

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2006年3月9日 (09.03.2006)

PCT

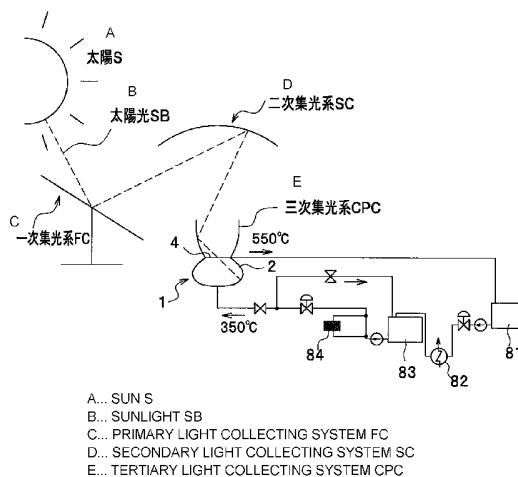
(10) 国際公開番号
WO 2006/025449 A1

- (51) 国際特許分類:
F24J 2/24 (2006.01) F24J 2/23 (2006.01)
F24J 2/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/015908
- (22) 国際出願日: 2005年8月31日 (31.08.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-253499 2004年8月31日 (31.08.2004) JP
特願2004-326788
2004年11月10日 (10.11.2004) JP
特願2005-059744 2005年3月3日 (03.03.2005) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人 東京工業大学 (TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1528550 東京都目黒区大岡山2-12-1 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 玉浦 裕 (TAMURA, Yutaka) [JP/JP]; 〒1528550 東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大学法人 東京工業大学内 Tokyo (JP). 吉澤 善男 (YOSHIZAWA, Yoshio) [JP/JP]; 〒1528550 東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大学法人 東京工業大学内 Tokyo (JP). 宇多村 元昭 (UTAMURA, Motoaki) [JP/JP]; 〒1528550 東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大学法人 東京工業大学内 Tokyo (JP). 蓮池 宏 (HASUIKE, Hiroshi) [JP/JP]; 〒1050003 東京都港区西新橋1-14-2 財団法人エネルギー総合工学研究所内 Tokyo (JP).

/ 続葉有 /

(54) Title: SUNLIGHT HEAT COLLECTOR, SUNLIGHT COLLECTING REFLECTION DEVICE, SUNLIGHT COLLECTING SYSTEM, AND SUNLIGHT ENERGY UTILIZING SYSTEM

(54) 発明の名称: 太陽光集熱器、太陽光集光用反射装置、太陽光集光システムおよび太陽光エネルギー利用システム



(57) Abstract: There is provided a sunlight heat collector having a heat collector formed by winding a thermal medium flowing pipe inside which a thermal medium flows in a spiral form so as to have an embowed light reception surface converting toward the sunlight introduction entrance. There is also provided a sunlight collecting reflection device formed by reflection mirrors consisting of a plurality of reflection mirror segments, each of which has a reflection surface for converting the sunlight to the light collector. Furthermore, there is provided a sunlight collecting system including a plurality of heliostats An and a plurality of heliostats Bm arranged at the places between the heliostats An to which the sunlight reaches, so that the heliostats An and the heliostats Bm form reflected light toward a light collecting point of the heliostat group to which each of the heliostats belongs. There is also provided a sunlight energy utilizing system for collecting the sunlight by the sunlight collecting system.

(57) 要約: 太陽光導入口に向かって収束する湾曲状の受光面を有するように、熱媒体が内部を流通する熱媒体流通管を螺旋状に巻回して形成された集熱体を備える太陽光集熱器、複数の反射鏡セグメントからなる反射鏡群で構成され、各反射鏡セグメントは、前記集光器に太陽光を収束させる反射面を有する太陽光集光用反射装置、複数のヘリオスタットAnの間の太陽光が照射されている場所に、複数のヘリオスタットBmを配置し、ヘリオスタットAnおよびヘリオスタットBmが、各

/ 続葉有 /

WO 2006/025449 A1



石原 英之 (ISHIHARA, Hideyuki) [JP/JP]; 〒1528550
東京都目黒区大岡山 2-1-2 国立大学法人 東京
工業大学内 Tokyo (JP). 高松 忠彦 (TAKAMATSU,
Tadahiko) [JP/JP]; 〒1460092 東京都大田区下丸子
4-2-1-15-2704 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 磯野 道造 (ISONO, Michizo); 〒1020093 東京
都千代田区平河町 2 丁目 7 番 4 号 砂防会館別館内
磯野国際特許商標事務所気付 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護
が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR,
HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU,

SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可
能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,
SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

太陽光集熱器、太陽光集光用反射装置、太陽光集光システムおよび太陽光エネルギー利用システム

技術分野

[0001] 本発明は、太陽光集熱器、太陽光集光用反射装置、太陽光集光システムおよび太陽光エネルギー利用システムに関し、特に、太陽光エネルギーの利用効率が高い太陽光集熱器および太陽光集光用反射装置、太陽光の集光効率が高い太陽光集光システムおよび集光された太陽光の熱エネルギーを有効活用する太陽光エネルギー利用システムに関する。

背景技術

[0002] 近年、太陽光を集光して得られる熱エネルギーを、発電システム、化学反応プロセスなどの各種のシステムやプロセスの熱源として利用する装置およびシステムとして、太陽光集熱器および太陽光集光システム、ならびに集光された太陽光の熱エネルギーを利用する太陽光エネルギー利用システムの開発および実用化が進められている。例えば、米国エネルギー省によるSolar IIプロジェクトでは、地上に配置された多数の反射鏡(以下、「ヘリオスタット」という)によって太陽光の反射光を高さ100m程度の一本のタワーの頂部に設置した集熱器に集光させる集光システム(タワー方式)の実証試験が行われた。この集光システムでは、集熱器における太陽光の集光位置に複数のパイプを平行に並べて配置して、パイプの中を流通する熔融塩を集光された太陽光の熱エネルギーによって間接的に加熱し、加熱された熔融塩の熱で発生させた蒸気を蒸気タービンに供給して発電を行う試験が行われた(非特許文献1参照)。

[0003] しかし、このSolar IIプロジェクトで用いられた装置では、太陽光の受光面、すなわち、パイプの外周面が外気に曝されているため、風によって受光面から多くの熱が奪われるとともに、受光面における太陽光の反射、受光面からの熱輻射が周囲に散逸する。したがって、入射した太陽光のエネルギーに対して熔融塩の加熱に実際に使われる熱エネルギーの割合が小さくなる。そのため、太陽光の利用効率に限界がある。

[0004] また、非特許文献2には、図40に示すように、地上に配置された複数のヘリオスタッ

ト61からの反射光の集光点Fの手前の高所に集光用反射鏡62を配置し、その集光用反射鏡62によって太陽光を地上に向けて下向きに反射させ、地上付近に設けた集熱器63に集光させる太陽光集光システム(ビームダウン方式)が開示されている。そして、この太陽光集光システムで用いる集熱器として、二重の入れ子構造の円錐台形に形成された集熱容器の隙間に形成された環状流路に熔融塩を流し、太陽光を集熱容器の内側から照射して熔融塩を間接的に加熱する装置が記載されている。

[0005] しかし、この非特許文献2では、集熱器の装置形状を最適化することに関しては何ら検討されていない。また、この集熱器では、環状流路中の熔融塩の流速が遅く、日射量に変化がある場合に、集熱器出口における熔融塩の温度の変動に対する温度制御の応答時間が遅れるために、流量制御による微妙な温度制御が困難である。さらに、二重の円錐台形という複雑な形状の大型の装置を製作することは、困難であるため、商業的実用化が難しい。

[0006] さらに、図40に示すビームダウン方式の太陽光集光システムは、太陽光の利用効率は向上するが、ヘリオスタットの設置範囲が半径百mの集光システムの場合、集光用反射鏡62は半径数十m以上、設置高さは100m程度になる。この場合、反射鏡は、大きな風圧を受け、風の脈動によって反射鏡の位置がずれたり反射鏡自体が変形したりして、集光精度が低下する。また、荒天時の強風に耐えるために反射鏡を支える構造を強固なものにする必要があり、建設費が高額になる。こうした問題に対処するため、反射鏡を小さなセグメントに分けて隣のセグメントを隙間を空けて設置する、一定の割合でセグメントを間引きしてそこに風を通過させる穴を設ける、といった対策が考案されてきている。しかし、これらの方法では、ヘリオスタットによって集光されて反射鏡の間の隙間の部分に到達した太陽光は利用することができず、その結果、集光効率が低下する。また、1) 太陽光が反射鏡で折り返すので光路長が長くなることに起因して、受光面(焦点面)での焦点の拡がり相対的に大きくなる結果、集熱器63を大きくせざるを得ない。さらに、2) 前記の1)に起因する集光不足で、集熱器63において、熔融塩で熱を回収する場合には、熔融塩の十分な昇温が得られない。3) 集熱器63を地表近くに設置する場合、集光用反射鏡62は回転双曲面になるので、受光面での入射光熱流束が焦点近傍に偏る現象が生じる。これは、改質反応炉等

のように、熱流束が均一に入射される方が有利なシステムに適用する場合には好ましくない特性で、その平坦化もビームダウン集光方式で解決すべき課題である。

[0007] 次に、非特許文献1および非特許文献2に開示されている太陽光集光システムは、複数のヘリオスタットによって形成される1つの集光点に、集熱器または集光用反射鏡を設けた構成を有する。しかし、これらの太陽光集光システムは、未だ実験段階の比較的集光量が少ないシステムであり、商業規模で十分に利用可能な集光量を得ることができる大規模な集光システムを構築する場合、大型化に伴って発生する問題に対応できるものではなかった。例えば、集熱器または反射鏡の設置高さは、前記のとおり、集熱器または反射鏡が受ける風圧の影響によって、実際上は制限がある。

[0008] また、非特許文献3には、複数のタワーを配置した集光システムが提案されている。しかし、この集光システムでは、ヘリオスタットを全数直近のタワーに帰属させて集光しているため、例えば、北半球に集光システムを設置した場合には、タワーの南側でヘリオスタットの数密度が大となり、非効率的である(同じ光量を得るに要するヘリオスタットの数が増える)。

[0009] ところで、従来、実験または提案されている太陽光集光システムでは、タワーから離れた位置に配置される遠方のヘリオスタットでは、隣接ヘリオスタットとの間で光の遮りが発生し、それを避けるためにヘリオスタットをまばらにしか置けない。すなわち、地面に配置された多数のヘリオスタットは、光の干渉を避けるため、相互に適当なスペースを保って配置されるが、タワーから離れた位置では、隣接するヘリオスタット同士による反射光の遮り(以下、「ブロッキング」と称す)を回避するのに必要な距離が長く、反射鏡を疎に配置せざるを得ない。このため、下記の(a)、(b)等の問題がある。

(a) 太陽光が照射されても、その太陽光を反射するヘリオスタットが配置できない未利用の明るい地面が残り、地面に降り注ぐ太陽光の一部しか利用できない。例えば、従来の集光システムの場合、日本の緯度で春分正午の太陽光の利用効率は約40%と試算される。そして、この利用効率は、集光量を多くするため、集光システムを大型化するに伴って、低下する。

(b) ヘリオスタットから集熱器または集光用反射鏡までの反射光の光路長が長くなり、反射鏡面(焦点面)での焦点の広がり相対的に大きくなる。その結果、下記のような

問題も発生する。

(b-1) 集熱器または集光用反射鏡を大きくせざるを得ず、そのため、集光倍率が下がる。

(b-2) 集光倍率が下がるため、集光された太陽光の熱エネルギーを回収する集熱器に配置される熱媒体の温度が下がる。この影響は、図33に示すようなビームダウン型の集光システムで顕著となる。

こうした大型化に伴って生じる集光効率、利用効率の低下等の問題は、集光システムの大型化によって広い面積にヘリオスタットを設置するほど顕著に現れ、大型集光システムを構築する際のネックになっている。

非特許文献1: J.E. Pacheco and R. Gilbert, "Overview of Recent Results for the Solar Two Test and Evaluations Program." Proceedings of the 1999 ASME International Solar Energy Conference: Renewable and Advanced Energy Systems for 21st Century, Maui, Hawaii(1999).

非特許文献2: E. Epstein, A. Segal and A. Yogev, "A molten salt system with a ground base-integrated solar receiver storage tank." J. Phys. IV France 9, 95-104(1999).

非特許文献3: Phillipp Schramek, David R. Mills, "Multi-tower solar array", Solar Energy 75(2003) 249-260.

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0010] そこで、本発明の第1の目的は、太陽光の熱エネルギーを高効率かつ高品質で回収して、熱媒体に蓄熱する太陽光集熱器を提供することにある。
- [0011] また、本発明の第2の目的は、前記太陽光集熱器によって熱媒体に蓄熱された太陽光の熱エネルギーを有効活用するシステムを提供することにある。
- [0012] 本発明の第3の目的は、耐風圧設計が容易で、集熱器における受光面(焦点面)での焦点の拡がりや抑制されるとともに、受光面での入射光熱流束を制御できる太陽光集光用反射装置を提供することにある。
- [0013] また、本発明の第4の目的は、前記太陽光集光用反射装置で集光された太陽光の熱エネルギーを有効活用する太陽光エネルギー利用システムを提供することにある。

[0014] 本発明の第5の目的は、太陽光を高集光効率で集光することができる太陽光集光システムを提供することにある。

[0015] また、本発明の第6の目的は、前記太陽光集光システムによって集光された太陽光の熱エネルギーを有効活用する太陽光エネルギー利用システムを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0016] 本発明は、前記第1の目的を達成するため、第1Aの発明として、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、前記集熱体に熱媒体を導入する熱媒体導入部と、前記太陽光導入口から導入された太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であって、前記集熱体は、前記太陽光導入口に向かって収束する湾曲状の受光面を有するように、前記熱媒体が内部を流通する熱媒体流通管を螺旋状に巻回して形成されたことを特徴とする太陽光集熱器を提供する。

[0017] 第1Aの発明の太陽光集熱器では、前記太陽光導入口に向かって収束する湾曲状の受光面を有するように、前記熱媒体が内部を流通する熱媒体流通管を螺旋状に巻回して形成された集熱体において、前記太陽光導入口から導入され、受光面に照射された太陽光によって熱媒体流通管の内部を流通する熱媒体が加熱されて前記熱媒体導出口から導出され、熱媒体に蓄熱される熱エネルギーが利用される。このとき、集熱体が、前記太陽光導入口に向かって収束する湾曲状の受光面を有するように形成されているため、太陽光導入口から外部に散逸する反射光を少なくすることができるため、太陽光の利用率(熱に変換される割合)を高めることができる。また、高温になった受光面から発生する熱輻射についても、同様に外部への散逸を少なくすることができる。これにより、輻射による熱損失を低減し、さらに、風等の空気の流れに伴う熱損失も低減することができる。

[0018] また、本発明は、前記第1の目的を達成するため、第1Bの発明として、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、前記集熱体の上部に設けられた熱媒体導入部と、前記集熱体の底部に設けられ、前記太陽光導入口から導入された太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であって、前記集熱体は、前記熱媒体導

入部から前記受光面の表面に沿って熱媒体を液膜流下させて前記熱媒体導出部から熱媒体を導出させ直接的に熱媒体を照射加熱するように構成されたことを特徴とする太陽光集熱器を提供する。

[0019] 第1Bの発明の太陽光集熱器では、前記熱媒体導入部から前記受光面の表面に沿って熱媒体を液膜流下させて前記熱媒体導出部から熱媒体を導出させるように構成された集熱体によって、前記太陽光導入口から導入され、受光面に照射された太陽光によって受光面の表面に沿って液膜流下する熱媒体に直接太陽光が当たり加熱されて前記熱媒体導出口から導出され、熱媒体が蓄熱することにより熱エネルギーが利用される。このとき、太陽光が熱媒体を直接加熱するので、集熱体の構造材は液膜を介して間接的に加熱されるので、その温度上昇を抑制でき耐熱設計に余裕が生じ、また、集熱体を小型化できる。

[0020] また、本発明は、前記第2の目的を達成するため、第2の発明として、前記第1Aの発明または第1Bの発明の太陽光集熱器を備える太陽光エネルギー利用システムを提供する。

[0021] この太陽光エネルギー利用システムでは、前記太陽熱集熱器から導出される熱媒体の蓄熱エネルギーを、発電システム、化学反応プロセスなどの各種のシステムや海水淡水化設備などのプロセスの熱源として利用することができる。このとき、第1の発明および第2の発明の太陽光集熱器を使用するため、太陽光を熱エネルギーとして利用する効率が高いシステムを構成することができる。

[0022] また、前記第3の目的を達成するため、第3の発明として、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を反射して集熱器に収束させる太陽光集光用反射装置であって、複数の反射鏡セグメントからなる反射鏡群で構成され、各反射鏡セグメントは、前記集熱器に太陽光を収束させる反射面を有することを特徴とする太陽光集光用反射装置を提供する。

[0023] この第3の発明の太陽光集光用反射装置は、複数の反射鏡セグメントで構成される反射鏡群によって、1次反射鏡によって集光される太陽光を効率よく、集熱器に収束させることができるとともに、各反射鏡セグメントを小さくして耐風圧設計が容易となる。

- [0024] この太陽光集光用反射装置において、前記反射鏡群を構成する各反射鏡セグメントの反射面が、前記太陽光の集光点を共焦点とし、相異なる曲率半径を有する回転二次曲面に沿って配置される。
- [0025] これによって、前記反射鏡群を構成する各反射鏡セグメントの反射面が、前記太陽光の集光点を共焦点とし、相異なる曲率半径を有する回転二次曲面に沿って配置されていることによって、光の収束性が増すので、集熱器における受光面の拡がりが増加され、従来よりも小さな集熱器に太陽光エネルギーを集光できる。
- [0026] また、この太陽光集光用反射装置において、前記反射鏡群が、前記集光点から前記集熱器に向かう方向に沿って配置された n 個(n は2以上の整数)の反射鏡セグメントで構成され、前記集光点 F_1 に近い側から k 番目の反射鏡セグメント S_k の反射面が配置される回転二次曲面の曲率半径 R_k (k は $1 < k \leq n-1$ の整数)と、 $k+1$ 番目の反射鏡セグメント S_{k+1} の反射面が配置される回転二次曲面の曲率半径 R_{k+1} とが、 $R_k < R_{k+1}$ となるように構成される。
- [0027] これによって、前記集光点から前記集熱器に向かう方向に沿って配置された n 個(n は2以上の整数)の反射鏡セグメントからなる反射鏡群において、集光点に近い側から k 番目の反射鏡セグメント S_k の反射面が配置される回転二次曲面の曲率半径 R_k (k は $1 < k \leq n-1$ の整数)と、 $k+1$ 番目の反射鏡セグメント S_{k+1} の反射面が配置される回転二次曲面の曲率半径 R_{k+1} とが、 $R_k < R_{k+1}$ となるように構成されていることによって、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を各反射鏡セグメントで反射して集熱器に収束させることができる。
- [0028] さらに、この太陽光集光用反射装置は、前記反射鏡セグメントの反射面が、前記回転二次曲面の一部で形成される。
- [0029] これによって、回転二次曲面の一部で形成される各反射鏡セグメントの反射面によって、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を反射して集熱器に収束させることができる。
- [0030] また、太陽光集光用反射装置は、前記反射鏡セグメントの反射面が、前記回転二次曲面の接平面で形成される。

これによって、前記反射鏡セグメントの反射面が、前記回転二次曲面の接平面で形

成されていることによって、集熱器の受光面での入射光熱流束を制御して、均一な熱流束によるエネルギーの平坦化が可能となる。

[0031] また、太陽光集光用反射装置は、前記反射鏡セグメントの反射面が、前記回転二次曲面の一部または接平面である複数の反射鏡ユニットの集合体で構成される。

[0032] これによって、反射鏡セグメントが、前記回転二次曲面の一部または接平面である複数の反射鏡ユニットの集合体で構成される反射面を有することによって、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を複数の反射鏡ユニットで構成される反射面で反射して集熱器に収束させることができ、しかも各反射鏡セグメントにおける反射面の形態を反射鏡ユニットで調整することができる。

[0033] また、太陽光集光用反射装置は、前記回転二次曲面が、回転双曲面および回転楕円面から選ばれる少なくとも1種の曲面である。

[0034] これによって、前記回転二次曲面が、回転双曲面および回転楕円面から選ばれる少なくとも1種の曲面であることによって、各反射鏡セグメントの反射面が、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を反射して集熱器に収束させることができる。

[0035] また、この太陽光集光用反射装置は、前記複数の反射鏡セグメントが、前記複数の1次反射鏡によって前記集光点に向けて集光される太陽光およびその反射光の光路上で重複しないように配置される。

