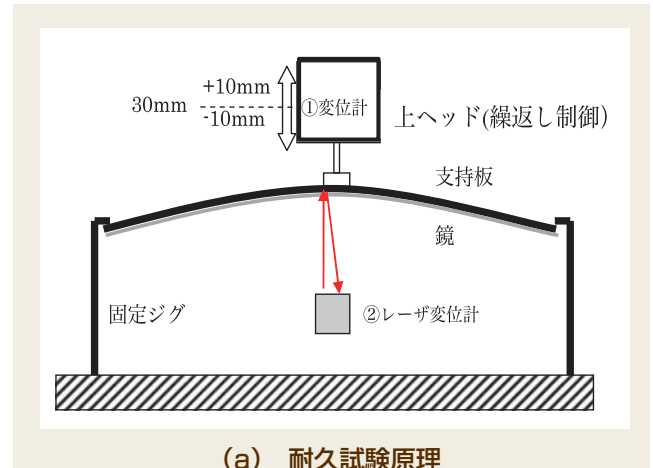
反射鏡は鏡、裏板、および支持板が接着された多層構造を採用している。そのため、接着箇所の耐久性が、使用期間中の幾何学効率の維持と精度に影響をおよぼす。そこで反射鏡と裏板の接着箇所の耐久性を調査するため、繰り返し曲げ試験を行った。

疲労試験機を用い、実際の反射鏡のたわみ量の最大値36mm（曲率半径5m）より厳しく、図10(a)に示すように変位量を約20mm～40mmに設定した曲げ疲労試験（载荷周波数1Hz）を実施した。図10(b)にレーザ変位計によりサンプリング周波数100Hzで計測した鏡の変位の時刻歴を示す。

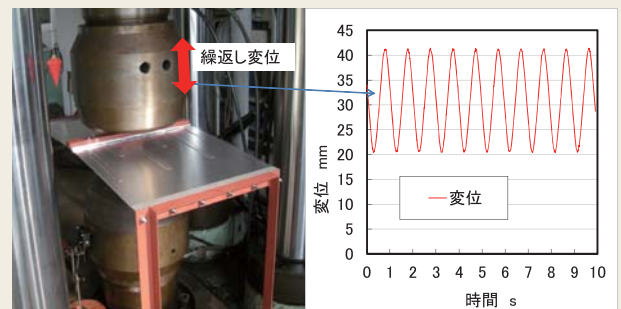
8000回の繰り返し曲げ試験を実施した。これは、反射鏡を20年使用したことに相当する。その結果、鏡と接着剤の間に剥離は見られず、また剛性の変化も認められず初期の状態を保っている。すなわち、鏡と裏板の間の接着箇所は十分な耐久性を有していることが分かる。

5. メインフレームのねじり剛性

図11に示すように、反射鏡はメインフレームに取付けられている。メインフレームは、傾動の為の回転力を伝達する働きをしている。そのため、メインフレームのねじり剛性が不十分であれば、反射鏡もメインフレームに追従して変形してしまい、その結果、最適な円弧形状を保



(a) 耐久試験原理



(b) 耐久試験の概略

図10 耐久試験

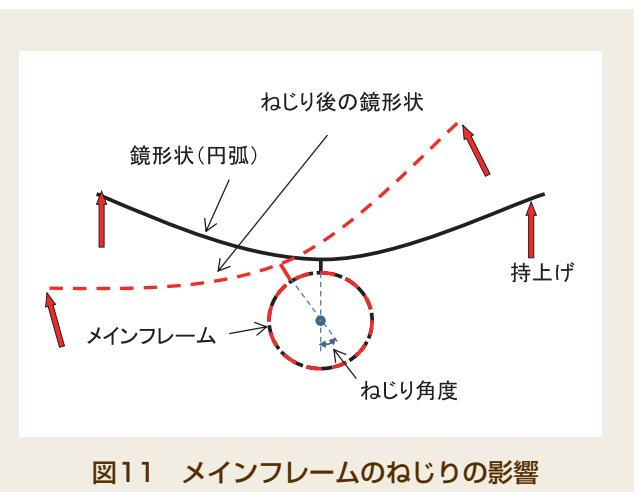


図11 メインフレームのねじりの影響

持できずに幾何学効率が低下する恐れがある。本節では、トルクを受けた際のメインフレーム変形量の影響を調べた。

5.1 メインフレームのねじり剛性 図12(a)に示すテスト機（1ユニット、長さ4m）のメインフレームの端部(カムと逆側)を固定用腕より固定して、载荷用腕(カム側)よりトルクを作用させ、その際のメインフレームの変位(Disp)と载荷(loadcell)を計測した。