[0036] これによって、前記複数の1次反射鏡によって前記集光点に向けて集光される太陽光およびその反射光の光路上で重複しないように、前記複数の反射鏡セグメントが配置されていることによって、各反射鏡セグメントの反射面が、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を反射して集熱器に効率的に収束させることができる。

[0037] さらに、この太陽光集光用反射装置は、前記反射鏡セグメントの反射面が、前記回転二次曲面に沿って、前記太陽光の集光点と前記集熱器の集光面の中心とを結ぶ中心線を軸中心とする環状に形成されることが好ましい。この環は円環でも円弧でもよく、その形状は複数の一次反射鏡の配置方法に応じて最適に決められる。

これによって、前記反射鏡セグメントの反射面が、前記回転二次曲面に沿って、前

記太陽光の集光点と前記集熱器の集光面の中心とを結ぶ中心線を軸中心とする環状に形成されていることによって、各反射鏡セグメントの反射面が、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を反射して集熱器に収束させることができる。

[0038] さらに、前記第4の目的を達成するため、第4の発明として、前記の太陽光集光用反射装置を備えることを特徴とする太陽光エネルギー利用システムが提供される。

この太陽光エネルギー利用システムでは、前記太陽光集光用反射装置によって効率よく集熱器に収束させた太陽光の熱エネルギーを利用して、発電、合成燃料製造、各種化学プロセスあるいは海水淡水化設備の熱エネルギー源として使用することができる。

[0039] また、この太陽光エネルギー利用システムは、前記集熱器が、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、前記集熱体に熱媒体を導入する熱媒体導入部と、前記太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であって、前記集熱体は、前記太陽光導入口に向かって収束する湾曲状の受光面を有するように、前記熱媒体が内部を流通する熱媒体流通管を螺旋状に巻回して形成された太陽光集熱器であると、好ましい。

[0040] この太陽光エネルギー利用システムでは、前記太陽光集光用反射装置によって効率よく集熱器に太陽光の熱エネルギーを収束させるとともに、収束された太陽光の熱エネルギーを、輻射による熱損失を低減し、さらに、風等の空気の流れに伴う熱損失も低減して、熱媒体に蓄熱される熱エネルギーを効率的に利用することができる。

[0041] さらに、この太陽光エネルギー利用システムは、前記集熱器が、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、前記集熱体の上部に設けられた熱媒体導入部と、前記集熱体の底部に設けられ、前記太陽光導入口から導入された太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であって、前記集熱体は、前記熱媒体導入部から前記受光面の表面に沿って熱媒体を液膜流下させて前記熱媒体導出部から熱媒体を導出させ直接的に熱媒体を照射加熱するように構成された太陽光集熱器であるこ

とが、好ましい。

- [0042] この太陽光エネルギー利用システムでは、前記太陽光集光用反射装置によって効率よく集熱器に太陽光の熱エネルギーを収束させるとともに、収束された太陽光の熱エネルギーが、液膜流下する熱媒体に蓄熱され、効率的に利用することができる。このとき、太陽光が熱媒体を直接加熱するので、集熱体の構造材の温度上昇を抑制でき耐熱設計に余裕が生じ、また、集熱体を小型化できる。
- [0043] また、前記第5の目的を達成するため、第5の発明として、複数のヘリオスタット群を備え、各ヘリオスタット群は、そのヘリオスタット群を構成する複数のヘリオスタットによって、それぞれ太陽光の集光点を1つ形成する太陽光集光システムであって、一の集光点Faに太陽光を集光させるヘリオスタット群Aを構成する複数のヘリオスタット A_n (n は2以上の整数)が隣接するスペースのうち太陽光が地面に照射されている場所に、他の集光点Fbに太陽光を集光させるヘリオスタット群Bを構成する複数のヘリオスタット B_m (m は2以上の整数)を配置し、ヘリオスタット A_n による反射光の光路と、ヘリオスタット B_m による反射光の光路とが、各ヘリオスタットが属するヘリオスタット群の集光点に向けて形成されるようにヘリオスタット A_n およびヘリオスタット B_m が配置されていることを特徴とする太陽光集光システムが提供される。
- [0044] この太陽光集光システムでは、ヘリオスタット群Aを構成する複数のヘリオスタット A_n (n は2以上の整数)の間のブロッキングによって、未利用の太陽光が照射されている場所に、他の集光点Fbに太陽光を集光させるヘリオスタット群Bを構成する複数のヘリオスタット B_m (m は2以上の整数)を配置し、ヘリオスタット A_n による反射光の光路と、ヘリオスタット B_m による反射光の光路とが、各ヘリオスタットが属するヘリオスタット群の集光点に向けて形成されるようにヘリオスタット A_n およびヘリオスタット B_m を配置することによって、ブロッキングによって地面に陽が差している領域が消失し、ヘリオスタットが設置される領域に降り注ぐ太陽光をほぼ全部、複数の集光点に集光させて、集光された太陽光のエネルギーを回収できる。したがって、ヘリオスタットを設置する領域に降り注ぐ太陽光の全光量に対して、実際にヘリオスタットで集光してエネルギーとして利用できる太陽光の光量の割合であるフィールド効率は100%に近づけることができる。

[0045] この太陽光集光システムにおいて、前記ヘリオスタットAnと、前記ヘリオスタットBmとは、同一または異なる形態を有することが好ましい。

[0046] 前記ヘリオスタットAnと、前記ヘリオスタットBmとが同一の形態を有する場合は、複数のヘリオスタットを配置してヘリオスタット群を構成して、まず、一の集光点を形成し、そして、配置したヘリオスタットの間の太陽光が照射されている場所に、他の複数のヘリオスタットを、反射鏡面を前記配置したヘリオスタットとは異なる方向に向けたヘリオスタット群を構成して、他の集光点を形成することによって、集光効率の向上を図ることができる。また、この場合、ヘリオスタットの製造、設置位置等が容易となる利点がある。一方、前記ヘリオスタットAnと、前記ヘリオスタットBmとが異なる形態を有するものである場合は、いずれか一方のヘリオスタットを複数配置して一の集光点を形成し、その配置したヘリオスタットの間の太陽光が照射されている場所に、異なる形態のヘリオスタットを配置して他の集光点を形成することによって、集光効率の向上を図ることができる。この場合には、いずれか一方のヘリオスタット群を構成するヘリオスタットを、他方のヘリオスタット群を構成するヘリオスタットの形状、形態等に対応して、その配置したヘリオスタットの間の太陽光が照射されている場所に適合した形態のものとして集光効率の向上を図ることができる利点がある。

[0047] また、この太陽光集光システムは、北半球では前記一の集光点Faの北側に、南半球では前記一の集光点Faの南側に、前記他の集光点Fbが形成されるように、前記ヘリオスタット群Aと前記ヘリオスタット群Bとが配置されていることが好ましい。

以下、特に断らない限り、南北の記述は、北半球での事象を意味するものとする。南半球の場合には、南北を逆転、すなわち、南を北に、北を南に読み替えるものとする。

[0048] この太陽光集光システムにおいては、北半球では前記一の集光点Faの北側に、南半球では前記一の集光点Faの南側に、前記他の集光点Fbが形成されるように、ほぼ同じ間隔で、所要数の集光点を形成できるように、前記ヘリオスタット群Aと前記ヘリオスタット群Bとを配置することによって、ヘリオスタットが設置される領域の広さに左右されず、かつ細長い土地でも、高効率で目的の集光量で太陽光を回収できる。

[0049] また、この太陽光集光システムは、前記ヘリオスタット群Aが複数の第1のヘリオスタ

ットより構成され、前記ヘリオスタット群Bが、複数の第2のヘリオスタットより構成され、前記ヘリオスタット群Bによる集光点Fbは、集光システムが設置される地域が北半球に位置するか、または南半球に位置するかに応じて、前記ヘリオスタット群Aによって形成される集光点Faの北側または南側に形成され、前記第1のヘリオスタットは、反射鏡面が太陽と前記集光点Faに対面する方向に配向されるように配置され、前記第2のヘリオスタットは、反射鏡面が太陽と前記集光点Fbに対面する方向に配向されるように、前記ヘリオスタット群Aを構成する複数の第1のヘリオスタットAn (nは2以上の整数) の間の太陽光が照射されている場所に、前記第1のヘリオスタットよりも地面に近接した位置に配置されていることが好ましい。

[0050] この太陽光集光システムでは、ヘリオスタット群Aを構成する複数の第1のヘリオスタットの間のブロッキングによって、未利用の太陽光が照射されている場所に、他の集光点Fbに太陽光を集光させるヘリオスタット群Bを構成する複数の第2のヘリオスタットを配置し、前記第1のヘリオスタットは、反射鏡面が太陽と前記集光点Faに対面する方向に配向されるように配置され、前記第2のヘリオスタットは、反射鏡面が太陽と前記集光点Fbに対面する方向に配向されるように配置し、しかも、ヘリオスタット群Aを構成する複数の第1のヘリオスタットAn (nは2以上の整数) の間の太陽光が照射されている場所に、前記第1のヘリオスタットよりも地面に近接した位置に配置することによって、第1のヘリオスタットによる反射光の光路と、第2のヘリオスタットによる反射光の光路とが、各ヘリオスタットが属するヘリオスタット群の集光点Fa, Fbに向けて集光される。これによって、ブロッキングによって地面に陽が差している領域が消失し、ヘリオスタットが設置される領域に降り注ぐ太陽光をほぼ全部、複数の集光点に集光させて、集光された太陽光のエネルギーを回収できる。

[0051] また、太陽光集光システムは、前記第2のヘリオスタットが、前記太陽を追尾して日中の時刻または季節に応じて、反射鏡面に最大の太陽光を受光できるように、配置位置を移動可能および反射鏡面を可動自在に構成されていることが好ましい。

[0052] この太陽光集光システムでは、前記第2のヘリオスタットが、前記太陽を追尾して日中の時刻または季節に応じて、反射鏡面に最大の太陽光を受光できるように、配置位置を移動可能および反射鏡面を可動自在に構成されていることによって、第2の

ヘリオスタットは、太陽高度の日変化および季節的変化により時々刻々変化する第1のヘリオスタットの陰を避けた位置に移動させることができる。これにより、集光効率の向上を図ることができる。

[0053] また、この太陽光集光システムは、前記ヘリオスタット群Aと、前記ヘリオスタット群Bとが、南北方向に沿って交互に配列され、隣接するヘリオスタット群 B_{h1} ($h1$ は1以上の整数)とヘリオスタット群 A_{k1} ($k1$ は2以上の整数)とが、1つの集光点を形成することが好ましい。

[0054] この太陽光集光システムでは、前記ヘリオスタット群Aと、前記ヘリオスタット群Bとが、南北方向に沿って交互に配列され、隣接するヘリオスタット群 B_{h1} ($h1$ は1以上の整数)とヘリオスタット群 A_{k1} ($k1$ は2以上の整数)とが、1つの集光点を形成することによって、一の集光点Faの北側に、前記他の集光点Fbが形成されるように、ほぼ同じ間隔で、所要数の集光点を南北方向に直列に形成でき、ヘリオスタットが設置される領域の広さに左右されず、かつ細長い土地でも、高効率で目的の集光量の太陽光を回収できる。

[0055] また、この太陽光集光システムは、3つのヘリオスタット群からなるユニットを含み、前記ユニットを構成するヘリオスタット群によって形成される3つの集光点が、底辺が東西方向に配向された三角形の頂点上に位置するように、各ヘリオスタット群を配列したことが好ましい。

[0056] この太陽光集光システムでは、3つのヘリオスタット群からなるユニットを含み、前記ユニットを構成するヘリオスタット群によって形成される3つの集光点が、底辺が東西方向に配向された三角形の頂点上に位置するように、各ヘリオスタット群を配列することによって、集光量が最大となる集光点を選択するように第1のヘリオスタットを配置し、ついでブロッキングが発生している領域に、第2のヘリオスタットを配置し、ヘリオスタットの北側に位置するものの内、集光量が最大になる集光点に集光することができる。これによって、第2のヘリオスタットは、太陽光の照射角の季節・日中の変化に応じて、随時最適な集光点を選択できるので、ヘリオスタットを固定設置する集光システムと比較して年間の集光量を最大化できる。

[0057] また、この太陽光集光システムは、前記三角形が、底辺が東西方向に配向され、残

る頂点が北半球では前記底辺の北側に配置され、南半球では前記底辺の南側に配置された二等辺三角形であることが好ましい。

[0058] この太陽光集光システムでは、前記三角形を、底辺が東西方向に配向された二等辺三角形とすることによって、より集光効率の向上を図ることができる。

[0059] まら、この太陽光集光システムは、前記ユニットを東西方向および南北方向に三角格子状に配列したことが好ましい。

[0060] この太陽光集光システムでは、前記ユニットを東西方向および南北方向に三角格子状に配列することによって、任意形状のフィールドにおける集光を効率化できる。また、タワーの位置が列ごとに互い違いになるようにずらして配置すれば、陰の影響を低減できる。

[0061] さらに、前記第6の目的を達成するため、第6の発明として、前記の太陽光集光システムにおける複数のヘリオスタット群によって形成される各集光点に集熱器を配置して、集光される太陽光のエネルギーを回収することを特徴とする太陽光エネルギー利用システムを提供する。

[0062] この太陽光エネルギー利用システムでは、前記の太陽光集光システムにおける複数のヘリオスタット群によって形成される各集光点に集熱器を配置して、集光される太陽光のエネルギーを回収することによって、ヘリオスタットを設置する領域に降り注ぐ太陽光を高いフィールド効率で集光して、集光された太陽光の熱エネルギーを高効率で利用できる。

[0063] さらに、本発明は、太陽光集光システムにおける複数のヘリオスタット群によって形成される各集光点に、回転二次曲面状の反射面を有する反射鏡を配置して、前記反射鏡の下部に配置した集熱器に太陽光を集光させ、集光される太陽光の熱エネルギーを回収することを特徴とする太陽光エネルギー利用システムを提供する。

[0064] この太陽光エネルギー利用システムでは、前記の太陽光集光システムにおける複数のヘリオスタット群によって形成される各集光点に、回転二次曲面状の反射面を有する反射鏡を配置して、前記反射鏡の下部に配置した集熱器に太陽光を集光させ、集光される太陽光の熱エネルギーを回収することによって、ヘリオスタットを設置する領域に降り注ぐ太陽光を高いフィールド効率で集光して、集光された太陽光の熱エネルギー

ギを高効率で利用できる。

[0065] また、本発明は、前記の太陽光集光システムによって集光される太陽光の熱エネルギーを、発電または産業プロセスに利用する太陽光エネルギー利用システムを提供する。

[0066] この太陽光エネルギー利用システムでは、前記の太陽光集光システムによって高い集光効率で集光される太陽光の熱エネルギーを回収して、発電または産業プロセスに利用することによって、ヘリオスタットを設置する領域に降り注ぐ太陽光を高いフィールド効率で集光して、集光された太陽光の熱エネルギーを高効率で利用できる。

[0067] また、この太陽光エネルギー利用システムにおいて、前記集熱器が、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、前記集熱体に熱媒体を導入する熱媒体導入部と、前記太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であって、前記集熱体は、前記太陽光導入口に向かって収束する湾曲状の受光面を有するように、前記熱媒体が内部を流通する熱媒体流通管を螺旋状に巻回して形成された太陽光集熱器であることが好ましい。

[0068] この太陽光エネルギー利用システムでは、集熱器として、前記第1Aの発明に係る太陽光集熱器を用いることによって、1次反射鏡によって集光される太陽光を効率よく、集熱器に収束させるとともに、その収束された太陽光のエネルギーを高い利用効率で熱媒体に蓄熱し、その蓄熱エネルギーを利用することができる。

[0069] また、この太陽光エネルギー利用システムにおいて、前記集熱器が、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、前記集熱体の上部に設けられた熱媒体導入部と、前記集熱体の底部に設けられ、前記太陽光導入口から導入された太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であり、前記集熱体は、前記熱媒体導入部から前記受光面の表面に沿って熱媒体を液膜流下させて前記熱媒体導出部から熱媒体を導出させるように構成された太陽光集熱器であることが好ましい。

[0070] この太陽光エネルギー利用システムでは、複数のヘリオスタット群によって太陽光を高いフィールド効率で集光して、各集光点に配置された集熱器によって、集光される太陽光のエネルギーを、液膜流下する熱媒体に蓄熱して、効率的に回収することによ

て、太陽光の熱エネルギーを高効率で利用できる。

[0071] また、この太陽光エネルギー利用システムにおいて、前記反射鏡が、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を反射して集熱器に収束させる太陽光集光用反射装置であって、複数の反射鏡セグメントからなる反射鏡群で構成され、各反射鏡セグメントは、前記集熱器に太陽光を収束させる反射面を有する太陽光集光用反射装置であることが好ましい。

[0072] この太陽光エネルギー利用システムでは、複数のヘリオスタット群によって太陽光を高いフィールド効率で集光して、集光された太陽光を前記太陽光集光用反射装置によって効率よく集熱器に収束させることによって、太陽光の熱エネルギーを高効率で利用できる。

[0073] さらに、この太陽光エネルギー利用システムにおいて、前記集熱器が、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、前記集熱体に熱媒体を導入する熱媒体導入部と、前記太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であって、前記集熱体は、前記太陽光導入口に向かって収束する湾曲状の受光面を有するように、前記熱媒体が内部を流通する熱媒体流通管を螺旋状に巻回して形成された太陽光集熱器であり、前記反射鏡が、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を反射して集熱器に収束させる太陽光集光用反射装置であって、複数の反射鏡セグメントからなる反射鏡群で構成され、各反射鏡セグメントは、前記集熱器に太陽光を収束させる反射面を有する太陽光集光用反射装置であることが好ましい。

[0074] この太陽光エネルギー利用システムでは、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて反射される太陽光を、前記太陽光集光用反射装置によって効率よく集熱器に集光させるとともに、集光された太陽光を、前記第1Aの発明に係る太陽光集熱器に収束させ、その収束された太陽光のエネルギーを高い利用効率で熱媒体に蓄熱し、その蓄熱エネルギーを利用することができる。

[0075] また、この太陽光エネルギー利用システムにおいて、前記集熱器が、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、前記集熱体の上部に設けられた熱媒体導入部と、前記集熱体の底部に設けられ

、前記太陽光導入口から導入された太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であって、前記集熱体は、前記熱媒体導入口から前記受光面の表面に沿って熱媒体を液膜流下させて前記熱媒体導出部から熱媒体を導出させるように構成された太陽光集熱器であり、前記反射鏡が、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を反射して集熱器に収束させる太陽光集光用反射装置であって、複数の反射鏡セグメントからなる反射鏡群で構成され、各反射鏡セグメントは、前記集熱器に太陽光を収束させる反射面を有する太陽光集光用反射装置であることが好ましい。

- [0076] この太陽光エネルギー利用システムでは、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて反射される太陽光を、前記太陽光集光用反射装置によって効率よく集熱器に集光させるとともに、集光された太陽光を、前記第1Bの発明に係る太陽光集熱器に収束させ、収束された太陽光の熱エネルギーを、液膜流下する熱媒体に蓄熱して、効率的に利用することができる。

発明の効果

- [0077] 第1Aの発明および第1Bの発明の太陽光集熱器は、太陽光エネルギーの利用効率が高く、熱媒体が蓄熱する熱エネルギーを利用して、発電システム、化学反応プロセスなどの各種のシステムや海水淡水化設備などのプロセスにおける熱エネルギー供給源として好適である。

そして、第1Aの発明の太陽光集熱器は、反射光および熱対流による熱損失、および高温の受光面から発生する熱輻射による熱損失が低減される。また、パイプを螺旋状に曲げて集熱体を形成するため、板状の金属を組み合わせる熱媒体の流路が構成される集熱体に比べて、熱応力が軽減され、構造強度上有利であり、さらに、製作も容易である。

- [0078] また、第1Bの発明の太陽光集熱器は、第1Aの発明と同様に、反射光および熱対流による熱損失、および高温の受光面から発生する熱輻射による熱損失が低減されるとともに、太陽光によって液膜を形成する熱媒体が直接加熱されるため、集熱体の耐熱設計に余裕が生じ、集熱体を小型化できる。また、長流路が不要なので熱媒体の輸送に要するポンプ動力低減が可能となる。

[0079] さらに、第2の発明の太陽光エネルギー利用システムは、前記太陽光集熱器によって高い利用効率で熱媒体に蓄積された蓄熱エネルギーを有効活用することが可能になる。

[0080] 第3の発明の太陽光集光用反射装置は、1次反射鏡によって集光される太陽光を効率よく、集熱器に収束させることができるとともに、各反射鏡セグメントを小さくして大きな風圧を受けず、風の脈動によっても各反射鏡セグメントの位置がずれたり反射鏡セグメント自体が変形したりして、集光精度が低下することを防止することができる。また荒天時の強風に対しても、各反射鏡セグメントを小さく構成できるため、支持構造を比較的簡易にすることができ、耐風圧設計が容易となり、建設費が低減できる。また、集熱器における受光面の拡がりが増加抑制され、従来よりも小さな集熱器に太陽光エネルギーを集光でき、さらに、受光面での入射光熱流束を制御して、均一な熱流束によるエネルギーの平坦化が可能となる。

また、集熱器に太陽光をより小さく収束することができるため、集熱器の集光導入部の開口径が小さくても十分な集光効率を得ることができるため、集熱器を小型化することが可能になる。

[0081] また、第4の発明の太陽光エネルギー利用システムは、半径数十m～数百m程度の範囲に降り注ぐ太陽光を集光して、集められた太陽光の熱エネルギーを、発電、合成燃料製造、各種化学プロセス、海水淡水化設備などの加熱源として使用することができる。特に、均一な熱流束によるエネルギーの平坦化によって、天然ガスから水素を生成する化学反応等の改質反応炉に熱エネルギーを供給するシステムとして有効である。

[0082] この太陽光エネルギー利用システムにおいて、集熱器として、前記第1Aの発明または第1Bの発明に係る太陽光集熱器を用いれば、1次反射鏡によって集光される太陽光を効率よく、集熱器に収束させるとともに、その収束された太陽光のエネルギーを高い利用効率で熱媒体に蓄熱し、その蓄熱エネルギーを利用することができる。

[0083] 第5の発明の太陽光集光システムによれば、半径数百m～数km程度の大規模エリアに降り注ぐ太陽光を、効率よく集光することができる。すなわち、太陽光が照射されても、その太陽光を反射するヘリオスタットが配置できない未利用の明るい地面が残

り、地面に降り注ぐ太陽光の一部しか利用できない問題を解決し、必要な太陽熱を、エクセルギーを高く保持し、かつ限られた領域から最小のヘリオスタット数で効率的に太陽光を集光することができる。そのため、下記の効果を得ることができる。

[0084] (1) 集光倍率が高く、太陽光のエネルギーを高温で回収できる。従来の1つの集光点のみを形成する集光システムでは、ヘリオスタットの配置を最適化しても、エネルギーコストはせいぜい2%程度の改善に留まるが、本発明の集光システムでは、例えば、2つの集光点を形成する場合には、13%に向上し、フィールド利用効率も向上できる。

(2) ヘリオスタットから集熱器または集光用反射鏡までの反射光の光路長が短縮され、集光規模に依らず集光倍率をほぼ一定に保持できる。

[0085] (3) 集光点を南北方向に直列に形成するように、ヘリオスタット群を配置することにより細長い土地でも、効率よく太陽光を集光できる。

(4) 南北方向および東西方向に集光点が形成されるように、ヘリオスタット群を組み合わせ配置することによって、広大な土地、任意の土地形状に対応して効率よく太陽光を集光できる。

[0086] (5) 3つのヘリオスタット群によって形成される3つの集光点が、底辺が東西方向に配向された三角形の頂点上に位置するように、各ヘリオスタット群を配列することによって、第2のヘリオスタットは、太陽光の照射角の季節・日中の変化に応じて、随時最適な集光点を選択できるので、ヘリオスタットを固定設置する集光システムと比較して日量・年間の集光量を最大化できる。

[0087] (6) 第2のヘリオスタットを可動式とし、第1のヘリオスタットによる陰を随時避ければ、集光効率をさらに向上できる。また、太陽を追尾して日中の時刻または季節に応じて、反射鏡面に最大の太陽光を受光できるように、配置位置を移動可能および反射鏡面を動かすことによって、第2のヘリオスタットは、太陽高度の日変化および季節的变化により時々刻々変化する第1のヘリオスタットの陰を避けた位置に移動させることができる。これにより、集光効率の向上を図ることができる。

[0088] また、第6の発明の太陽光エネルギー利用システムによれば、太陽光集光システムによって高集光効率で集光された太陽光を、発電、合成燃料製造、各種化学プロセス

の加熱源として利用することができる。

- [0089] この太陽光エネルギー利用システムにおいて、集熱器として、前記第1Aの発明または第1Bの発明に係る太陽光集熱器を用いるとともに、太陽光集光用反射鏡として、前記第3の発明に係る太陽光集光用反射装置を用いることによって、1次反射鏡によって集光される太陽光を効率よく、集熱器に収束させるとともに、その収束された太陽光のエネルギーを高い利用効率で熱媒体に蓄熱し、その蓄熱エネルギーを利用することができる。

発明を実施するための最良の形態

- [0090] 次に、本発明の実施形態について、適宜図面を参照して詳細に説明する。

<第1の実施形態>

図1は、本発明の第1の実施形態に係る太陽光集熱器の一例を示す模式図である。

図1に概形を示す太陽光集熱器1は、集熱体3と、この集熱体3の一端に開口された太陽光導入口4と、図2(a)に示すように、集熱体3に熱媒体を導入する熱媒体導入部5と、熱媒体導出部6とを備えるものである。

- [0091] 集熱体3は、熱媒体が内部を流通する熱媒体流通管7を螺旋状に巻回して形成され、集熱体3の内側に露出された熱媒体流通管7の外周面によって受光面2が形成される。そして、受光面2は、集熱体3の上端に開口された太陽光導入口4に向かって収束するように湾曲状に形成される。この巻回された熱媒体流通管7によって形成される受光面2の湾曲形状は、後述のとおり、集光された太陽光SBの熱フラックス分布等に応じて、最適な形状に構成される。例えば、図2(a)の断面模式図に示すように、全体として上部(太陽光導入口4側)が狭く下部(熱媒体導入部5側)が広い断面を有するキャビティ型の最適な形状に構成される。

- [0092] 集熱体3を構成する熱媒体流通管7は、円形断面、矩形断面等のいずれの断面形状を有するパイプを用いてもよい。特に、前記形状に巻回して集熱体3を形成する場合に、流路の製作段階で溶接個所が少ないことから、円形断面のパイプが有利である。この熱媒体流通管7の材質は、熱媒体として NaNO_3 と KNO_3 の混合熔融塩、または NaNO_3 、K

NO_3 および NaNO_2 の混合熔融塩を用いる場合には、熱媒体に対する耐食性、耐熱性、価格等の観点から、オーステナイト系ステンレス鋼が有利である。また、パイプの肉厚は、熔融塩の圧力や必要な高温強度等に応じて適宜決定される。

- [0093] そして、熱媒体流通管7の受光面2は、光吸収性耐熱処理されていることが好ましい。この光吸収性耐熱処理は、光吸収性と耐熱性に優れる塗料を受光面2に塗布する、または、光の吸収と耐熱性に優れた化学的表面処理を行なう。本発明において、「光吸収性」とは、太陽光の成分のうち、 $0.2 \sim 2.5 \mu\text{m}$ の波長帯域の光成分の吸収率が80%以上であることをいう。
- [0094] 光吸収性と耐熱性に優れる塗料としては、例えば、例えば、B. J. Wolfe Enterprise社製の商品名:Pyromark Paint等を用いることができる。
- [0095] さらに、集熱体3の外側に断熱部(図示せず)を設けることが好ましい。これによって、集熱体3の周壁から外側への放熱を遮断して、熱媒体の熱エネルギーの損失を有効に防止することができる。この断熱部は、例えば、集熱体3の外側にアルミナ、シリカ等を主成分とするセラミックファイバ断熱材で形成することができる。
- [0096] 太陽光導入口4は、集熱体3の一端に開口され、この太陽光導入口4から集光した太陽光が導入される。導入された太陽光SBは、受光面2に照射され、受光面2を形成する熱媒体流通管7内を流通する熱媒体を間接的に加熱する。太陽光導入口4は、集熱体3の下端に開口されていてもよい。また、熱媒体導入部5および熱媒体導出部6は、それぞれ集熱体3の上端および下端に設けてもよい。さらに、太陽光導入口4、熱媒体導入部5および熱媒体導出部6は、これらの配置に制限されず、各種の態様に配置されていてもよい。例えば、太陽光が上方から入射する場合には開口は上部に、下方から入射する場合には開口は下部に設けるのが好ましい。
- [0097] 熱媒体導入部5は、図2(b)に示すように、集熱体3の底部中央に設けられ、集熱体3を形成する熱媒体流通管7に連通し、ポンプ等の送出器(図示せず)によって圧送された熱媒体を熱媒体流通管7に導入するものである。この熱媒体導入部5に、バルブ等の流量調整機構を設けることによって、熱媒体流通管7内を流通する熱媒体の流量を調整することができる。
- [0098] 熱媒体導出部6は、図2(a)に示すように、集熱体3の最上部に設けられ、集熱体3

を形成する熱媒体流通管7に連通し、熱媒体流通管7を流通して太陽光によって加熱された熱媒体を導出するものである。

[0099] なお、熱媒体導入部5と熱媒体導出部6とは、図1、図2(a)に示す配置に限定されず、熱媒体導入部5を集熱体3の最上部に、熱媒体導出部6を集熱体3の底面中央に配置した構成としてもよい。特に、太陽光の一次入射光が集熱体3の上部に集中する場合には、この構成が有利である。

[0100] 熱媒体は、耐熱温度が500℃以上のものであれば、特に制限されないが、例えば、 NaNO_3 、 KNO_3 の混合溶融塩、もしくは NaNO_3 、 KNO_3 および NaNO_2 の混合溶融塩を用いることができる。この溶融塩または混合溶融塩を用いることによって、燃料転換の化学反応(例えば、天然ガスの改質反応)を促進する温度とエネルギーを供給する、あるいは蒸気タービン発電用の熱エネルギーあるいは海水淡水化設備用の加熱源を提供することができる。

[0101] この太陽光集熱器1における集熱体3の形状は、太陽光導入口4の開口径、開口形状、熱媒体流通管7を巻回して形成される受光面の湾曲形状を含めて、太陽光が照射された受光面2の温度、受光面2から熱媒体への熱伝達、導入される太陽光の熱フラックス(受光面単位面積当たりの熱エネルギー)の分布等を考慮して、最適な形状に構成される。ここで、集熱体3における熱収支を、図1および図3に示すとおり、入射エネルギー、すなわち、太陽光導入口4から導入された太陽光SBが有する熱エネルギーを100とし、熱媒体に伝達される正味の熱エネルギーをA、集熱体3の内側における太陽光の反射による損失B、受光面2から熱輻射による損失C、受光面2からの対流伝熱損失D、集熱体3の外壁からの対流伝熱損失をEとして、受光面2の表面における熱フラックス分布を、集熱体3の断面形状に応じて計算した結果を図4(a)～図4(f)に示す。その結果、図4(a)に示す断面四角形を有する集熱体3の場合には、図4(b)に示すとおり、上部に集中した熱フラックス分布を示した。また、図4(c)に示す断面形状を有する集熱体3の場合には、図4(d)に示すとおり、集熱体3の中央にピークを有するが、ほぼ平均化した熱フラックス分布を示した。さらに、図4(e)に示す形状を有する集熱体3の場合には、図4(f)に示すとおり、集熱体3の高さ方向に平均化した熱フラックス分布を示した。

[0102] このような集熱体3における熱収支を考慮した結果、集熱体3の形状は、図5に示すとおり、全体として上部が狭く下部が広い断面を有するキャビティ型を有し、太陽光導入口4の開口径を D_a 、集熱体3の高さを H_o 、集熱体3の開口部の反対側から計測した最大膨出部Mの長さを H_m 、最大膨出部Mの直径を D_{max} とすると、下記の式(1)および式(2)で表わされる関係を満たすように集熱体3の形状を構成することが、受光面2の表面における熱フラックス分布を最適化して、太陽光集熱器1における太陽光の利用効率、すなわち $A/100$ を向上させるために有効であることが分かった。

$$1 \leq D_{max}/D_a < 3 \quad (1)$$

$$0 < H_m/H_o < 0.8 \quad (2)$$

[0103] また、受光面2を形成する熱媒体流通管7(パイプ)の内径は、熱媒体の使用上限温度と、熱媒体に接する熱媒体流通管7の内面温度の上限によって決定される。また、熱媒体を送るポンプの最大吐出圧力が制約となって熱媒体流通管7における圧力損失の上限が定まる。したがって、これらの二つの制約条件を満たすよう、前記の集熱体3の全体形状と熱媒体流通管7の内径を決定することができる。ちなみに、図6に示すように、太陽光SBの照射によって加熱される受光面2の熱媒体側の表面温度を 600°C 、熱媒体流通管7の外側から内側へ向かう熱フラックスの大きさを $300\text{kW}/\text{m}^2$ とすると、肉厚5mm

のSUS316ステンレス製の熱媒体流通管7(パイプ)の内部を流通する熱媒体の温度は 550°C 程度になる。したがって、このような温度分布を考慮して、熱媒体流通管7の肉厚、材質、内径等を適宜決定することができる。

[0104] この太陽光集熱器1において、熱媒体導入部5から熱媒体が導入され、熱媒体流通管7内を流通して、太陽光導入口4から導入された太陽光が照射された受光面2を通じて熱媒体が加熱される。加熱された熱媒体は、熱媒体導出部6から導出され、発電システム、化学反応プロセスなどの各種のシステムやプロセスの熱源として供給される。このとき、熱媒体として NaNO_3 と KNO_3 の混合溶融塩を用いた場合、熱媒体流通管7内を流通する混合溶融塩の温度が、混合溶融塩の融点(220°C)と使用温度上限(同 600°C)の二つの温度の範囲内に入るように、熱媒体の流量、流速等を制御して太陽光集熱器1が運転される。

- [0105] この太陽光集熱器1において、受光面2に照射された太陽光は一部反射されるが、太陽光集熱器1では、反射光の大部分が受光面の他の部分に再照射され、太陽光導入口4から外部に散逸する反射光が低減され、これによって、照射された太陽光の利用効率(熱に変換される割合)の向上に有効である。また、高温になった受光面2から発生する熱輻射についても、同様に外部への散逸を少なくして、熱輻射による熱損失を低減することができる。さらに、図1に示すような上部断面が狭いキャビティ型の集熱体を形成したことで、熱対流による熱ロスが低減される。
- [0106] また、太陽光集熱器1の大きさは、熱出力100MWの場合、直径、高さともに10～20m程度になるが、このような大きさの集熱体3では、パイプを螺旋状に曲げて炉を形成する方が、板状の金属を組み合わせて流路を構成する構造よりも、熱応力を軽減できるので、構造強度上有利であり、製作も容易である。
- [0107] さらに、太陽光集熱器1は、前記太陽光導入部5に太陽光SBを断熱遮断する機構を有していてもよい。この機構は、集熱体3が冷却能力を喪失するなどの緊急時に集熱体3を保護する機能を有するものである。以上説明した第1の実施形態の太陽光集熱器1は、1本の熱媒体流通管7を巻回して形成された、いわゆる1条巻きの形態で構成されているが、本発明の太陽光集熱器1は、複数本の熱媒体流通管7を巻回して形成された形態で構成されていてもよい。例えば、図7(a)および図7(b)に示すとおり、8本の熱媒体流通管7a, 7b, 7c, 7d, 7e, 7f, 7g, 7hを巻回して形成された形態であってもよい。この場合、熱媒体導入部5および熱媒体導出部6は、8本の熱媒体流通管7a, 7b, 7c, 7d, 7e, 7f, 7g, 7hに分岐連通する分岐口を有するヘッダによって構成することができる。

[0108] <第2の実施形態>

次に、図8は、本発明の第1の実施形態に係る太陽光集熱器1を用いた第2の実施形態に係る太陽光エネルギー利用システムの一例を示す概念図である。

図8に示す太陽光エネルギー利用システムは、一次集光系FCと、二次集光系SCと、三次集光系CPCと、太陽光集熱器1と、高温熱媒タンク81と、熱交換器82と、低温熱媒タンク83と、熱媒体浄化系84とを備える。そして、太陽光集熱器1と、高温熱媒タンク81と、熱交換器82と、低温熱媒タンク83と、熱媒体浄化系84とは、それぞれ

熱媒体が流通する流路で連絡され、また、各所にバルブ等が配置されている。

[0109] 太陽光集熱器1は、前記第1の実施形態に係るものと同様のものが用いられる。

また、高温熱媒タンク81と、熱交換器82と、低温熱媒タンク83と、熱媒体浄化系84とは、特に制限されず、用いる熱媒体、容量、熱媒体の要求純度等に応じて適宜選択される。

[0110] この太陽光エネルギー利用システムにおいては、太陽Sからの太陽光SBが、反射鏡等によって構成された一次集光系FC、二次集光系SCによって集光され、さらに、太陽光集熱器1の上部に設けられた三次集光系CPCによって集光されて太陽光集熱器1の太陽光導入口4から導入される。導入された太陽光SBは、太陽光集熱器1の受光面2に照射され、この受光面2を通じて、熱媒体導入部5から導入されて熱媒体流通管7内を流通する熱媒体が加熱加熱され、加熱されて熱エネルギーを保持した熱媒体は、熱媒体導出部6から導出される(図1、図2参照)。熱媒体導出部6から導出された熱媒体は、流路を通して高温熱媒タンク81に給送される。そして、この高温熱媒タンク81に給送された熱媒体は、熱交換器82に供給され、熱エネルギーを、熱交換器82に連結された、熱利用設備に供給する。この熱利用設備としては、例えば、蒸気タービン発電、炭化水素の熱分解、天然ガスや石炭からの液体燃料の製造等が挙げられる。

[0111] 熱交換器82によって熱エネルギーの一部を熱交換されて温度が低下した熱媒体は、低温熱媒タンク83に給送され一時貯留される。そして、低温熱媒タンク83に一時貯留された低温の熱媒体は、熱媒体浄化系84で清浄化され、再び、太陽光集熱器1の熱媒体導入部5に供給される。熱媒体浄化系84は、循環する熱媒体および配管材料が腐食劣化して熱媒体流通管7等を閉塞する、あるいは熱媒体の熱容量の低下等による太陽光のエネルギーの利用効率の低下を防止するために、設けられる。したがって、熱媒体浄化系84によって熱媒体を清浄化すれば、熱媒体および配管材料の腐食生成物を除去でき、太陽光集熱器91の長期安定運転を図ることができる。また、熱媒体の清浄化が不要な場合には、熱媒体浄化系84に設けたバイパスによって、熱媒体浄化系84を通さずに、そのまま熱媒体を太陽光集熱器1に供給することができる。

[0112] また、高温熱媒タンク81は、熱媒体を貯留して、熱利用設備における所要熱エネルギーに応じて熱媒体を熱交換器82に供給することができる。例えば、熱利用設備が発電設備である場合には、発電量の変動に応じて熱媒体の供給を調整することができる。

[0113] さらに、このようにして、24時間、一定出力で連続運転が可能なプラントを稼働できる。

[0114] <第3の実施形態>

次に、図9(a)は、本発明の第3の実施形態に係る太陽光集熱器91を示す模式断面図である。

図9(a)に示す太陽光集熱器91は、内面に熱媒体が液膜流下する受光面92を有する集熱体93と、この集熱体93の上端に開口された太陽光導入口94と、集熱体93に熱媒体を導入する熱媒体導入部95と、熱媒体導出口96とを備えるものである。

[0115] 集熱体93は、薄板を組み合わせて内面に太陽光SBを受光するとともに、熱媒体が液膜流下する受光面92が形成される。そして、受光面92は、集熱体93の上端に開口された太陽光導入口94に向かって収束するように湾曲状に形成される。この受光面92の湾曲形状は、前述の第1の実施形態と同様に、集光される太陽光SBの熱フラックス分布、受光面92を液膜流下する熱媒体の粘度、流量、熱伝導率、液膜厚さ等に応じて、最適な形状に構成される。例えば、図9(a)の断面模式図に示すように、全体として上部(太陽光導入口94側)が狭く途中に膨出した部分を有し、端部に焦点を有する略樽型の形状が具体例として挙げられる。

[0116] また、第3の実施形態の太陽光集熱器は、前記の図9(a)に示す断面形状に限られず、図9(b)に示すとおり、受光面92が、集熱体93の上端に開口される太陽光導入口94から熱媒体導出口96に向かって先細り状に形成された略ラッパ状の形状に形成されていてもよく、また、端部近傍に焦点を有する回転双曲面の集熱体93もその一つの候補である。さらに、集熱体93は、円筒形状に形成されていてもよい。断面形状がラッパ型の集熱体93は、熱媒体の温度が高い領域(集熱体93の下部)での受光面92における熱媒体の表面積が少ないので、受光面92における熱輻射による損失を低減できる利点がある。