傾動角度は変位計距離と変位量を計測して、算出する。ねじり角度に関しては、図12(b)に示すように変位計測位置Disp_1、Disp_7とDisp_8、Disp_9ラインの傾動角度の差から求める。

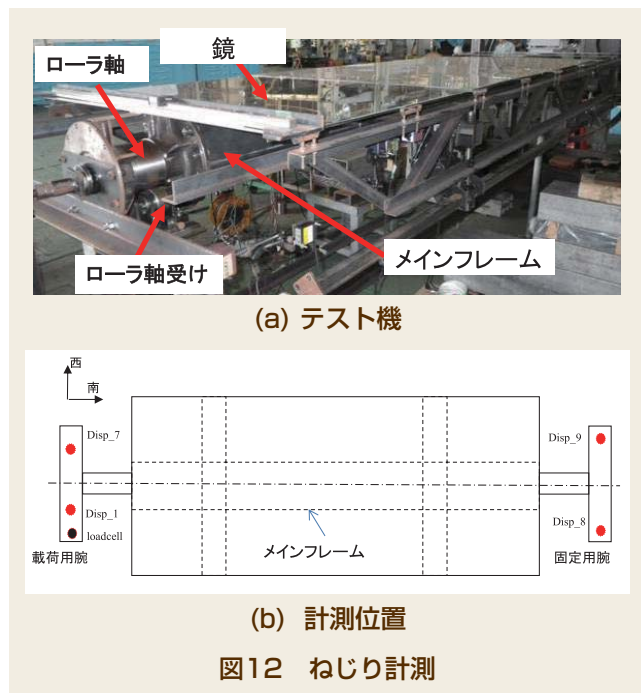
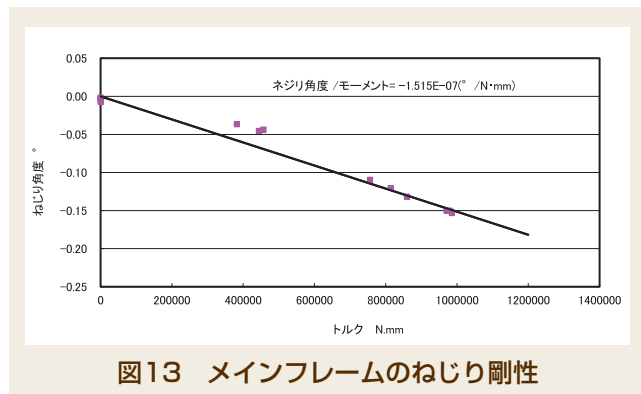


図13に、ねじり角度（傾動角度の差）とトルクとの関係を図示した。この関係からは、ねじり剛性は $1.515 \times 10E-7$ (° /N・mm)となる。次の節でこのねじり剛性値を用いて、ねじり角度を評価する。

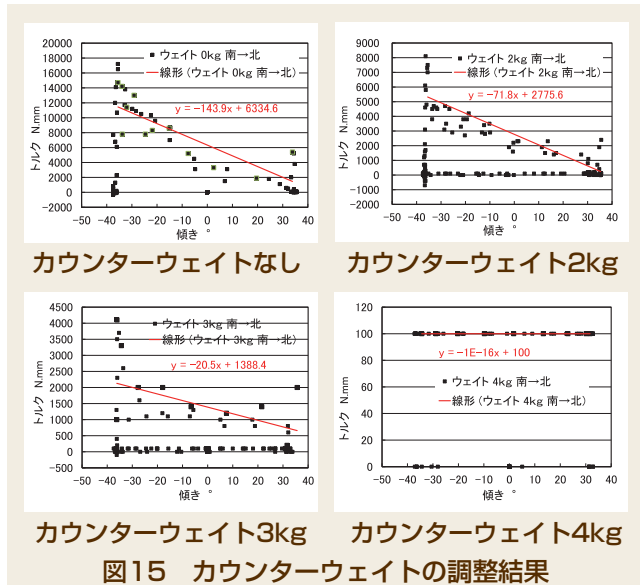


5.2 偏心荷重低減によるねじり角度への影響

偏心荷重によるトルクよりねじりが発生する。偏心荷重を低減するためには、フレームの回転中心と重心とを一致させる必要がある。そのため、フレームにカウンターウェイトを装着して重心位置を調整した。