- [0117] この図9(a)および図9(b)に示す集熱体93は、それぞれ図10(a)および図10(b)に示すとおり、受光面に、図10(c)に示すような流下案内条98が突設されていることが好ましい。この流下案内条98によって、受光面92上における流れの偏りを防止し熱媒体の液膜流下状態を良好にすることができる。また、集熱体3の構造強度の向上に有効である。
- [0118] そして、集熱体93の受光面92は、光吸収性耐熱処理されていることが好ましい。この光吸収性耐熱処理は、光吸収性と耐熱性に優れる塗料を受光面92に塗布する、または、光の吸収と耐熱性に優れた化学的表面処理を行なう。光吸収性と耐熱性に優れる塗料または光の吸収と耐熱性に優れた化学的表面処理は、前記第1の実施形態と同様であるので、記載を省略する。
- また、集熱体93の外側に断熱部(図示せず)を設けることが好ましいが、この断熱部についても、前記第1の実施形態と同様であるので、記載を省略する。
- [0119] 本実施形態において、太陽光導入口94は、集熱体93の上端に開口され、この太陽光導入口94から集光した太陽光が導入される。導入された太陽光SBは、受光面2に照射され、受光面2を液膜流下する熱媒体を直接加熱する。太陽光導入口94は、集熱体93の下端に開口させることもできる。
- [0120] 熱媒体導入部95は、図9(a)または図9(b)に示すように、集熱体93の頂部に設けられ、ポンプ等の送出器(図示せず)によって圧送された熱媒体を、集熱体93の内面である受光面92に沿って噴出するディストリビュータで構成される。この熱媒体導入部95から噴出された熱媒体は、液膜を形成して、受光面92上を重力流下する。この熱媒体導入部95に、バルブ等の流量調整機構を設けることによって、受光面92を液膜流下する熱媒体の流量を調整することができる。これにより、入射光エネルギーの変動に対しても常時一定温度の熱媒体を導出することができ、高品質のエネルギーを回収できる。
- [0121] 熱媒体導出部96は、図9(a)または図9(b)に示すように、集熱体93の底部に設けられ、受光面92を液膜流下して太陽光によって加熱された熱媒体を回収して導出するものである。
- [0122] 受光面92を液膜流下する熱媒体は、受光面92を液膜流下する程度の粘性の有

する液体であれば、特に制限されないが、例えば、 NaNO_3 、 KNO_3 の混合溶融塩、もしくは NaNO_3 、 KNO_3 および NaNO_2 の混合溶融塩を用いることができる。この溶融塩ま

たは混合溶融塩を用いることによって、燃料転換の化学反応プロセスを促進する温度とエネルギーを供給することができる。特に、第3の実施形態の太陽光集熱器91で用いる熱媒体は、液膜を形成するものであることから構造物(特に、集熱体93の受光面92)との濡れ性が良い性状のものが好ましい。また、受光面92を熱媒体との親和性の良い形状に加工もしくは構造としてもよい。

受光面92を液膜流下する熱媒体の液膜の厚さは、適切な流量を確保し、かつ液膜が受光面92からはく離しないように、1～7mm程度であることが好ましい。

- [0123] また、この熱媒体は、太陽光SBから効率的に熱エネルギーの吸収率を向上させるために、熱吸収物質を含むことが好ましい。熱吸収物質としては、例えば、微量の硝酸コバルト、硝酸ニッケル等の有色金属塩等が挙げられる。例えば、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ と $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ を重量比で1:1混合したものを KNO_3 と NaNO_3 の混合溶融塩に5%添加して黒色にすることができる。これらを添加して、黒色にした KNO_3 および NaNO_2 の混合溶融塩を熱媒体として用いた場合と、 KNO_3 および NaNO_2 の混合溶融塩からなる透明な熱媒体を用いた場合とについて、それぞれ集熱体93の内外における温度分布をシミュレーションした結果を図11および図12に示す。この図11に示すとおり、集熱体93の受光面92の表面を液膜落下する熱媒体が黒色の場合、熱媒体の液膜表面の温度が最も高くなり、熱媒体の最高温度を600℃とすると集熱体の温度はそれより低くなる。一方、透明な熱媒体を用いた場合(図12)は、太陽光SBは熱媒体を透過して受光面92に達し、そこで大部分が吸収されて熱に変わる。熱媒体は受光面92からの対流伝熱によって加熱される。このとき、熱媒体の最高温度は受光面92の温度と等しくなる。

したがって、このような温度分布を考慮して、集熱体93の形状、液膜の流下速度、熱媒体の流下量、液膜の厚さ等を適宜決定することができる。

- [0124] この太陽光集熱器91において、前記太陽光導入部95に石英もしくはサファイアのガラス窓を設けてもよい。この窓は、空気中の塵、砂などが集熱器91に侵入し、熱媒

体に混入することを防止するためのものである。この太陽光集熱器91において、熱媒体導入部95から熱媒体が導入され、受光面92を熱媒体が液膜流下して、太陽光導入口94から導入された太陽光SBによって熱媒体が加熱される。加熱された熱媒体は、熱媒体導出部96から導出され、発電システム、化学反応プロセスなどの各種のシステムやプロセスの熱源として供給される。

[0125] この第3の実施形態の太陽光集熱器91においては、集熱体93の受光面92に沿って上部の熱媒体導入部95より液膜流下される熱媒体が直接加熱され、受光面92の単位面積あたりの許容熱負荷を高くすることができるため、集熱体93をさらに小型化できる。また、日射量に応じて熱媒体の流下量を調節することにより、常時一定温度の熱媒体を取り出せる。

[0126] <第4の実施形態>

次に、図13は、本発明の第3の実施形態に係る太陽光集熱器91を用いた第4の実施形態に係る太陽光エネルギー利用システムの一例を示す概念図である。

図13に示す太陽光エネルギー利用システムは、一次集光系FCと、二次集光系SCと、三次集光系CPCと、太陽光集熱器91と、高温熱媒タンク81と、熱交換器82と、低温熱媒タンク83と、熱媒体浄化系84とを備える。そして、太陽光集熱器91と、高温熱媒タンク81と、熱交換器82と、低温熱媒タンク83と、熱媒体浄化系84とは、それぞれ熱媒体が流通する流路で連絡され、また、各所にバルブ、ポンプ等が配置されている。

[0127] 太陽光集熱器91は、前記第3の実施形態に係るものと同様のものが用いられる。

また、高温熱媒タンク81と、熱交換器82と、低温熱媒タンク83と、熱媒体浄化系84とは、特に制限されず、用いる熱媒体、容量、熱媒体の要求純度等に応じて適宜選択される。

[0128] この太陽光エネルギー利用システムにおいては、太陽Sからの太陽光SBが、反射鏡等によって構成された一次集光系FC、二次集光系SCによって集光され、さらに、太陽光集熱器91の上部に設けられた三次集光系CPCによって集光されて太陽光集熱器91の太陽光導入口94から導入される。導入された太陽光SBは、太陽光集熱器91の受光面92に照射され、熱媒体導入部95から受光面92の表面を液膜流下す

る熱媒体が加熱され、加熱されて熱エネルギーを保持した熱媒体は、集熱体93の下部に設けられた熱媒体導出部96から導出される(図9等参照)。熱媒体導出部96から導出された熱媒体は、流路を通して高温熱媒タンク81に給送される。そして、この高温熱媒タンク81に給送された熱媒体は、熱交換器82に供給され、熱エネルギーを、熱交換器82に連結された、熱利用設備に供給する。この熱利用設備としては、例えば、蒸気タービン発電、炭化水素の熱分解、天然ガスや石炭からの液体燃料の製造等が挙げられる。

[0129] 熱交換器82によって熱エネルギーの一部を熱交換されて温度が低下した熱媒体は、低温熱媒タンク83に給送され一時貯留される。そして、低温熱媒タンク83に一時貯留された低温の熱媒体は、熱媒体浄化系84で清浄化され、再び、太陽光集熱器91の熱媒体導入部95に供給される。循環する熱媒体は、集熱体93の受光面92において外気と接触して腐食劣化される可能性があり、さらに集熱体93も腐食劣化する可能性がある。腐食劣化した熱媒体および集熱体93の腐食劣化は、熱媒体流通管7等を閉塞する原因となる。したがって、熱媒体浄化系84によって熱媒体を清浄化すれば、熱媒体の腐食生成物を除去でき、太陽光集熱器91の長期安定運転を図ることができる。また、熱媒体の清浄化が不要な場合には、熱媒体浄化系84に設けたバイパスによって、熱媒体浄化系84を通さずに、そのまま熱媒体を太陽光集熱器91に供給することができる。

[0130] また、高温熱媒タンク81は、熱媒体を貯留して、熱利用設備における所要熱エネルギーに応じて熱媒体を熱交換器82に供給することができる。例えば、熱利用設備が発電設備である場合には、発電量の変動に応じて熱媒体の供給を調整することができる。

[0131] この図13に示す太陽光エネルギー利用システムにおいて、太陽光集熱器91を地上に設置する場合には、まず三次集光系CPCの内面に熱媒体を供給して液膜流下させ、ついでCPCの下部に設置した太陽光集熱器91に熱媒体を導いてもよい。これによって、熱媒体による集熱効果でCPCでの放熱ロス低減を、また、熱洗浄効果で塵の付着による鏡面の汚れを防げ、反射効率を向上できる。

[0132] また、CPCにおける熱の回収率が高い場合には、CPC自体を太陽光集熱器として

利用し、前記の太陽光集熱器91を省略してもよい。

- [0133] この太陽光エネルギー利用システムにおいては、高温熱媒タンク81、低温熱媒タンク83、熱媒体浄化系84、さらに、各所に設けたバルブ、ポンプ等によって、太陽光集熱器91の熱媒体導入部95に供給する熱媒体の流量を調節して、受光面92を液膜流下する熱媒体の流下流量を調節することができる。例えば、熱媒体導出部96から導出される高温の熱媒体の温度、および熱媒体導入部95に供給される低温の熱媒体の温度を測定し、その温度の測定結果に基づいて、熱媒体の供給量を調整すれば、再循環流量の調整範囲が広がり、運用性が向上する。また、熱利用設備から要求される熱エネルギー量に応じて、受光面92を液膜流下する熱媒体の流下流量を増減することができる。さらに、日射量に応じて熱媒体の循環流量を調節して、常時一定温度の熱媒体を取り出して、熱設備に供給することが可能である。

- [0134] <第5の実施形態>

次に、本発明の第5の実施形態について、適宜、図面を参照しながら詳細に説明する。図14は、本発明の第5の実施形態に係る太陽光集光用反射装置の構成を説明する概念図である。

- [0135] 図14は、太陽光集光用反射装置を構成する反射鏡群11と、その反射鏡群11に太陽光を集光させるヘリオスタット(1次反射鏡)12と、反射鏡群11によって収束された太陽光の集光面13(集熱器)とを示す。なお、図14においては、1基のヘリオスタット12のみを代表的に示したが、ヘリオスタット12は、図33に示す太陽光集光システムと同様に、集熱器を中心として、集熱器を囲むように複数基が配置され、それぞれのヘリオスタットは、太陽光を反射して集光点F1に向けて太陽光を集光させるものである。

- [0136] 反射鏡群11は、第1反射鏡セグメント21と、第1反射鏡セグメント21の下部に配置される5つの第2反射鏡セグメント22、第3反射鏡セグメント23、第4反射鏡セグメント24、第5反射鏡セグメント25、および第6反射鏡セグメント26とを備える。

- [0137] 第1反射鏡セグメント21は、複数のヘリオスタット12によって集光される太陽光の集光点F1を焦点(上方焦点)とする第1回転二次曲面HB1の一部で構成される反射面21aを有するものである。

- [0138] 第1反射鏡セグメント21の反射面21aは、中心線CLを中心とする円板状に第1回転二次曲面HB1を切り取った形状でも、あるいは円板の一部を切り取った形状を有するものでもよい。さらに、第1反射鏡セグメント21は、前記中心線CLを含む領域が開口された環状の形状を有するものでもよい。例えば、円環状または円環の一部を切り取った円弧状の形状を有するものでもよい。
- [0139] また、第2反射鏡セグメント22、第3反射鏡セグメント23、第4反射鏡セグメント24、第5反射鏡セグメント25、および第6反射鏡セグメント26は、前記第1回転二次曲面HB1と同一の焦点、すなわち集光点F1を共焦点とし、相異なる曲率半径を有する回転二次曲面HB2, HB3, HB4, HB5, HB6のそれぞれに沿って配置された反射面22a, 23a, 24a, 25a, 26aを有するものである。
- [0140] さらに、回転二次曲面HB1, HB2, HB3, HB4, HB5, HB6の曲率半径は、集光点F1から集光面13に向かう方向に配置される反射鏡セグメントの曲率半径が集光面13に近づくにしたがって大きくなるように構成される。すなわち、例えば、前記反射鏡群が、前記集光点F1から前記集光面13(集熱器)に向かう方向に沿って配置された n 個(n は2以上の整数)の反射鏡セグメントで構成されている場合、前記集光点F1に近い側から k 番目の反射鏡セグメント S_k の反射面が配置される回転二次曲面の曲率半径 R_k (k は $1 < k \leq n-1$ の整数)と、 $k+1$ 番目の反射鏡セグメント S_{k+1} の反射面が配置される回転二次曲面の曲率半径 R_{k+1} とが、 $R_k < R_{k+1}$ となるように構成される。
- [0141] そして、第2反射鏡セグメント22、第3反射鏡セグメント23、第4反射鏡セグメント24、第5反射鏡セグメント25、および第6反射鏡セグメント26は、それぞれ反射面22a, 23a, 24a, 25a, 26aが、集光点F1と集熱器の集光面13の中心とを結ぶ中心線CLを軸中心とする円環状に形成されていてもよいし、その円環の一部を切り取った形状を有するものでもよい。例えば、円環状または円環の一部を切り取った円弧状の形状を有するものでもよい。
- [0142] また、前記第1反射鏡セグメント21ないし第6反射鏡セグメント26の各反射面21a, 22a, 23a, 24a, 25a, 26aは、それぞれ前記回転二次曲面HB1, HB2, HB3, HB4, HB5, HB6の一部で形成されていてもよいし、前記回転二次曲面HB1, HB2, HB3, HB4, HB5, HB6の接平面で形成されていてもよい。ここで、一般に、図15

に示すとおり、太陽の視差角(30分)の存在により、集光面3に収束される太陽光は一定の拡がりを示す。そこで、特に、第1反射鏡セグメント21以外の反射鏡セグメントの反射面(22a, 23a, 24a, 25a, 26a)が、それぞれ回転二次曲面(HB2, HB3, HB4, HB5, HB6)の接平面で形成されていると、太陽の視差角(30分)と、ヘリオスタット12が平面で構成されていることに起因する集光面13上の光の拡がりを小さくすることができ、集熱器の受光部を小型化することができる。さらに、第1反射鏡セグメント21、第2反射鏡セグメント22、第3反射鏡セグメント23、第4反射鏡セグメント24、第5反射鏡セグメント25および第6反射鏡セグメント26の各セグメントの配置を最適化することで、集光面13上での集光熱流束の分布を平坦化できる利点がある。さらに、各反射面21a, 22a, 23a, 24a, 25a, 26aは、前記回転二次曲面HB1, HB2, HB3, HB4, HB5, HB6の接線に対して所定の角度だけ傾けた線分、または法線方向に所定の距離だけ平行移動させた線分を中心線CLの周りに回転させて形成される曲面で形成されていてもよい。これにより、集光面13での光の拡がりをさらに小さくすることができる。例えば、前記接線に対して0〜+30分程度(中心線CLに沿って上方に0〜+30分程度)、好ましくは+15分程度傾けた線分を中心線CLの周りに回転させて形成される曲面で形成することにより、集光面13における太陽光の拡がりを小さくすることができ、例えば、後記の図24および図25に示す構成を有する反射鏡群によれば、集光面13における光の拡がりを約1/2に低減可能である。

[0143] また、反射面21a, 22a, 23a, 24a, 25a, 26aのそれぞれは、複数の反射鏡ユニットを各回転二次曲面HB1, HB2, HB3, HB4, HB5, HB6に沿って配置され、全体として反射面21a, 22a, 23a, 24a, 25a, 26aのそれぞれを形成する反射鏡ユニットの集合体で構成されていてもよい。この反射鏡ユニットの集合体で各反射鏡セグメントを構成することによって、前記第1反射鏡セグメント21ないし第6反射鏡セグメント26のそれぞれの形状、形態を任意に調整することができるとともに、各反射鏡セグメント自体の耐風圧設計が容易となり、また、支持構造も簡易化が可能となる。

[0144] 反射鏡群11を構成する各反射鏡セグメントは、複数のヘリオスタット12の配置位置および配置面積、集光点F1の位置、集光面13の位置および配向方向等に応じて、適宜、第1反射鏡セグメント21ないし第6反射鏡セグメント26の配置位置、形態、傾

き、曲率半径等を、適宜選択できる。例えば、複数のヘリオスタット12が、集熱器を囲んで扇状に配置されている場合には、反射鏡群を構成する各反射鏡セグメントを、集光される太陽光の光路に対応した扇形に形成して、そのヘリオスタット12によって集光される太陽光を反射して集熱器の集光面13に収束できるように構成してもよい。また、複数のヘリオスタット12が傾斜面に沿って配置されている場合には、前記傾斜面の傾斜角度に応じて、各ヘリオスタット12から集光される太陽光の集光点F1が、前記傾斜面に対して所定の位置に配位するが、この集光点F1の位置と集光面13の位置を考慮して、反射鏡群11を構成する各反射鏡セグメントの配向、配置位置等を、適宜選択することによって、集光面13に太陽光が収束されるようにすることができる。さらに、集熱器の設置場所、太陽光エネルギー利用システムにおける集熱器の設置状態等によって、集熱器の集光面が鉛直方向に対して一定の角度で傾いている場合には、反射鏡群を構成する各反射鏡セグメントの配向、配置位置、さらにヘリオスタット12による太陽光の集光点F1を調整することによって、集光面13に太陽光を収束させることができる。

[0145] この太陽光集光用反射装置では、ヘリオスタット12によって反射された太陽光は、第1反射鏡セグメント21ないし第6反射鏡セグメント26によって、漏らさず集光面13に収束され、高い集光効率を得ることができる。また、第1反射鏡セグメント21と、第1反射鏡セグメント22との間、第2反射鏡セグメント22と第3反射鏡セグメント23の間、第3反射鏡セグメント23と第4反射鏡セグメント24との間、第4反射鏡セグメント24と第5反射鏡セグメント25との間、ならびに第5反射鏡セグメント25と第6反射鏡セグメント26との間には、風が通過可能な隙間が形成されるため、各反射鏡の大きさを小さく構成できることと相俟って、各反射鏡が受ける風圧が小さくなり、耐風圧設計が容易となる。また、各反射鏡の支持構造も簡易にすることができ、反射鏡を一枚の回転双曲面で構成する場合との比較で建設費を50%低減することが可能である。また、集熱器における受光面の拡がりが増加抑制され、従来よりも小さな集熱器に太陽光エネルギーを集光でき、さらに、受光面での入射光熱流束を制御して、均一な熱流束によるエネルギーの平坦化が可能となる。

[0146] 前記第5の実施形態は、6つの反射鏡セグメント(第1反射鏡セグメント21～第6反

射鏡セグメント26)が配置されている例であるが、本発明の太陽光集光用反射装置において、第1反射鏡セグメント21と前記集熱器の集光面13との間に配置される反射鏡セグメントの個数は限定されず、反射鏡セグメントが複数配置されていることが好ましい。これによって、各反射鏡セグメントの大きさ、重量、集光面13での光の拡がり等を小さくすることができ、有利である。この反射鏡セグメントの設置個数は、前記実施形態に限定されず、ヘリオスタット12の設置基数、最も高所に配置される第1反射鏡セグメント21の高さ、集光面13での光の拡がりの許容値等に応じて、適宜、必要な配置個数が決定される。例えば、第1反射鏡セグメント21が高所に位置する場合には、最外周の反射鏡セグメント(中心線CLに沿って最も下部に位置する反射鏡セグメント)を形成する円環の半径が小さくなるため、反射鏡セグメントの所要個数は少なくなる。

[0147] また、本発明の太陽光集光用反射装置において、第1反射鏡セグメント21と、第2反射鏡セグメント22ないし第6反射鏡セグメント26とは、複数のヘリオスタット(1次反射鏡)12によって集光点F1に向けて集光される太陽光の光路上で重複しないように配置される。これは、各ヘリオスタット12から各反射鏡セグメントの反射面に集光され、各反射鏡セグメントの外縁から反射される太陽光の光路を考慮して、その光路が他の反射鏡セグメントから反射される太陽光の光路と交差しないように、第2反射鏡セグメント22ないし第6反射鏡セグメント26の大きさ、形状、回転二次曲面の曲率半径、配置場所等を考慮して決定される。

[0148] 前記第5の実施形態において、反射鏡セグメントの反射面は、回転二次曲面に沿って配置された例を示したが、本発明で用いられる反射鏡セグメントの反射面は、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を反射して集光面に収束させることが可能な曲面であれば、いずれの曲面に沿って配置されていてもよく、特に制限されない。また、前記実施形態において、反射面を配置する曲面の具体例として例示した回転二次曲面として、回転双曲面および回転楕円面から選ばれる少なくとも1種の曲面が挙げられる。各反射鏡セグメントの反射面は、全部が回転双曲面または回転楕円面に沿って配置されていてもよいし、一部の反射面が回転双曲面に沿って配置され、他の反射面が回転楕円面に沿って配置されていてもよい。また、各

反射鏡セグメントが複数の反射鏡ユニットの集合体で構成されている場合、集合体を構成する反射鏡ユニットが、回転双曲面および回転楕円面から選ばれる少なくとも1種の曲面に沿って配置されていてもよい。さらに、反射面が回転双曲面に沿って配置された反射鏡セグメントからなる反射鏡群では、各ヘリオスタットから集光点(回転双曲面の上方焦点)までの光路およびその集光点から集光面までの光路が比較的短い特長を活かして、多数のヘリオスタットが広い面積に亘って配置され、反射鏡群が高所に配置される大規模な太陽光エネルギー利用システムに好適である。また、反射面が回転楕円面に沿って配置された反射鏡セグメントからなる反射鏡群では、各ヘリオスタットから集光点(回転楕円面の上方焦点)までの光路およびその集光点から集光面(回転楕円面の下方焦点)までの光路が比較的長い特長を活かして、反射鏡群が低位に配置される小規模な太陽光エネルギー利用システムに好適である。

[0149] <第6の実施形態>

次に、図16は、本発明の第5の実施形態に係る太陽光集光用反射装置を用いた、第6の実施形態に係る太陽光エネルギー利用システムの一例を示す概念図である。

図16に示す太陽光エネルギー利用システムは、ヘリオスタット(一次集光系)FCと、二次集光系SCと、三次集光系(CPC)57と、太陽光集熱器51と、高温熱媒タンク52と、熱交換器53と、低温熱媒タンク54と、熱媒体浄化系55とを備える。そして、太陽光集熱器51と、高温熱媒タンク52と、熱交換器53と、低温熱媒タンク54と、熱媒体浄化系55とは、それぞれ熱媒体が流通する流路で連絡され、また、各所にバルブ、ポンプ等が配置されている。

[0150] この太陽光エネルギー利用システムにおいて、二次集光系SCは、前記の複数の反射鏡セグメントからなる反射鏡群を備える本発明の太陽光集光用反射装置で構成される。

[0151] なお、図16に示す太陽光エネルギー利用システムでは、太陽光集熱器51は、その上部に、反射鏡群に向けて開口する三次集光系(CPC)57を備えるが、太陽光集熱器51は、上部に三次集光系(CPC)57を設置しないものでもよい。

[0152] また、太陽光集熱器51は、上方に開口する開口部を通して太陽光が内面の受光面に入射するものが望ましい。

この太陽光集熱器51において、三次集光系(CPC)57を備える場合には、その三次集光系(CPC)57の開口部に、三次集光系(CPC)57を有しない場合には、太陽光集熱器51の開口部に、前記ヘリオスタットFCによって集光され二次集光系SC(本発明の太陽光集光用反射装置)によって反射された太陽光が収束する集光面3が位置するように構成されることが望ましい。

[0153] また、高温熱媒タンク52と、熱交換器53と、低温熱媒タンク54と、熱媒体浄化系55とは、特に制限されず、用いる熱媒体、容量、熱媒体の要求純度等に応じて適宜選択される。

[0154] この太陽光エネルギー利用システムにおいては、太陽Sからの太陽光SBが、ヘリオスタットFCによって、二次集光系である太陽光集光用反射装置SCに集光され、さらに、太陽光集光用反射装置SCによって太陽光集熱器51に集光されて太陽光集熱器51の太陽光導入口56から導入される。導入された太陽光SBは、太陽光集熱器51の受光面に照射されて、受光面に配置される熱媒体が加熱される。加熱されて熱エネルギーを保持した熱媒体は、太陽光集熱器51の下部に設けられた熱媒体導出部から導出される。熱媒体導出部から導出された熱媒体は、流路を通して高温熱媒タンク52に給送される。そして、この高温熱媒タンク52に給送された熱媒体は、熱交換器53に供給され、熱エネルギーを、熱交換器53に連結された、熱エネルギー利用設備に供給する。この熱エネルギー利用設備としては、例えば、蒸気タービン発電、炭化水素の熱分解、天然ガスや石炭からの液体燃料の製造等が挙げられる。

[0155] 熱交換器53によって熱エネルギーの一部を熱交換されて温度が低下した熱媒体は、低温熱媒タンク54に給送され一時貯留される。そして、低温熱媒タンク54に一時貯留された低温の熱媒体は、熱媒体浄化系55で清浄化され、再び、太陽光集熱器51に供給される。

[0156] また、本発明の太陽光集光用反射装置によって得られる太陽光の熱エネルギーを改質反応炉に利用する場合、例えば、メタン CH_4 と水 H_2O を反応させて合成ガス(CO , H_2)を製造するプロセスに適用する場合、改質反応炉は、太陽光集熱器51の代わりに、同一の位置に配置される。このとき、前記のとおり、受光面での入射光熱流束を制御して、均一な熱流束によるエネルギーの平坦化を図ることができれば、前記改質反

応炉に利用する熱エネルギーとして有効である。

[0157] <第7の実施形態>

次に、本発明の第7の実施形態について、適宜図面を参照しながら詳細に説明する。なお、以下の第7の実施形態においては、北半球に、集光点に集熱器を配置するタワー方式の集光システムを設置する場合について説明する。南半球に、太陽光集光システムを設置する場合は、以下に説明する第7の実施形態における第1のヘリオスタットおよび第2のヘリオスタットの南北方向の配置を逆にすることで構成することができる。また、ビームダウン方式の集光システムは、集光点の近傍に集光用反射鏡を配置し、その集光用反射鏡によって太陽光を地上に向けて下向きに反射させ、地上付近に設けた集熱器に集光させる以外は、以下の第7の実施形態と同じ構成を有するので、説明を省略する。

[0158] 図17は、本発明の第7の実施形態に係る太陽光集光システムを示す概念図である。

この太陽光集光システム31は、ヘリオスタット群Aとヘリオスタット群Bとを備える。

ヘリオスタット群Aは、太陽光SBを集光点Faに集光させる複数の第1のヘリオスタット32から構成される。また、ヘリオスタット群Bは、集光点Faよりも北側に位置する集光点Fbに太陽光SBを集光させる複数の第2のヘリオスタット33から構成される。前記ヘリオスタット群Aを構成する複数の第1のヘリオスタット32による反射光B2の光路と、ヘリオスタット群Bを構成する複数の第2のヘリオスタット33による反射光B3の光路とが、各ヘリオスタットが属するヘリオスタット群の集光点Fa、Fbに向けて形成されるように、第1のヘリオスタット32および第2のヘリオスタット33が配置される。

[0159] 第1のヘリオスタット32は、図18(a)に示す反射鏡面2aが太陽と前記集光点Faに対面する方向に配向されるように地面に固定的に配置される。すなわち、第1のヘリオスタット2は、反射鏡面2aの法線を対称軸として、太陽光と、その太陽光を反射して集光点Faに至る反射光とが対称の関係を有するように、反射鏡面2aの向きが調整される。

[0160] この第1のヘリオスタット32は、例えば、図18(a)に示すように、反射鏡面32aと、片面に反射鏡面32aを有する枠体32bと、枠体32bを支持して地面に立設される支柱

32cとを備えるものである。反射鏡面32aは、例えば、ガラス、透明性プラスチック等からなる透明基板の片面に金属を蒸着して反射膜を形成してなる反射体を所要の形状および面積に敷設して形成することができる。

[0161] この第1のヘリオスタット32は、太陽高度の日中変化および季節的变化に応じて、太陽を追尾して、反射鏡面32aが太陽と前記集光点Faに対面する方向に配向されるように、例えば、枠体32bを支柱32cに架設する支軸32dを軸方向およびその軸方向に垂直な方向に回動自在とするように構成できる。また、この第1のヘリオスタット32は、反射鏡面32aに付随して太陽電池を配設して、その太陽電池によって、太陽を追尾して枠体32bを回動させるための動力を得るようにすることができる。

[0162] 第2のヘリオスタット33は、反射鏡面33aが太陽と前記集光点Fbに対面する方向に配向されるように配置される。すなわち、第2のヘリオスタット33は、反射鏡面33aの法線を対称軸として、太陽光SBと、その太陽光を反射して集光点Fbに至る反射光RB3とが対称の関係を有するように、反射鏡面33aの向きが調整される。

[0163] この第2のヘリオスタット33は、図18(b)に示すように、反射鏡面33aと、反射鏡面33aを回動自在に軸支する回動軸33bと、回動軸33bが横架された支持枠33cと、支持枠33cを軸支する回転支持台33dと、回転支持台33dを支持する基台33eとを備える。

この第2のヘリオスタット33において、鉛直方向に対する反射鏡面33aの角度 β は、回動軸33bを中心軸として反射鏡面33dを回動させることによって調整される。また、水平方向に対する反射鏡面33aの角度 α は、回転支持台33dを回転させることによって調整される。回動軸33bおよび回転支持台33dは図示しない駆動モータ等によって駆動することができる。

[0164] この第2のヘリオスタット33は、基台33eの下部に移動用車輪等の走行駆動手段を備え、この走行駆動手段によって、第2のヘリオスタット33自体を、所要の位置に自立移動できるように構成することができる。これによって、太陽高度の日中変化および季節的变化に応じて、第1のヘリオスタット32による影を避ける位置に、自立移動するとともに、回動軸33bおよび回転支持台33dによる反射鏡面33aの角度 α および角度 β を調整して、太陽光を反射して集光点Fbに集光させることができる。この第2

のヘリオスタット33も、前記第1のヘリオスタット32と同様に、太陽電池を設けて、その太陽電池によって、回動軸33b、回転支持台33dおよび走行駆動手段の駆動のための動力を得るようにすることができる。

[0165] この第2のヘリオスタット33は、前記ヘリオスタット群Aを構成する複数の第1のヘリオスタット32の間の太陽光が照射されている場所、すなわち、ブロッキングを回避するため、第1のヘリオスタット32が配置されず、太陽光が地面に照射されている場所に配置される。したがって、第2のヘリオスタット33は、第1のヘリオスタット32の間に配置される。これによって、ブロッキングによって地面に陽が差している領域が消失し、ヘリオスタットが設置される領域に降り注ぐ太陽光をほぼ全部、複数の集光点に集光させて、集光された太陽光のエネルギーを回収できる。したがって、ヘリオスタットを設置する領域に降り注ぐ太陽光の全光量に対して、実際にヘリオスタットで集光してエネルギーとして利用できる太陽光の光量の割合であるフィールド効率は100%に近づけることができる。

[0166] そして、第2のヘリオスタット33は、前記第1のヘリオスタット32よりも地面に近接した位置に配置される。ここで、第1のヘリオスタット32よりも地面に近接した位置とは、第1のヘリオスタット32の反射鏡面よりも第2のヘリオスタット33の反射鏡面33aの方が低い位置に設置され、より地面に近い位置に配置されることをいう。これによって、ブロッキングによって地面に陽が差している領域に第2のヘリオスタット33を密に配置することができるため、ブロッキングによって地面に陽が差している領域が消失し、ヘリオスタットが設置される領域に降り注ぐ太陽光をほぼ全部、複数の集光点に集光させることができ、そのため、集光システム全体の集光効率の向上を図ることができる。

[0167] そして、この第2のヘリオスタット33は、図18(c)に示すように、太陽光が地面に照射されている場所に、その場所を覆うように、直列および並列に複数のヘリオスタット33が配置される。各第2のヘリオスタット33は、前記のとおり、反射鏡面33aの鉛直方向および水平方向に対する角度 α 、 β を太陽高度の変動に応じて調整可能であるとともに、第1のヘリオスタット32および隣接する第2のヘリオスタット33の影を避けるため、基台33eの下部に設けた走行駆動手段によって移動することができる。これによって、第2のヘリオスタット33が、前記太陽を追尾して日中の時刻または季節に

応じて、反射鏡面33aに最大の太陽光を受光できるように、配置位置を移動可能および反射鏡面33aを可動自在に構成されていることによって、第2のヘリオスタット33は、太陽高度の日変化および季節的变化により時々刻々変化する第1のヘリオスタット32の陰を避けた位置に移動させることができる。これにより、集光効率の向上を図ることができる。この第2のヘリオスタット33を、太陽高度の日変化および季節的变化により時々刻々変化する第1のヘリオスタット32の陰を避けた位置に移動させる場合に、第1のヘリオスタット32の陰の時刻変化と第2のヘリオスタット33の動きについてシミュレーションした結果を図19に示す。このように、第2のヘリオスタット33を移動させることによって、第1のヘリオスタット32による影を避けて太陽光を集光することができるため、集光効率の向上に有効である。

[0168] ここで、図17に示す2つの集光点Fa、Fbを有する太陽光集光システム1において、第2のヘリオスタット33の配置について検討する。

図20は、太陽S、タワーT(右の三角柱)との間の入射光および反射光の関係と、第1のヘリオスタット32による陰および反射光の遮り(ブロッキング)の概念を図示したものである。この図20においては、各ヘリオスタットは、簡単のため一枚の鏡で構成されているものとしている。図20において、単位ベクトル e_1 、 e_2 、 n は、それぞれ、太陽指向ベクトル、タワー指向ベクトルならびにヘリオスタットの外向き法線ベクトルである。これらのベクトルを用いた演算とヘリオスタットの辺の長さから、陰(shadow length)、ブロッキング長さ(Blocking length)を算出できる。ここで、ブロッキング長さとは、タワーから遠い位置にある第1のヘリオスタット32の下辺でのタワーTに向かう反射光がタワーに近い第1のヘリオスタット32の上辺にかかる場合の、2つのヘリオスタットの配置間隔をいう。両ヘリオスタットをこの距離以上離せば、ブロッキングによる光の干渉は生じない。

[0169] タワーが1本の場合について、ヘリオスタットの配置と陰長さ、ブロッキング長さ、フィールド単位面積当たりのヘリオスタットで回収可能な光量の間の関係を図21に示す。タワーTを原点にして南北方向に、南側を正とする座標(y)をとる。簡単のために、太陽の南中を想定する。図21では、タワー高さ H (集光点の高さ)は120m、太陽高度 ϕ は45度である。

図21から、タワーTを挟む範囲、すなわち、下記式を満足する範囲では、陰の長さ(図中、破線で示す)がブロッキング長さ(図中、一点鎖線で示す)よりも長い。

[数1]

$$|y| < L = H \cot \phi$$

また、それより外側の領域、すなわち、下記式を満足する範囲では、逆である。

[数2]

$$|y| \geq H \cot \phi$$

[0170] そこで、鏡面の利用効率を向上するには、ヘリオスタット間での光の干渉を避けるため、下記式で表される範囲では、南北方向に相隣るヘリオスタットを、陰長さよりも長く、それより外側の領域ではブロッキング長さよりも長く、離して配置することが必要である。

[数3]

$$|y| < H \cot \phi$$

[0171] さらに、下記式で表される領域では、フィールド全体の中で光の干渉距離が最小であり、一方、その外側の領域ではヘリオスタットの位置によるブロッキング長さの変化が大きい。

[数4]

$$-H \cot \phi < y < 2H \cot \phi$$

[0172] これらの性質から、図18(c)に示されたように、一定間隔で配置された短冊形の鏡(ファゼット33f)を乗せて鏡面33aを構成した第2のヘリオスタット33は、下記式で表される領域に敷き詰めて配置するのが有効であることが分かる。

[数5]

$$|y| < H \cot \phi$$

[0173] 一方、下記式で表される領域ではブロッキング長さが長いばかりか場所による変化

も大きいので、第2のヘリオスタット33の配置には向かず、第1のヘリオスタット32を配置するのが有利である。

[数6]

$$y \leq -H \cot \phi$$

[0174] 上記の一本のタワーを有する集光システムについての考察から、複数タワー方式での集光システムにおいては、第2のヘリオスタット33の配置は、以下のようにすることが望ましい。すなわち、第二のタワーに対して、第2のヘリオスタット33を、第一のタワーに集光する第1のヘリオスタット32の間に配置する、すなわち埋め込み用として、また、陰の長さがブロッキング長さよりも長くなるタワー周辺に用いるのが有利である。

[0175] 図17に戻って、第一のタワーに座標(y)の原点をとり、Lをタワーの陰の長さとする

と、

[数7]

$$-L < y < L'$$

の領域には、第2のヘリオスタット33を、

[数8]

$$-4L < y < -L$$

の領域にはブロッキング長さだけ離してまず第1のヘリオスタット32を、ついで第二のタワーに集光する第2のヘリオスタット33を、光の干渉を考慮して第1のヘリオスタット32の間に埋め込む。

[0176] また、

[数9]

$$-4L - L' < y < -L$$

の領域には第二のタワーに集光する第2のヘリオスタット33を配置する。第一のタワーと第二のタワーの間の間隔4Lと各タワーから南北端までの距離L'、すなわち、2つのタワーの座標は、ヘリオスタットの数(コスト)と集光量とを考慮して最適の値が選択

される。

[0177] 図17に示す集光システムにおいて、第1のヘリオスタット32の間に配置可能な第2のヘリオスタットの数、下記式で表される。

[数10]

$$N_n = N_s \frac{BL_s - SL_s}{\text{Max}(SL_n, BL_n)}$$

ここで、Nは単位フィールド長さにおけるヘリオスタットの数、BLはブロッキング長さ、SLは陰長さを示し、添字nは第2のヘリオスタット(第2のタワー(北側に配置)への集光)、添字sは第1のヘリオスタット(第1のタワーへの集光)を示す。

[0178] <第8の実施形態>

次に、図22(a)および図22(b)は、本発明の第8の実施形態に係る太陽光集光システムにおけるヘリオスタット群Aおよびヘリオスタット群Bの配置を説明する図である。

この集光システムでは、図22(a)に示すように、複数の集光点F1, F2, F3...FN...が南北方向に配列して形成されるように、ヘリオスタット群Aと、ヘリオスタット群Bとを配置して形成される集光システムを、東西方向に適正間隔で複数列配置する。

[0179] この太陽光集光システムでは、図22(b)に示すように、隣接するヘリオスタット群B_{h1}(h1は1以上の整数)とヘリオスタット群A_{k1}(k1は2以上の整数)とが、1つの集光点を形成することによって、一の集光点Faの北側に、前記他の集光点Fbが形成されるように、ほぼ同じ間隔で、所要数の集光点を南北方向に直列に形成でき、ヘリオスタットが設置される領域の広さに左右されず、かつ細長い土地でも、高効率で目的の集光量の太陽光を回収できる。

この集光システムでは、円形や方形に近い形状のフィールドの集光を効率化できる。さらに、形成される複数の集光点の位置が列ごとに互い違いになるようにずらしてヘリオスタット群を配置すれば、陰の影響を低減できる効果がある。

[0180] <第9の実施形態>

また、図23(a)および図23(b)は、本発明の第9の実施形態に係る太陽光集光システムにおける集光点およびヘリオスタット群の配置を説明する図である。

図23(a)に示す太陽光集光システムは、第1のヘリオスタットからなるヘリオスタット群が配置された領域(フィールド)A2, A3と、第1のヘリオスタットと第2のヘリオスタットとが混在する領域(フィールド)A1, A4とからなるユニット41を含み、前記ユニット41を構成するヘリオスタット群によって形成される3つの集光点F1, F2, F3が、集光点F2と集光点F3を結ぶ線を底辺とし、その底辺が東西方向に配向された三角形Dの頂点上にF1が位置するように配列されている。この三角形Dは、底辺が東西方向に配向された二等辺三角形であることが、集光効率の等高線が南北方向に細長い楕円形に類似した形状であることから、集光効率の向上を図る上で有効である。

[0181] この集光システムでは、まず、集光量が最大となる集光点を選択するように第1のヘリオスタットを配置し、ついでブロッキングが発生している領域に、第2のヘリオスタットを配置して、ヘリオスタットの北側に位置するものの内、集光量が最大になる集光点に集光するようにすることができる。これによって、第2のヘリオスタットは、太陽光の照射角の季節・日中の変化に応じて、随時最適な集光点を選択できるので、ヘリオスタットを固定設置する集光システムと比較して年間の集光量を最大化できる。