図14に示すように、メインフレームの長手方向2カ所にカウンターウェイトを設置して、トルクの計測を行なった。



カウンターウェイトがトルクに及ぼす影響を図15に示す。これらの図よりカウンターウェイトの重量を増加させると、フレームを回転させるのに必要なトルクが小さくなる。

カウンターウェイトを4kg (2カ所合計8kg) 装着した時に、フレームを回転させると、トルクがほぼ一定 (100N・mm) となることより、自重偏心トルクはほぼ0と考えられる。即ち、摩擦トルクが100N・mmである。カウンターウェイトの追加により重力偏心荷重の影響をほぼ0にできる。

5.1節で述べたとおり、メインフレームねじり剛性は $1.515 \times 10E-7$ (° /N・mm) であることから、摩擦トルク (カウンターウェイト8kgの場合) による集光装置一台当たりのねじり角度は $100 \times 1.515E-7 = 1.52E-05$ °で、後述するパイロットプラントにおける最大ねじり角度は0.00017°となる。最悪のケースとして、このねじり角度がそのまま鏡の接線角度差として現れた場合を考えると、反射光の最大角度誤差はその倍の ± 0.00034 °となるが、これでも表1の反射光の許容誤差 ± 0.42 °と比較して十分に小さいことが分かる。

上述のことから、フレームは十分なねじり剛性を有していると考えられる。従って、反射鏡は適切な円弧形状を保持でき、幾何学効率に及ぼす影響は小さいと言える。

6. パイロットプラント

6.1 パイロットプラント 2011年にサウジアラビア海水淡水化公団 (SWCC: Saline Water Conversion Corporation) とパイロットプラントの共同実証試験を進めることに合意した。2012年10月より現地 (SWCC) で集光装置の組み立て・設備据付工事を開始し、2013年3月に完成した。パイロットプラントのシステムフローを図16に示す。直接太陽光が当たるレシーバーチューブでは熱媒油を循環させ最大340℃まで加熱する。熱交換器にて200℃弱の水蒸気を発生させる。

日射変動による運転ノウハウ、および設備の耐久性を確認し、さらには太陽熱発電プラントの建設に向けた基礎データを収集するために、2014年7月までの約1年半をかけて試験運転を実施し、データを収集していく。

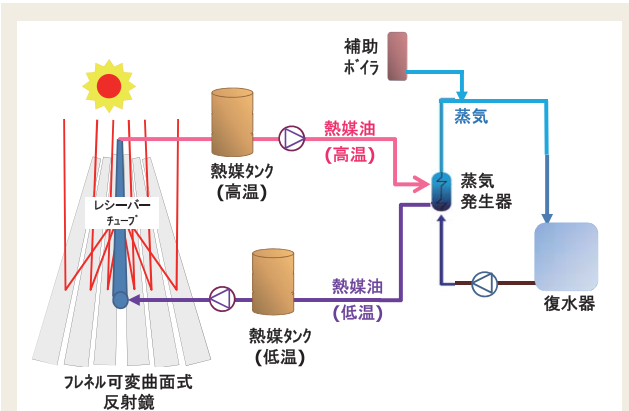


図16 パイロットプラントのシステムフロー（蒸気用）

パイロットプラントの仕様は以下のとおりである。

- 計画集熱管入口熱媒油温度：300℃
- 計画集熱管出口熱媒油温度：340℃
- 計画熱媒油（Therminol 66）流量：10.4m³/h
- 熱媒油タンク：22m³×2基（高温・低温）
- 計画熱回収量：390kWh（日射量：900W/m²）
- 発生蒸気：183℃、0.98MPaG、330kg/h