[0182] そして、図23(b)に示すように、前記の3つの集光点F1, F2, F3を形成するユニットを東西方向および南北方向に三角格子状に配列して、大規模な集光システムを構築することができる。この図23(b)に示す太陽光集光システムでは、前記ユニットを東西方向および南北方向に三角格子状に配列することによって、円形や方形に近い形状のフィールドにおける集光を効率化できる。また、タワーの位置が列ごとに互い違いになるようにずらして配置すれば、陰の影響を低減できる。また、このような構成によれば、第1のヘリオスタットおよび第2のヘリオスタット、ならびに集熱器または集光用反射鏡を設置する場所の広狭、傾斜、形態等の地理的条件に応じて、適宜、最適な配置を構成することができる自由度が高く、商業的に大規模な太陽光集光システムを構築する際に有効である。

[0183] 以上説明した第7の実施形態、第8の実施形態および第9の実施形態は、第1のヘリオスタットと、第2のヘリオスタットとは、異なる形態のものを用いた例であるが、本発明の太陽光集光システムにおいては、第1のヘリオスタットと、第2のヘリオスタットとして、同一の形態のものを用いてもよい。例えば、第1のヘリオスタットと、第2のヘリオス

タットとして、前記図18(a)に示す形態のものを用いてヘリオスタット群を構成してもよい。すなわち、複数の図18(a)に示す形態のヘリオスタットを配置して一のヘリオスタット群Aを構成して、まず、一の集光点Faに太陽光を集光させ、そして、配置した図18(a)に示す形態のヘリオスタットの間の地面で太陽光が照射されている場所に、他の複数の図18(a)に示す形態のヘリオスタットを、反射鏡面を前記配置したヘリオスタットとは異なる方向に向けた他のヘリオスタット群Bを構成して、他の集光点Fbに太陽光を集光させて集光システムを構成することができる。さらに、同様にして、第1のヘリオスタットと、第2のヘリオスタットとして、前記図18(b)に示す形態のものを用いて複数のヘリオスタット群を構成してもよい。

[0184] 以上説明した本発明の太陽光集光システムは、前記の太陽光集光システムにおける複数のヘリオスタット群によって形成される各集光点に集熱器または集光用反射鏡を配置して、集光される太陽光のエネルギーを集熱器または集光用反射鏡の下部に設けた集熱器によって回収することによって、ヘリオスタットを設置する領域に降り注ぐ太陽光を高いフィールド効率で集光して、集光された太陽光の熱エネルギーを高効率で利用できる。例えば、太陽光集光系と、太陽光集熱器と、高温熱媒タンクと、熱交換器と、低温熱媒タンクと、熱媒体浄化系とを備える太陽光エネルギー利用システムを構築することができる。そして、太陽光集光系として、前記本発明の太陽光集光システムを用いることができる。

[0185] この太陽光エネルギー利用システムにおいては、太陽光が、太陽光集光システムによって集光され、さらに、太陽光集熱器によって集光されて太陽光のエネルギーが回収される。太陽光のエネルギーは、太陽光集熱器において、熱媒体を加熱し、加熱されて熱エネルギーを保持した熱媒体によって回収される。熱媒体は、熱交換器に供給され、熱エネルギーを、熱交換器に連結された、熱利用設備に供給する。この熱利用設備としては、例えば、蒸気タービン発電、炭化水素の熱分解、天然ガスや石炭からの液体燃料の製造等が挙げられる。

[0186] 本発明の太陽光エネルギー利用システムにおいては、各種の実施形態が可能である。例えば、太陽光集熱器として、前記第1の実施形態または第3の実施形態に係る太陽光集熱器を用いることができる。これによって、前記集熱器として、前記第1の実施

形態または第3の実施形態の太陽光集熱器を用いて、ヘリオスタット群によって高いフィールド効率で集光された太陽光のエネルギーを高い利用効率で回収して、太陽光の熱エネルギーを高効率で利用できる。

[0187] また、この太陽光エネルギー利用システムにおいて、太陽光集光用反射鏡として、前記第5の実施形態に係る太陽光集光用反射装置を用いることができる。これによって、複数の1次反射鏡からなる複数のヘリオスタット群によって太陽光を高いフィールド効率で集光して、集光された太陽光を前記太陽光集光用反射装置によって効率よく集熱器に収束させることによって、太陽光の熱エネルギーを高効率で利用できる。

[0188] さらに、この太陽光エネルギー利用システムにおいて、太陽光集熱器として、前記第1の実施形態または第3の実施形態に係る太陽光集熱器を用い、太陽光集光用反射鏡として、前記第5の実施形態に係る太陽光集光用反射装置を用いることができる。これによって、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて反射される太陽光を、前記太陽光集光用反射装置によって効率よく集熱器に集光させるとともに、集光された太陽光を、前記第1Aの発明に係る太陽光集熱器に収束させ、その収束された太陽光のエネルギーを高い利用効率で熱媒体に蓄熱し、その蓄熱エネルギーを利用することができる。

[0189] さらにまた、太陽光エネルギー利用システムにおいて、太陽光エネルギーを利用して発電を行うシステムは、蒸気タービンを用いるランキンサイクル型のシステム、ガスタービンを用いる開放ブレイトンサイクル型のシステム等のいずれの形態のシステムも適用可能であり、太陽光エネルギー利用システムのシステム全体の構成、太陽光エネルギーの利用目的、立地条件等の各種の条件に応じて適宜選択することができる。例えば、発電を主要な目的とするシステムの場合には、発電機を駆動するエネルギーとして、太陽光集熱器によって熱媒体に蓄熱される太陽光の熱エネルギーの全部を利用することができる。また、発電システムと化学プラント等の他のシステムとを組み合わせた複合システムの場合には、太陽光の熱エネルギーを発電システムと他のシステムとに、両者のエネルギー利用形態、熱媒体の温度等を考慮して、太陽光のエネルギーを分配して効率的に利用できるようにすることができる。

[0190] 次に、太陽光エネルギー利用システムとして、太陽光エネルギーを利用して発電を行う

システムの具体例について説明する。

- [0191] 図24は、太陽光エネルギーを、ガスタービンを備える発電プラントの熱エネルギー源として利用する開放ブレイトンサイクル型の発電システム(ソーラーガスタービンシステム)の具体例を示す(Sinai, J. et al. "Adaptation and modification of gas turbines for solar energy applications", GT 2005-68122, proc. ASME Turbo Expo 2005, 2005)。このソーラーガスタービンシステムは、作動媒体の空気を十分高温に加熱できれば、作動媒体として蒸気タービンを用いるランキンサイクル型のシステムよりも高い発電効率を達成することができる。
- [0192] 図24に示すソーラーガスタービンシステム70は、外気を吸引して圧縮する圧縮機71、膨張仕事をするタービン72と発電機73を備える。そして、地表に配置された複数の反射鏡(ヘリオスタット:図示せず)で太陽光を反射して、タワーの上部に設けた受光器(レシーバ)74に集光し、圧縮機71から受光器74に供給された高压空気を太陽光の集光熱で直接加熱して高温高压の空気が生成する。生成した高温高压空気はタービン72に導入されて膨張仕事をし、タービン72の軸に直結された発電機73で発電が行われる。
- [0193] このソーラーガスタービンシステム70において、タービン72における高温高压空気の膨張仕事の3/5は、圧縮機71の軸動力として消費されるため、発電出力は(タービンの軸動力)－(圧縮機の所要軸動力)に等しい。膨張仕事を終えたタービン排気は、もっとも単純なサイクルの場合、大気中に放散される。
- [0194] このソーラーガスタービンシステム70においては、タービン入口72aにおける高温高压空気の温度を少なくとも1000℃以上にするため、構成部材、例えば、受光器74を構成する熱交換部材は、耐熱合金であることが望ましい。また、タービンの作動媒体(空気)を、太陽光の集光熱で直接加熱し、タービンで仕事をさせるため、日射のある昼間だけでなく、夜間においては、昼間の間に熱媒体に蓄熱した太陽光の熱エネルギーを利用して、または、図24に示すように、燃焼器75における燃焼エネルギーによって、作動媒体を加熱してタービンに供給することが望ましい。なお、バイパスは、緊急時にシステムを隔離して、熱の供給を停止するため、また、ガスタービンの入口72aにおける作動媒体の温度を制御するためのものである。

- [0195] 夜間の化石燃料消費を削除し、太陽熱エネルギーのみで24時間発電を可能とするために、図25に示すガスタービン発電システム100は、太陽光集光用反射鏡によって集光された太陽光を、太陽光集熱器に収束させ、その収束された太陽光のエネルギーを熱媒体に熱エネルギーとして蓄熱し、その蓄熱された熱エネルギーの一部を、作動媒体として超臨界状態の二酸化炭素を用いてガスタービン発電プラントに供給して発電を行うものである。
- [0196] 図25に示すガスタービン発電システム100は、太陽光集熱器101と、溶融塩熱交換器102と、タービン103と、発電機104とを備える。さらに、タービン103の出口103aと溶融塩熱交換器102の入口102aとの間に、再生熱交換器105と、前置冷却器106と、低圧圧縮機107と、中間冷却器108と、高圧圧縮機109とからなる再生サイクルを備える。
- [0197] このガスタービン発電システム100は、太陽光集熱器101において溶融塩に蓄熱された太陽光の熱エネルギーを熱源としてガスタービンサイクルを駆動するものである。このガスタービン発電システム100においては、前置冷却器106で臨界温度近傍まで冷却された二酸化炭素(作動媒体)は低圧圧縮機107で圧縮され、昇温した作動媒体(二酸化炭素)は、中間冷却器108で、再度、臨界温度近傍まで冷却された後、高圧圧縮機109で昇圧されて超臨界状態の二酸化炭素となる。そして、作動媒体(超臨界状態の二酸化炭素)は、再生熱交換器105でタービン103の出口103aから排出される排気ガスの排熱を回収して昇温した後、溶融塩熱交換器102において、太陽光集熱器101において溶融塩に蓄熱された太陽光の熱エネルギーを吸収して、さらに昇温してタービン103に導入され、膨張仕事を行い、降温する。このタービン103の出口103aから排気された作動媒体は、その排気が持つ熱エネルギーを、再生熱交換器105において、高圧圧縮機109の出口から排出されるガスに移行させた後、前置冷却器106において臨界温度近傍まで冷却されて、再び、低圧圧縮機107に供給される。この作動媒体(二酸化炭素)の循環サイクルを通じて、太陽光の熱エネルギーによって、作動媒体の膨張仕事によって駆動されるタービンによって発電機104における発電が行われる。なお、本発明における「超臨界状態の二酸化炭素」とは、臨界圧力(7.375MPa)以上の圧力状態の二酸化炭素を言う。

[0198] このガスタービン発電システム100において、中間冷却器108は、高圧圧縮機109の入口における作動媒体の温度を下げることにより、高圧圧縮機109における圧縮仕事を低減させる役割を有する。

また、再生熱交換器105は、タービン103からの高温の排気ガスが有する熱エネルギーをサイクル内部で回収し、投入熱量を節約することで、ガスタービンサイクルの熱効率の向上に寄与する。

このように、循環サイクル化することによって、ガスタービンサイクルの熱効率の最大値が高圧圧縮機109の圧力比が小さいところに存在するので、ガスタービンの耐圧設計が容易になる利点がある。

[0199] このガスタービン発電システム100では、太陽光集熱器101に集熱した太陽光の熱エネルギーを、蓄熱媒体に蓄熱するとともに、熔融塩熱交換器102を介して、その一部をガスタービン発電システム100における発電に利用することによって、日射量の日量変化に依存せず、一定の出力で昼夜発電できるシステムとすることができる。このとき、作動媒体の使用可能温度範囲(中温度<1000℃)で動作し、しかも蒸気タービンの効率を越えるガスタービンサイクルとするためには、超臨界状態の二酸化炭素を作動媒体とする前記クローズドサイクルのガスタービンサイクルが、有効である。

[0200] このガスタービンサイクルにおいて、作動媒体として超臨界状態の二酸化炭素を用いる理由は、下記の通りである。

一般に、気体の圧縮/膨張仕事は次式で表される。

[数11]

$$W = \int V dp = \int zRT dp / p \quad (1)$$

そして、後記のとおり、二酸化炭素の圧縮率因子 z が臨界点近傍で急減する特性(最大で理想気体の1/5)を利用して、圧縮機の所要動力を大幅に低減できる利点がある。かつ、二酸化炭素の臨界条件(31℃、7.4MPa)は常温近傍に存在するので、ブレイトンサイクルよりも低温度で熱効率が高いサイクルを構成できる利点がある。

[0201] また、ブレイトンサイクルよりも高圧であるが、再生サイクルを採用すればガスタービ

ンサイクルの熱効率の最大値が低圧力比側にシフトするので、設計可能である。

さらに、このガスタービン発電システム100における作動媒体の再生サイクルでは、再生熱交換器105の温度効率がサイクルの熱効率の値を大きく左右する。特に、温度効率が0.95以上の高いサイクル熱効率を実現できる。そこで、再生熱交換器105として熱交換器の一種であるPCHE (Printed Circuit Heat Exchanger)を利用することが望ましい。通常の熱交換器では経済的な制約から0.85程度である温度効率を0.95以上に高くすることが可能で、しかもコンパクトな熱交換器を実現してコスト低減に有効であり、さらに、高い耐圧性も実現することができるからである。また、中間熱交換器108または再生熱交換器105に高伝熱性能かつ圧力損失が低い特性を有するPCHEを用いれば、低コストで高効率の熱輸送が可能である。特に、再生熱交換器105は温度効率が高いほどサイクル熱効率は高くなり、95%で従来のソーラーガスタービン(開放型ブレイトンサイクル)を凌ぐことができる。この再生熱交換器105の好ましい温度効率は98%である。

[0202] 圧縮機(低圧圧縮機107、高圧圧縮機109)は、軸流型と遠心型のいずれでもよいが、軸流圧縮機の断熱効率は高いが、翼に作用する力が作動媒体の密度が高いために大きく、機械強度の観点から許容できない可能性がある。一方、二酸化炭素を作動媒体とする圧縮機(低圧圧縮機107、高圧圧縮機109)の仕事は、圧縮係数が小さい領域で動作させるので小さく、その断熱効率がサイクル熱効率に及ぼす影響は小さい。このことから、圧縮機を、機械強度的にロバストな遠心型にすることが望ましい。

また、タービン103は、大きな仕事を発生させる軸流タイプが望ましい。

[0203] また、前記のガスタービンシステムの圧縮機(低圧圧縮機107、高圧圧縮機109)の駆動に要する仕事は、タービン103における作動媒体の膨張仕事の一部で賄われる。したがって、発電機104における発電出力 Q は、タービン103での膨張仕事 W_T から圧縮機(低圧圧縮機107、高圧圧縮機109)の仕事 W_C を差し引いたもの、すなわち次式で与えられる。

[数12]

$$Q = W_T - W_C \quad (2)$$

ここで、もし、作動媒体が理想気体の場合には、 W_c は W_T の $3/5$ にもなる。したがって、 W_c を小さくすることで、発電出力 Q を大きくし、かつ熱効率の向上を得ることができる。そこで、二酸化炭素の臨界状態近傍の物性値について検討すると、まず、図26は二酸化炭素の圧縮率係数 z の温度圧力依存性を示す。図26において、三角マークが臨界点を示す。

[0204] この図26から、300Kの常温近傍に圧縮率係数 z の値が小さい領域が存在し、500 K付近では理想気体の値である1に漸近することがわかる。したがって、常温近傍での z の圧力依存性は大きく、一方、高温での圧力依存性は小さい傾向がある。ちなみに、圧縮機(低圧圧縮機107、高圧圧縮機109)の入口における作動媒体の温度を35度(308K)とすると、 z の最小値を与える圧力は9~10MPaに存在するので、圧縮機の入口における作動媒体の圧力をこの近傍に選べばよい。一方、タービン103での膨張仕事は大きいほうが良いので、タービン103の入口における作動媒体の温度を500K以上にする。圧縮機(低圧圧縮機107、高圧圧縮機109)とタービン103の好ましい作動領域を図26中に示す。式(1)と式(2)から、ガスタービンの効率向上を期待できることがわかる。このとき、タービン103の入口における作動媒体の圧力は、再生サイクルの最適圧力比と圧縮機(低圧圧縮機107、高圧圧縮機109)の入口における作動媒体の圧力とから逆算される値を選択する。このように、ガスタービン構成機器の入口圧力・温度条件を最適化するようにサイクルを構成することができる。

[0205] 図25中に、中間熱交換器108と再生熱交換器105を備えるガスタービン発電システムにおける熱バランスの試算例を示す。すなわち、溶融塩熱交換器102における交換熱量、低圧圧縮機107、高圧圧縮機109の入口における作動媒体の温度、タービン103の入口における作動媒体の温度・圧力をそれぞれ図25に示した値に、圧縮機とタービン103の断熱効率をそれぞれ0.9、0.93に、再生熱交換器105の温度効率は98%に固定し、タービンの膨張比をパラメータにして熱バランスを計算した。この試算例では、溶融塩熱交換器102からの作動媒体への入熱が50MWのときに、23.6MWの電気出力が得られる。したがって、サイクル熱効率は47.2%であり、図24に示したブレイトンサイクルの効率(33%)、さらには、従来の蒸気タービンの効率(39%)を上回っている。

[0206] また、図27は、タービン入り口の作動流体の温度が800K(527℃)の条件下、図25に示した再生熱交換器と中間熱交換器108とを備えるガスタービン発電システム(図27中のRC+ICサイクル)と、再生サイクルを有しないガスタービン発電システム(図27中のICサイクル)とについて、比出力ーサイクル熱効率の関係を示す図である。この図27から、再生サイクルを有しないガスタービン発電システム(図27中のICサイクル)では、タービン103の膨張率が20のときに熱効率が最大(26%)になり、比出力も大きい。しかし、このような大きい膨張率は作動媒体が二酸化炭素の場合は、システムが高圧になりすぎ、実現困難である。これに対して、再生熱交換器105を備えるガスタービン発電システム(図27中のRC+ICサイクル)では、サイクル熱効率が最大で47%に向上することがわかる。このように、本再生サイクルでは、既出の図24に示した開放型ブレイトンサイクルに比べてタービン入り口温度が低くても、高いサイクル熱効率を達成できる。既出の図25はこの最適条件下での熱平衡線図を示したものである。

[0207] 次に、図28は、サイクル熱効率の膨張比依存性を示す。この図28から、最大熱効率を与える膨張率は1.55であり、十分製作可能なタービンである。ただし、比出力は、ICサイクルの約50%に低下するので、発電出力が小・中規模のガスタービンに向き、ソーラー応用に好適であると言える。タービン103の入口における作動媒体の圧力は20MPa付近に最適値があることが分かる。

[0208] 図29は、再生熱交換器の温度効率がサイクル熱効率に及ぼす影響を示す図である。なお、図29の右縦軸のSpecific heat duty of recuperatorおよび図中のSpecific Q_{recup} は、再生熱交換器の比熱負荷を示す。この比熱負荷が大きいと、所要熱交換を達成するうえでの再生熱交換器は小さくてすむ。

図29から、通常の熱交換器の温度効率85%程度では、サイクル熱効率が20%程度にしかならないが、温度効率が98%では熱効率は47%になることが分かる。特に、温度効率が95%以上での感度が大きい。これより、再生熱交換器105を備えるガスタービン発電システム(図27中のRC+ICサイクル)の特徴は、高効率の再生熱交換器との組み合わせで初めて実現できることが分かる。

そして、作動流体の温度・圧力範囲を考慮すると、耐圧、耐熱性に優れたPCHE(

Printed Circuit Heat Exchanger)が最適である。図26に示した事例では、シェルアンドチューブ型熱交換器の総容積は 125m^3 になるが、PCHEでは 10m^3 と12分の1で済み、機器配置スペース、コストの両面で有利である。ここで、PCHEは、エッチングによって、水力等価直径0.6mm程度の流路を刻設した厚さ1mm程度の金属板を、高温側流路と低温側流路が交互に重ね合うように、多数枚を拡散接合して構成される熱交換器である。このPCHEは耐熱性および耐圧性が高く、高温・高圧で運転される超臨界 CO_2 ガスタービンサイクルシステムに好適である。

[0209] したがって、このガスタービン発電システム100においては、太陽光集熱器101において溶融塩に蓄熱された太陽光の熱エネルギーを、一旦、蓄熱媒体に蓄え、その一部をガスタービン発電プラントに供給することにより、24時間の連続発電が可能となる。また、ガスタービンサイクルを、超臨界状態の二酸化炭素を作動媒体にした、中間熱交換器108を備える再生サイクルとすることにより、蓄熱媒体の運用温度範囲(中温度)で動作でき、しかもランキンサイクルよりも高い発電効率を確保できる。このような特徴を有するガスタービン太陽熱発電システムは、既存電源と競合可能な、二酸化炭素を発生しない発電システムを構築できる。

[0210] 次に、図30は、ガスタービン発電システムと化学プラントとを結合させた太陽光エネルギー複合利用システムの具体例を示す。

図30に示す太陽光エネルギー複合利用システム110は、太陽の光エネルギーをヘリオスタット111で反射し中央反射鏡112で集光した太陽光を太陽光集熱器113で受光して、受光した太陽光の熱エネルギーを溶融塩に蓄熱してガスタービン発電システムおよび化学プラントにエネルギーを供給して発電および化学プロセスを行うシステムである。なお、図30は中央反射鏡112を備えるシステムを示すが、これがない場合、すなわち太陽光集熱器が高所にある、タワーアップ方式であってもよい。

[0211] この太陽光エネルギー複合利用システム110において、溶融塩等の蓄熱材は、ポンプP3によって低温蓄熱容器114から太陽光集熱器113に供給され、太陽光集熱器113で受光した太陽光の熱エネルギーを吸収して高温となり、ポンプP1によって高温蓄熱容器115に送給されて貯留される。そして、高温の蓄熱材は、第1蓄熱材熱交換器116に供給されて、再生熱交換器117を通して、タービン118からの排ガスの

排熱を回収した二酸化炭素に熱エネルギーを供給する。さらに、第2蓄熱材熱交換器119において、化学プロセス、海水淡水化などに熱を供給する化学プラントサイクルに熱エネルギーを供給して、所定の温度で低温蓄熱容器114に戻る。

[0212] 第1蓄熱材熱交換器116で加熱された二酸化炭素は、タービン118で膨張仕事を行い、発電機120によってその一部またはほぼ全部を電気エネルギーに変換する。タービン118で仕事を終えた排気ガス(作動流体)は、再生熱交換器117でその熱エネルギーの一部を圧縮機121で加圧された作動媒体に与えた後、冷却器122で所定の温度に冷却されて、圧縮機121に導入される。圧縮機121で加圧され再生熱交換器117で加熱された作動媒体は第1蓄熱材熱交換器116に導入されて、太陽熱エネルギーで加熱され、ガスタービン発電サイクルが一巡する。この発電サイクルにおいて、比出力を向上させるため、圧縮機121は、図25に示す低压圧縮機107と、中間熱交換器108と、高压圧縮機109とから構成されるインタークーリング(IC)サイクルであることが好ましい。あるいは、冷却器で冷却された作動媒体の一部を分岐し、第三の圧縮機に導いて圧縮後、再生熱交換器に導いてもよい。この太陽光エネルギー複合利用システム110において、高温蓄熱容器115から第1蓄熱材熱交換器116に供給する熱エネルギーを制御すれば、24時間、第1蓄熱材熱交換器116に所定量の熱エネルギーを供給できるので、夜間も一定出力で発電することができる。第1蓄熱材熱交換器116での作動媒体(二酸化炭素)の加熱に、化石燃料を燃焼させて補助的に熱を供給することも可能である。化学プラントの具体例として、石炭ガス化プロセスのCMM(スラリー)を加熱蒸発するプラント、あるいは熱で蒸気を発生し海水淡水化の熱源として用いることができる。また、蒸気温度が高い場合にはランキンサイクルを構成し、発電するシステムとすることが可能である。

[0213] これらのガスタービン発電システムおよび太陽光エネルギー複合利用システムにおいて、蓄熱媒体は、600℃以下の動作温度では、硝酸系アルカリ塩(たとえば、 NaNO_3 , KNO_3 の等モル溶液)が好ましい。また、600℃以上の動作温度では、蓄熱媒体として金属ナトリウムを用いることができる。金属ナトリウムは、融点が80℃、沸点が850℃付近にあり広い温度範囲で液体を保てる上、熱伝導率が極めて高いので熱輸送媒体として好適である。溶融塩よりも高温で用いることができるので、ガスタービンサ

イクルのサイクル熱効率が硝酸系溶融塩を用いる場合に比べて高いという特徴がある。また、二酸化炭素との化学反応速度が遅いので、仮にナトリウムと二酸化炭素との直接接触が起きても、爆発や大きな発熱は生じないので安全である。

実施例

[0214] 次に、本発明の実施例を示し、本発明をより具体的に説明するが、本発明は、これらの実施例に限定されるものではない。

[0215] (実施例1)

表1に、商用化規模の太陽光エネルギー利用のための集光システム(実用化)と、その商用化規模の太陽光エネルギー利用の実証試験を行うための集光システム(実験)とについて、その主要諸元を示す。そして、実用化される集光システムについて、図31に回転双曲面(図中に破線で示す)と、その回転双曲面に沿って配置された反射鏡セグメントの構成例を示す。

[0216] [表1]

表1 計算に用いた集光システムの諸元

		実験	実用化
ヘリオスタット	形状	正方形	
	大きさ	0.63m×0.63m	
	セグメントの個数	36	
	外周径	4.8m	
	個数	2,011	18,600
反射鏡セグメント	形状	回転双曲面	回転双曲面
	地上からの上方焦点(集光点)の高さ	45m	140m
	地上からの下方焦点(集光面)の高さ	10m	25m
ヘリオスタットの設置場所(円形)	外径	123m	370m
	内径	18m	25m
熱出力		10.9MW	100MW

[0217] 上方焦点高さ140m、下方焦点高さ25mという条件を満たす回転双曲面は無数に存在する。そこで、図31に示すとおり、中心点高さ116mから1mの間隔で125mまで、10個の回転双曲面についての一部(太線で示されている部分)を使って反射鏡群を構成する場合について検討した。

高さ116mの回転双曲面は一番外側(右)の部分を使用する。ここで、点Aは、太陽

の中心から発し外側から5番目(系列番号67:図32の横軸参照)のヘリオスタットの中心で反射した光線が、この回転双曲面上に照射される点である。

[0218] そして、この反射鏡群の構成において、回転双曲面の点Aにおける接線を集光点と集光面の中心とを結ぶ中心線CLの回りに回転させた曲面(形状は円錐台形)を考える。系列63～系列71(図32の横軸参照)のヘリオスタットからの光線が、この円錐台形面で反射して下方焦点面(集光面)を通過する際の半径方向座標を示したのが図32である。

[0219] 図32における「ヘリオ外縁太陽内縁」は、ヘリオスタットの外縁で反射された太陽光を意味する。この太陽光が、中心から最も外側方向へのずれが大きい。逆に、内側方向へのずれは、「ヘリオ内縁太陽外縁」の光線の場合が最も大きくなる。

[0220] この図32から、ヘリオスタット(1次反射鏡)によって集光される太陽光を反射して集光面に収束させる2次反射鏡を複数の反射鏡セグメントからなる反射鏡群で構成することにより、2次反射鏡を回転双曲面で構成される一枚の反射鏡で構成する場合よりも、集光面での光の拡がり小さくなることが分かる。

[0221] また、図33は、集光面における熱流束の半径方向の分布を、本発明の太陽光集光用反射装置による場合と、従来の場合とを対比して示す。この図33から、本発明の太陽光集光用反射装置による場合は、集光面における熱流束の半径方向の分布は、中央部の集光倍率が下がり、周辺部(下方焦点面内位置の大きいところ:集光面の中心から外側に向かう部分)では上がっているのがわかる。これは、熱流束の平坦化を示し、改質反応炉等の熱エネルギーとして利用するために好ましく、空間的に均一な温度分布を与える熱流束の分布特性である。

[0222] (実施例2)

上方焦点高さ140m、下方焦点高さ25mという条件を満たす回転楕円面で構成される反射鏡セグメントからなる反射鏡群の構成例を図34に示す。図34に示す反射鏡群は、中心点高さ164mから1mの間隔で155mまで、10個の曲率半径が異なる回転楕円面のそれぞれの一部(太線で示されている部分)を使って反射鏡セグメントを構成した例を示す。

この反射鏡群からなる太陽光集光用反射装置では、ヘリオスタットによって回転楕

円面の上方焦点に集光された太陽光は、各反射鏡セグメントで反射されて、回転楕円面の下方焦点(集光面)に、前記実施例1と同様の光の拡がり(図32に示す光の拡がり)で収束される。

[0223] 次に、太陽光集光システムとして、1km四方の平地の中央に高さ $H=120\text{m}$ のタワーを設け、1本のタワー周辺に配置した多数の第1のヘリオスタットからタワーの頂部に配置した集熱器に集光する場合を考える。ここで、太陽高度を45度とすると、このエリアへの太陽からの直達エネルギーは約700MWである。

[0224] (実施例3)

座標原点(0, 0)をタワーの位置にとり、タワーを含む南北方向の諸量の分布を求めた結果を図35に示す。ここで、ヘリオスタットは互いに光の干渉が生じない(ブロッキングと陰を避けた)範囲で最も密に配置してあるものとする。

[0225] 図35において、横軸は、南北方向の第1のヘリオスタットの位置を示す。縦軸は、陰とブロッキング長さは第1のヘリオスタットの大きさとの比、受光量は第1のヘリオスタットが太陽に正対している場合の集光量 $\rho_{\max}$ に対する比を表す。

[0226] 図35に示す結果から、第1のヘリオスタットの受光量、陰長さ、ブロッキング長さともにタワーの北側で顕著である。また、下記式で表される範囲では、陰のほうが、それ以外ではブロッキングの方が長いことが分かる。

[数13]

$$|y| < H / \tan(\phi) = 120 / \tan(45) = 120$$

[0227] 第1のヘリオスタットの配置間隔は、陰の長さとブロッキング長さのいずれか長いほうで決まるため、この図35に示す結果から、光の干渉を避けたヘリオスタットの最密配置の方法は、北側には受光量の大きい第1のヘリオスタットが疎に、南では受光量の少ない第1のヘリオスタットを密に配置することになる。ヘリオスタット1基の受光量は、北側で多く、南側で少ないので、タワーが1本の場合に最小のヘリオスタットの基数で最大の受光量を得るには、タワーの位置をフィールド中心から南側に移動させた位置にするのが有利である。

また、北側に $4H$ の位置でのブロッキング長さは、第1のヘリオスタットの4倍であり、そのうちの地面が明るい部分は $2.6H$ (ブロッキング長さから陰長さを差し引いた差

分)もあることがわかる。

- [0228] 次に、図36は、2本のタワー(集光点)を有する太陽光集光システムに本発明を適用したときの集光密度(南北方向のフィールド単位長さ当たり回収できる光量)のフィールド平均値を理論値に対する比で示した。ここで、タワー(集光点)高さ $H=60\text{m}$ 、南北のフィールド長さは $8H=480\text{m}$ 、フィールド中央は南端から、 240m の位置にある。図35に示す集光システムの $1/2$ 縮尺に相当する。図36において、横軸は、南側のタワーの座標を示す。
- [0229] この集光システムにおいて、北側のタワーは原点(フィールド中央)に対して南側のタワーと点対称な位置にある。
- [0230] 図36に示すように、タワー(集光点)が一つの場合と比較すると、明らかに、本発明を適用した2つのタワーを有する集光システムの方が、フィールド利用効率が高く、南端から $2H$ 付近に最大値を与える位置があることが分かる。この位置では、一つの集光点を有する従来の集光システムの場合に比べて、約1.5倍の効率の改善が見られることが分かる。
- [0231] 幾何学的な相似の関係から、タワー高さに対する比が等しい南北の位置では同じ結果を与えることを考慮すると、この結果を敷衍して、例えば、 $H=120\text{m}$ 、南北 960m のフィールド(図35に示す態様)では、最適地点は、 $2H=240\text{m}$ 付近に存在することが分かる。
- [0232] 図37は、最適タワー位置での諸量として、集光密度、南向きヘリオスタット(第1のヘリオスタット)の数密度、第1のヘリオスタットと第2のヘリオスタットの合計数密度、合計の集光密度を計算した結果を示す。第2のヘリオスタットは横軸 $<-50\text{m}$ の領域に第1のヘリオスタットと混在し、その数は、破線(南向きヘリオスタット(第1のヘリオスタット)の数密度)と、二点鎖線(第1のヘリオスタットと第2のヘリオスタットの合計数密度)との縦軸の値の差に相当する。
- この図37から、各タワーを中心とする 60m 以内の領域(全体の50%)で太陽高度 45° の場合の理論集光密度 $=0.707$ を達成できていることが分かる。
- [0233] 図38は、理論集光密度を実現している領域($-260 < y < -180$)において、埋め込みをせずに北側のタワー(二本目)に集光させた集光システムの場合と、本発明の

集光システム(第1のヘリオスタットと第2のヘリオスタットの混在)の場合に必要なヘリオスタット数の比較を示す。明らかに、ヘリオスタットの設置個数は、本発明の場合では少ないことが分かる。言い換えると、本発明におけるヘリオスタットの埋め込み方式では、所要の集光量を得るために必要なヘリオスタットが少なくて済む効果がある。このケースでは5%低減されることが分かる。

[0234] ヘリオスタットの最適配置

次に、太陽とタワーが同じ方向に見える線上でのヘリオスタットの配置について考える。

まず、タワーの高さを60mとし、タワーを中心とする半径480mの領域での集光を考慮して、タワーの位置を変数にして、相対的なメリットを算出した。ここで、設備費に占めるヘリオスタット関連コストをパラメータにした。図39は太陽高度45度の場合の計算結果を示す。メリットの基準は、領域の中央にタワーが一本配置されている場合とした。

[0235] 図39から、タワーが1本の場合、メリットが最大になる最適点は、建設費全体に占めるヘリオスタットの設備費の割合が0.6、0.5、0.4に対応して、それぞれ、タワーの南端から120m、150m、180mになることが分かる。この位置は、太陽高度が45度の場合、タワーの高さをHとすると、一般的に2H, 2.5H, 3Hと表現することができる。

[0236] これは、北半球ではタワーの北側でのヘリオスタットの集光量が大、一方、隣接するヘリオスタットとの光の干渉(陰と反射光の遮り)を避けて配置できる第2のヘリオスタットの単位面積当りの数(数密度)は南側で大きい傾向があることによる。しかし、一本のタワーを配置した集光システムでは、最適化後のメリットは、1本のタワーをフィールド中央に配置した場合と比べて、設備比0.5の場合で高々2%程度にとどまっている。また、必要な集光量を確保するためには広大な土地が必要である。このために、ヘリオスタットからタワー(集光点)までの光路長が長くなり、焦点面での光の広がり(希釈)が生じ、レシーバを大型にする必要が生じるという悪影響が生じる。

[0237] 一方、図17に示すとおり、2つの集光点(タワー)を有する集光システムについて、第2のヘリオスタットを埋め込んだ場合について考える。

この集光システムにおいて、タワーの北側では、 $L < H$ では陰、 $L > H$ では遮り(ブロッキング)が、第1のヘリオスタットの配置間隔を決定する。ブロッキングの領域には地面に陽が当たる場所があり、これがフィールド利用効率を低下させている。そこに北向きに第2のヘリオスタットを配置して、2番目のタワーに集光させる。光路が逆向きかつタワーとの距離が短いので、光の干渉は少なく、効率的に第2のヘリオスタットを配置できる。

- [0238] また、 $L = H$ の場合は、第2のヘリオスタット同士の間隔も陰によって支配されるので、照射面は完全に消えフィールド効率は100%になる。ここで、この配置方法を、完全被覆と呼ぶことにする(図22参照)。南北の両端から同一距離離れた位置に2本のタワーを配置し、その距離を変数にした。パラメータは、ヘリオスタットの設備費割合である。また、タワーの設備費割合を10%/本とした。この場合、メリットが最大になるタワーの最適位置は南北端から、 $L = 100 \sim 110\text{m} = 1.7 \sim 1.8H$ 程度の地点にあり、タワー(集光点)が一本の場合より、やや端に近い。また、最適位置のヘリオ設備費割合への依存性が小さいことがわかる。基準のケースに比べて、集光量は38%(ベネフィット増)、ヘリオスタットの数25%増え、また、タワーが1本増加する(コスト増)結果、全ヘリオスタットの全設備費に占める割合、すなわち、設備比が0.5の場合に、1本のタワーをフィールド中央に配置した場合と比べてメリットは15.5%($= 38 - 0.5 * 25 - 10$)にも向上する。最適化された1本タワーのケースと比べても13.5%($= 15.5 - 2$)のエネルギー原価の低減がある。

図面の簡単な説明

- [0239] [図1]本発明の第1の実施形態に係る太陽光集熱器の概形を示す模式図である。
- [図2](a)は、図1に示す太陽光集熱器の模式断面図、(b)は(a)に示すA-A線断面図である。
- [図3]太陽光集熱器における熱収支を説明する図である。
- [図4]太陽光集熱器の断面形状と受光面における熱フラックス分布に関するシミュレーション結果を示す図である。
- [図5]集熱体の形状例を示す模式図である。
- [図6]第1の実施形態の太陽光集熱器の受光面における温度分布のシミュレーション

結果を示す図である。

[図7](a)は、集熱体を構成する熱媒体流通管を8条巻きに形成した例を示す斜視図、(b)は、(a)におけるB-B線断面図である。

[図8]本発明の第2の実施形態に係る太陽光エネルギー利用システムを示す概念図である。

[図9](a)は、本発明の第3の実施形態に係る太陽光集熱器の概形を示す模式図、(b)はその変形例を示す模式図、(c)は、(a)および(b)におけるB-B線断面およびC-C線断面を示す図である。

[図10](a)および(b)は、それぞれ図9(a)および(b)の好ましい形態を示す模式断面図、(c)は、(a)および(b)におけるB-B線断面およびC-C線断面を示す図である。

[図11]黒色にした混合熔融塩を熱媒体として用いた場合の集熱体の内外における温度分布をシミュレーションした結果を示す図である。

[図12]透明な熱媒体を用いた場合の集熱体の内外における温度分布をシミュレーションした結果を示す図である。

[図13]本発明の第4の実施形態に係る太陽光エネルギー利用システムを示す概念図である。

[図14]本発明の第5の実施形態に係る太陽光集光用反射鏡を説明する図である。

[図15]太陽の視差角の存在に起因して集光面に収束される太陽光が拡がりを持つことを示す概念図である。

[図16]本発明の第6の実施形態に係る太陽光エネルギー利用システムの構成例を示す概念図である。

[図17]本発明の第7の実施形態に係る太陽光集光システムを示す模式図である。

[図18](a)は第1のヘリオスタットを示す斜視図、(b)は第2のヘリオスタットを示す模式図、(c)は第2のヘリオスタットの設置例を示す図である。

[図19]第1のヘリオスタットの陰長さと方向の時刻変化と第2のヘリオスタットの動きについてシミュレーションした結果を示す図である。

[図20]太陽からの入射光、タワーへの反射光と、第1のヘリオスタットによる陰および

反射光の遮り(ブロッキング)の関係を示す図である。

[図21]1本のタワーがフィールド中央に立つ場合におけるヘリオスタットに関わる諸量の南北方向分布を示す図である。

[図22](a)は2つのヘリオスタット群を南北方向に直列に配置した場合の太陽光の集光状態を示す概念図、(b)は複数のヘリオスタット群を南北方向に直列に配置した構成を示す概念図である。

[図23](a)は集光点を三角格子状に形成する集光システムを示す模式図、(b)は(a)に示す集光システムを構成するユニットを示す模式図である。

[図24]開放ブレイトンサイクル型の発電システムの具体例を示す概念図である。

[図25]ガスタービン発電システムの具体例を示す概念図である。

[図26]二酸化炭素の圧縮率係数 z の温度圧力依存性を示す図である。

[図27]図25に示した再生熱交換器と中間熱交換器108とを備えるガスタービン発電システムと、再生サイクルを有しないガスタービン発電システムとについて、比出力ーサイクル熱効率の関係を示す図である。

[図28]サイクル熱効率の膨張比依存性を示す図である。

[図29]再生熱交換器の効率がサイクル熱効率に及ぼす影響を示す図である。

[図30]太陽光エネルギー複合利用システムの具体例を示す概念図である。

[図31]本発明の太陽光集光用反射鏡における反射鏡群の構成例を説明する図である。

[図32]集光面における光の拡がりを示す図である。

[図33]複数の反射鏡セグメントで構成したことによって、集光面における熱流束分布が平坦になることを示す図である。

[図34]各反射鏡セグメントを回転楕円面で構成した反射鏡群の例を示す図である。

[図35]太陽光集光システムとして、1本のタワー(集光点)の周辺に配置した多数の第1のヘリオスタットからタワーの頂部に配置した集熱器に集光する場合について、南北方向の諸量の分布を求めた結果を示す図である。