6.2 集光装置 図17にパイロットプラントの集光装置の概略を示す。2章から5章で得た知見をもとに設計されており、レシーバーチューブの東西に各3列、合計6列の反射鏡列で構成される。

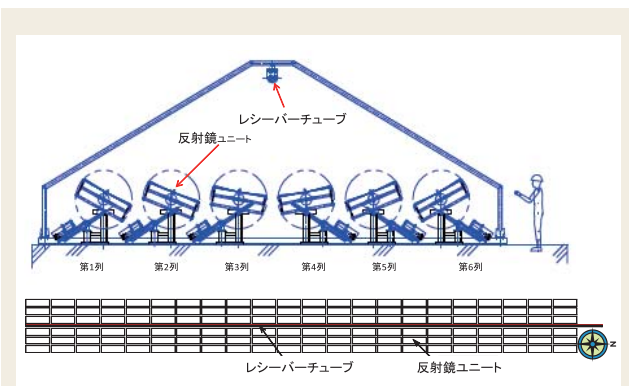


図17 集光装置の概略

集光装置の仕様は以下に示すとおりである。

- 集光装置設置エリア：東西幅12.7m×南北長103m
- 138式の反射鏡フレーム（鏡総面積662.4m²）
- 1.2m×4m×23 フレーム/列
- 6列（平行設置）、全鏡幅 7.2m
- 全長 94m
- フレーム高さ 1.2m
- 1列のレシーバーチューブ（購入品）
- 高さ 3.8m
- 品名 Schott PTR70
- 全長 98m

6.3 目標の幾何学効率（インターセプト係数）

図18に熱回収部であるレシーバーチューブの断面図を示す。光学効率を次のように定義する。

光学効率 = (熱媒の吸収熱量 + ロス熱量)

/ 入射太陽熱量 (有効直達日射)。

熱媒の吸収熱量：実際の熱媒流量と温度差より計算

ロス熱量：レシーバーチューブからの放熱量、

実際の熱媒温度から近似式にて計算。

入射太陽熱量：実際の直達日射量（面積当たり）

×鏡総面積

×太陽の入射角による損失係数 (IAM)

(IAM: Incident angle modifier、太陽の入射角によりコサイン効果・シェーディング・ブロッキング等により損失する割合、各コレクター固有の値で東西方向・南北方向に分けて算出し掛け合わせる、天頂では損失無し=係数1.0)

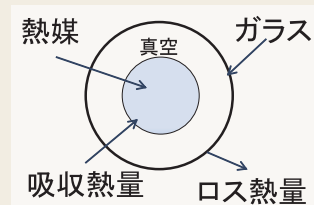


図18 レシーバーチューブ断面

計画時の最高光学効率は、(390kW+9kW) / (900W/m² × 662.4m²) = 67%である。

集光性能から考えると、光学効率 = 反射鏡の反射率 × 集熱チューブ透過・吸収率 × 反射鏡の幾何学効率（インターセプト係数）という関係式が成り立つ。

鏡の反射率を0.93 (AGC: SunMirox)、レシーバーチューブの透過・吸収率を0.94 (schott: PTR70) とすると、反射鏡面曲げ制御方式の幾何学効率を逆算することができる。計算すると、光学効率 / (鏡の反射率 × チューブの透過・吸収率) = 0.67 / (0.93 × 0.94) = 0.77

すなわち、計画幾何学効率は77%である。

6.4 パイロットプラントの運転結果 パイロット試験では、図16システムフローの通りレシーバーチューブを熱媒油が循環している。熱媒油の流量およびレシーバーチューブ入口/出口の熱媒油温度差を実測し、熱媒の吸収熱量を求める。

図19にデータの一例を示す。データから計算した結果は運転期間の平均値で光学効率74%、幾何学効率88%を確認できた。

トラフ式と比較するために、集光幅 × 列 × 幾何学効率 / レシーバーチューブの直径を用いて単純な集光倍率を計算したところ、90.5倍になった。これはトラフ式の最大集光倍率と同等である。

これらの実測結果が計画より大幅に良いのは、汚れ防止としてレシーバーチューブの上に半円状の汚れ防止カバー兼簡易二次反射鏡を取り付けたことによるもので、取り付け前は、ほぼ計画値通りの効率を確認している。

性能	熱回収量 kW	ロス熱量 kW	有効直達熱量 kW	光学効率 η_{opt} %	幾何学効率 %
max	188	5	249	80	95
min	69	4	94	60	71
mean	148	5	209	74	88

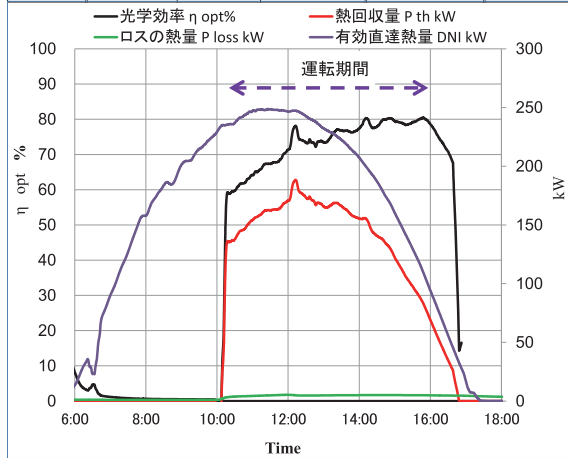


図19 データの一例(二次反射鏡設置)

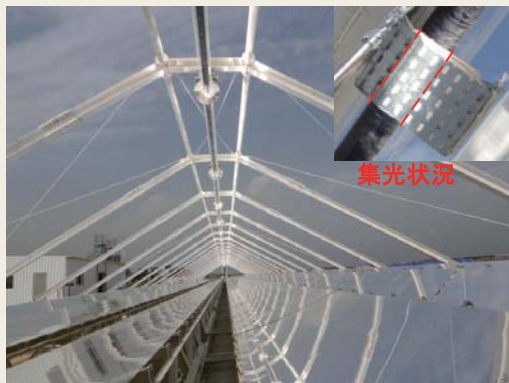


図20 パイロットプラントの集光状況

パイロットプラントの集光状況を図20に示す。鏡面曲げ制御方式によるパイロットプラント運転の結果、太陽の位置が刻々と変わっても焦点がレーザー径70mmからほぼはずれず、計画通りの効率(簡易二次反射鏡により計画以上の効率)を確認した。

7. 結 言

当社開発の超低設置フレネル式太陽光集光装置の特徴を以下にまとめる。

- (1) レシーバー高さが3.8m、反射鏡高さが1.2mと超低設置、コンパクトな集光装置である。
- (2) 鏡面曲げ制御方式を採用したフレネル式にてトラフ式

相当の集光倍率80倍以上を実現し、トラフ式にて確立された熱回収システムをそのまま使用できる。

おわりに、当社としては、サウジアラビアでのパイロットプラントにて開発集光装置の基本性能、日射変動による運転ノウハウ、設備の耐久性などを確認し、本年度より太陽熱発電集光装置の販売を開始する予定である。

また、本開発集光装置の特徴である超低設置は、その耐風性・耐震性の高さから、日本を含む温帯モンスーン地帯の風土にも適している。日本では太陽熱発電に必要な直達日射が十分でないとの考えもあるが、再生可能エネルギーの導入を推進する上で、当社開発集光装置を含めて、太陽光、風力等の先端技術と同様に太陽熱の利用を見直すべきであり、既にその動きが始まっている。

当社開発集光装置が、日本のエネルギー政策に貢献出来れば幸いである。

参考文献

- 1) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽熱発電の技術動向及び開発目標に関する検討、**2013-02**。
- 2) 西村啓道：集光型太陽熱発電(CSP)方式とその現状、THE CHEMICAL TIMES, **2012**, No.4(通巻226)。
- 3) 竹園茂男：基礎材料力学、朝倉書店、**2002**, 43-51。

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) 技術開発本部
技術研究所 機械・インフラ研究室
馬 東輝

Tel : 06-6551-9692 Fax : 06-6551-9841

e-mail : ma_d@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Technology Development Headquarters
Technical Research Institute
Machinery & Infrastructure Laboratory
Donghui Ma

Tel : +81-6-6551-9692 Fax : +81-6-6551-9841

e-mail : ma_d@hitachizosen.co.jp



馬 東 輝



芦 田 史 史



小 坂 浩 史



井 本 浩 一