[図36]2本のタワー(集光点)を有する太陽光集光システムに本発明を適用したときの集光密度(南北方向単位長さ当り回収できる光量)のフィールド平均値をタワーの位

置を変数にして示す図である。

[図37]2つの集光点(タワー)を有する本発明の集光システムについて最適な集光点における諸量を計算した結果を示す図である。

[図38]2つの集光点(タワー)を有する集光システムについて、本発明の集光システムでは、同一の光量を得るに必要なヘリオスタットの数が少ないことを示す図である。

[図39]太陽高度45度の場合のヘリオスタットの最適配置を計算した結果を示す図である。

[図40]従来のビームダウン方式の太陽光集光システムの1例を示す模式図である。

符号の説明

- [0240]
- | | |
|------------------------------|----------------|
| 1 | 太陽光集熱器 |
| 2 | 受光面 |
| 3 | 集熱体 |
| 4 | 太陽光導入口 |
| 5 | 熱媒体導入部 |
| 6 | 熱媒体導出部 |
| 7 | 熱媒体流通管 |
| 11 | 反射鏡群 |
| 12 | ヘリオスタット(1次反射鏡) |
| 13 | 集光面(集熱器) |
| 21 | 第1反射鏡セグメント |
| 22 | 第2反射鏡セグメント |
| 23 | 第3反射鏡セグメント |
| 24 | 第4反射鏡セグメント |
| 25 | 第5反射鏡セグメント |
| 26 | 第6反射鏡セグメント |
| 21a, 22a, 23a, 24a, 25a, 26a | 反射面 |
| 31 | 太陽光集光システム |
| 32 | 第1のヘリオスタット |

33 第2のヘリオスタット

請求の範囲

- [1] 内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、
前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、
前記集熱体に熱媒体を導入する熱媒体導入部と、
前記太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であって、
前記集熱体は、前記太陽光導入口に向かって収束する湾曲状の受光面を有するように、前記熱媒体が内部を流通する熱媒体流通管を螺旋状に巻回して形成されたことを特徴とする太陽光集熱器。
- [2] 前記受光面が、光吸収性耐熱処理されていることを特徴とする請求項1に記載の太陽光集熱器。
- [3] 内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、
前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、
前記集熱体の上部に設けられた熱媒体導入部と、
前記集熱体の底部に設けられ、前記太陽光導入口から導入された太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であって、
前記集熱体は、前記熱媒体導入部から前記受光面の表面に沿って熱媒体を液膜流下させて前記熱媒体導出部から熱媒体を導出させるように構成されたことを特徴とする太陽光集熱器。
- [4] 前記熱媒体は、光吸収物質を含むことを特徴とする請求項3に記載の太陽光集熱器。
- [5] 前記受光面に設けられた前記熱媒体の流下案内条および／または前記太陽光導入口に設けられた石英ガラス窓を備えることを特徴とする請求項3または請求項4に記載の太陽光集熱器。
- [6] 前記集熱体は、外側に断熱部を備えることを特徴とする請求項1～請求項5のいずれか1項に記載の太陽光集熱器。
- [7] 前記集熱体は、前記太陽光導入口に断熱遮断機構を備えることを特徴とする請求項1～請求項5のいずれか1項に記載の太陽光集熱器。

- [8] 請求項1～請求項6のいずれか1項に記載の太陽光集熱器を備える太陽光エネルギー利用システム。
- [9] 請求項1～請求項6のいずれか1項に記載の太陽光集熱器から導出される熱媒体が有する熱を利用して発電または産業プロセスの加熱を行なう太陽光エネルギー利用システム。
- [10] 請求項1～請求項6のいずれか1項に記載の太陽光集熱器から導出される熱媒体の温度が日射量の変化によって変動せずに所定値を保持するように、前記熱媒体導入部からの熱媒体の導入量を調節する機構を備える太陽光集熱器。
- [11] 複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を反射して集熱器に収束させる太陽光集光用反射装置であって、
複数の反射鏡セグメントからなる反射鏡群で構成され、各反射鏡セグメントは、前記集熱器に太陽光を収束させる反射面を有することを特徴とする太陽光集光用反射装置。
- [12] 前記反射鏡群を構成する各反射鏡セグメントの反射面が、前記太陽光の集光点を共焦点とし、相異なる曲率半径を有する回転二次曲面に沿って配置されていることを特徴とする請求項11に記載の太陽光集光用反射装置。
- [13] 前記反射鏡群が、前記集光点から前記集熱器に向かう方向に沿って配置された n 個(n は2以上の整数)の反射鏡セグメントで構成され、前記集光点 $F1$ に近い側から k 番目の反射鏡セグメント S_k の反射面が配置される回転二次曲面の曲率半径 R_k (k は $1 < k \leq n-1$ の整数)と、 $k+1$ 番目の反射鏡セグメント S_{k+1} の反射面が配置される回転二次曲面の曲率半径 R_{k+1} とが、 $R_k < R_{k+1}$ となるように構成されていることを特徴とする請求項12に記載の太陽光集光用反射装置。
- [14] 前記反射鏡セグメントの反射面が、前記回転二次曲面の一部で形成されていることを特徴とする請求項12または請求項13に記載の太陽光集光用反射装置。
- [15] 前記反射鏡セグメントの反射面が、前記回転二次曲面の接平面で形成されていることを特徴とする請求項12または請求項13に記載の太陽光集光用反射装置。
- [16] 前記反射鏡セグメントの反射面が、前記回転二次曲面の一部または接平面である複数の反射鏡ユニットの集合体で構成されていることを特徴とする請求項12または

請求項13に記載の太陽光集光用反射装置。

- [17] 前記回転二次曲面が、回転双曲面および回転楕円面から選ばれる少なくとも1種の曲面であることを特徴とする請求項14～請求項16のいずれか1項に記載の太陽光集光用反射装置。
- [18] 前記複数の反射鏡セグメントが、前記複数の1次反射鏡によって前記集光点に向けて集光される太陽光およびその反射光の光路上で重複しないように配置されていることを特徴とする請求項11～請求項17のいずれか1項に記載の太陽光集光用反射装置。
- [19] 前記反射鏡セグメントの反射面が、前記回転二次曲面に沿って、前記太陽光の集光点と前記集熱器の集光面の中心とを結ぶ中心線を軸中心とする環状に形成されていることを特徴とする請求項11～請求項18のいずれか1項に記載の太陽光集光用反射装置。
- [20] 請求項11～請求項19のいずれか1項に記載の太陽光集光用反射装置を備えることを特徴とする太陽光エネルギー利用システム。
- [21] 前記集熱器が、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、
前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、
前記集熱体に熱媒体を導入する熱媒体導入部と、
前記太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であって、
前記集熱体は、前記太陽光導入口に向かって収束する湾曲状の受光面を有するように、前記熱媒体が内部を流通する熱媒体流通管を螺旋状に巻回して形成された太陽光集熱器であることを特徴とする請求項20に記載の太陽光エネルギー利用システム。
- [22] 前記集熱器が、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、
前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、
前記集熱体の上部に設けられた熱媒体導入部と、
前記集熱体の底部に設けられ、前記太陽光導入口から導入された太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であって、

前記集熱体は、前記熱媒体導入部から前記受光面の表面に沿って熱媒体を液膜流下させて前記熱媒体導出部から熱媒体を導出させるように構成された太陽光集熱器であることを特徴とする請求項20に記載の太陽光エネルギー利用システム。

- [23] 複数のヘリオスタット群を備え、各ヘリオスタット群は、そのヘリオスタット群を構成する複数のヘリオスタットによって、それぞれ太陽光の集光点を1つ形成する太陽光集光システムであって、

一の集光点Faに太陽光を集光させるヘリオスタット群Aを構成する複数のヘリオスタットAn (nは2以上の整数) の間の太陽光が照射されている場所に、他の集光点Fbに太陽光を集光させるヘリオスタット群Bを構成する複数のヘリオスタットBm (mは2以上の整数) を配置し、ヘリオスタットAnによる反射光の光路と、ヘリオスタットBmによる反射光の光路とが、各ヘリオスタットが属するヘリオスタット群の集光点に向けて形成されるようにヘリオスタットAnおよびヘリオスタットBmが配置されていることを特徴とする太陽光集光システム。

- [24] 前記ヘリオスタットAnと、前記ヘリオスタットBmとが、同一または異なる形態を有することを特徴とする請求項23に記載の太陽光集光システム。

- [25] 北半球では前記一の集光点Faの北側に、南半球では前記一の集光点Faの南側に、前記他の集光点Fbが形成されるように、前記ヘリオスタット群Aと前記ヘリオスタット群Bとが配置されていることを特徴とする請求項23または請求項24に記載の太陽光集光システム。

- [26] 前記ヘリオスタット群Aが複数の第1のヘリオスタットより構成され、前記ヘリオスタット群Bが、複数の第2のヘリオスタットより構成され、前記ヘリオスタット群Bによる集光点Fbは、集光システムが設置される地域が北半球に位置するか、または南半球に位置するかに応じて、前記ヘリオスタット群Aによって形成される集光点Faの北側または南側に形成され、

前記第1のヘリオスタットは、反射鏡面が太陽と前記集光点Faに対面する方向に配向されるように配置され、

前記第2のヘリオスタットは、反射鏡面が太陽と前記集光点Fbに対面する方向に配向されるように、前記ヘリオスタット群Aを構成する複数の第1のヘリオスタットAn (n

は2以上の整数)の間の太陽光が照射されている場所に、前記第1のヘリオスタットよりも地面に近接した位置に配置されていることを特徴とする請求項23～請求項25のいずれか1項に記載の太陽光集光システム。

[27] 前記第2のヘリオスタットが、前記太陽を追尾して日中の時刻または季節に応じて、反射鏡面に最大の太陽光を受光できるように、配置位置を移動可能および反射鏡面を可動自在に構成されていることを特徴とする請求項26に記載の太陽光集光システム。

[28] 前記ヘリオスタット群Aと、前記ヘリオスタット群Bとが、南北方向に沿って交互に配列され、隣接するヘリオスタット群B_{h1} (h1は1以上の整数)とヘリオスタット群A_{k1} (k1は2以上の整数)とが、1つの集光点を形成することを特徴とする請求項27に記載の太陽光集光システム。

[29] 3つのヘリオスタット群からなるユニットを含み、前記ユニットを構成するヘリオスタット群によって形成される3つの集光点が、底辺が東西方向に配向された三角形の頂点上に位置するように、各ヘリオスタット群を配列したことを特徴とする請求項23～請求項27のいずれか1項に記載の太陽光集光システム。

[30] 前記三角形が、底辺が東西方向に配向され、残る頂点が北半球では前記底辺の北側に配置され、南半球では前記底辺の南側に配置された二等辺三角形であることを特徴とする請求項29に記載の太陽光集光システム。

[31] 前記ユニットを東西方向および南北方向に三角格子状に配列したことを特徴とする請求項7または請求項30に記載の太陽光集光システム。

[32] 請求項23～請求項31のいずれか1項に記載の太陽光集光システムにおける複数のヘリオスタット群によって形成される各集光点に集熱器を配置して、集光される太陽光のエネルギーを回収することを特徴とする太陽光エネルギー利用システム。

[33] 請求項23～請求項31のいずれか1項に記載の太陽光集光システムにおける複数のヘリオスタット群によって形成される各集光点に、回転二次曲面状の反射面を有する反射鏡を配置して、前記反射鏡の下部に配置した集熱器に太陽光を集光させ、集光される太陽光の熱エネルギーを回収することを特徴とする太陽光エネルギー利用システム。

- [34] 請求項23～請求項31のいずれか1項に記載の太陽光集光システムによって集光される太陽光の熱エネルギーを、発電または産業プロセスに利用する太陽光エネルギー利用システム。
- [35] 前記集熱器が、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、
前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、
前記集熱体に熱媒体を導入する熱媒体導入部と、
前記太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であり、
前記集熱体は、前記太陽光導入口に向かって収束する湾曲状の受光面を有するように、前記熱媒体が内部を流通する熱媒体流通管を螺旋状に巻回して形成された太陽光集熱器であることを特徴とする請求項31～請求項33のいずれか1項に記載の太陽光エネルギー利用システム。
- [36] 前記集熱器が、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、
前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、
前記集熱体の上部に設けられた熱媒体導入部と、
前記集熱体の底部に設けられ、前記太陽光導入口から導入された太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であり、
前記集熱体は、前記熱媒体導入部から前記受光面の表面に沿って熱媒体を液膜流下させて前記熱媒体導出部から熱媒体を導出させるように構成された太陽光集熱器であることを特徴とする請求項31～請求項33のいずれか1項に記載の太陽光エネルギー利用システム。
- [37] 前記反射鏡が、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を反射して集熱器に収束させる太陽光集光用反射装置であって、
複数の反射鏡セグメントからなる反射鏡群で構成され、各反射鏡セグメントは、前記集熱器に太陽光を収束させる反射面を有する太陽光集光用反射装置であることを特徴とする請求項31～請求項32のいずれか1項に記載の太陽光エネルギー利用システム。
- [38] 前記集熱器が、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、

前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、
前記集熱体に熱媒体を導入する熱媒体導入部と、
前記太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であって、

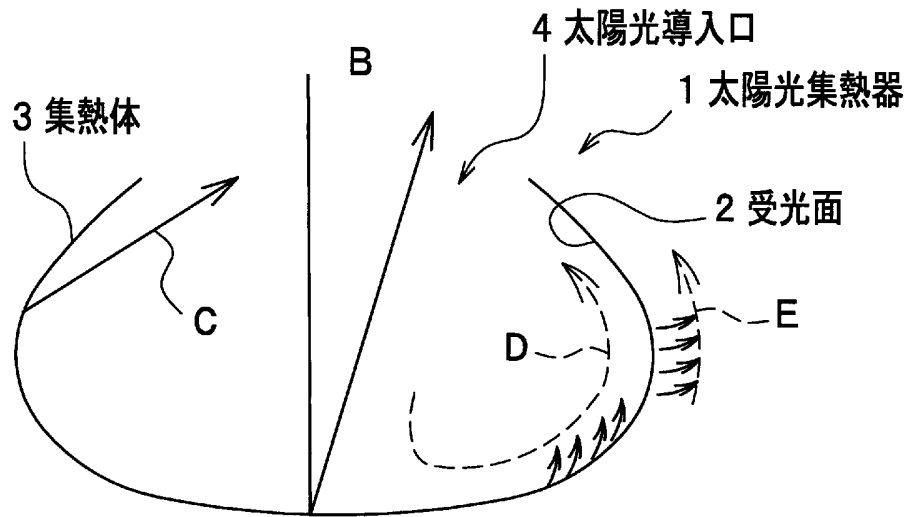
前記集熱体は、前記太陽光導入口に向かって収束する湾曲状の受光面を有するように、前記熱媒体が内部を流通する熱媒体流通管を螺旋状に巻回して形成された太陽光集熱器であり、

前記反射鏡が、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を反射して集熱器に収束させる太陽光集光用反射装置であって、

複数の反射鏡セグメントからなる反射鏡群で構成され、各反射鏡セグメントは、前記集熱器に太陽光を収束させる反射面を有する太陽光集光用反射装置であることを特徴とする請求項31～請求項33のいずれか1項に記載の太陽光エネルギー利用システム。

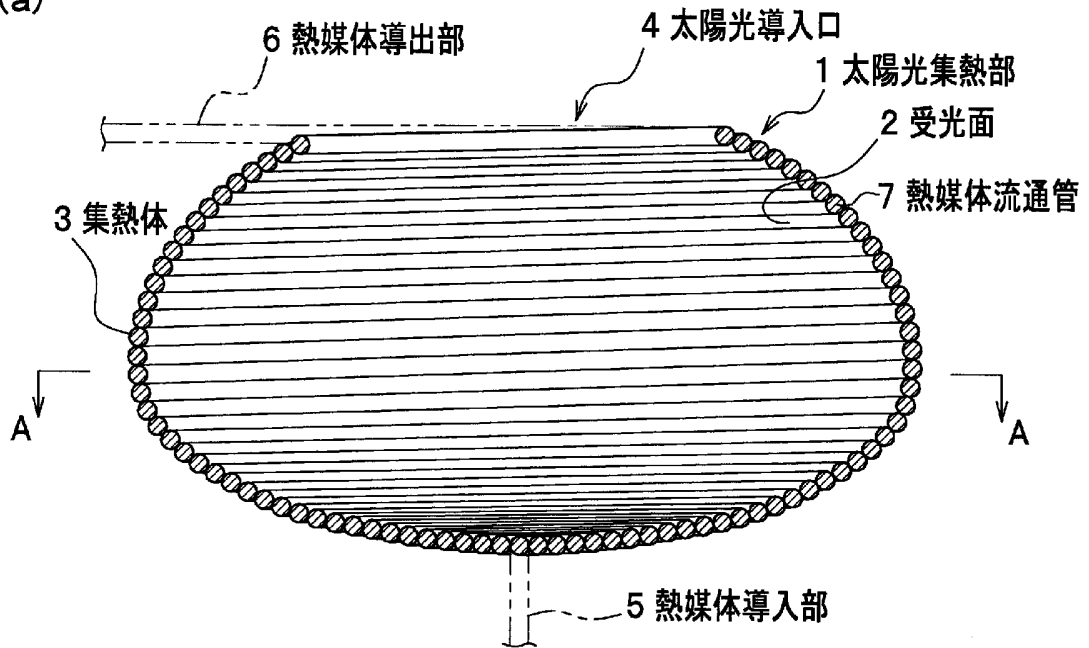
- [39] 前記集熱器が、内面に太陽光を受光する受光面を有する集熱体と、
前記集熱体の一端に開口された太陽光導入口と、
前記集熱体の上部に設けられた熱媒体導入部と、
前記集熱体の底部に設けられ、前記太陽光導入口から導入された太陽光によって加熱された熱媒体を導出する熱媒体導出部とを備える太陽光集熱器であって、
前記集熱体は、前記熱媒体導入部から前記受光面の表面に沿って熱媒体を液膜流下させて前記熱媒体導出部から熱媒体を導出させるように構成された太陽光集熱器であり、
前記反射鏡が、複数の1次反射鏡によって集光点に向けて集光される太陽光を反射して集熱器に収束させる太陽光集光用反射装置であって、
複数の反射鏡セグメントからなる反射鏡群で構成され、各反射鏡セグメントは、前記集熱器に太陽光を収束させる反射面を有する太陽光集光用反射装置であることを特徴とする請求項31～請求項33のいずれか1項に記載の太陽光エネルギー利用システム。

[図1]

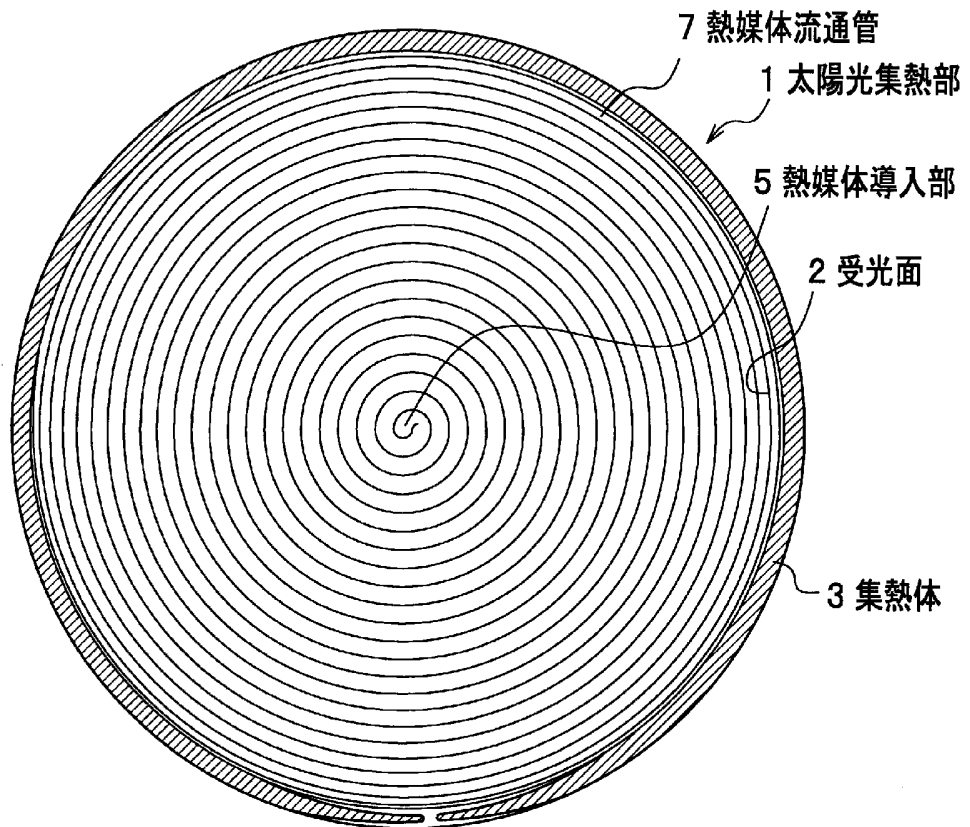


[図2]

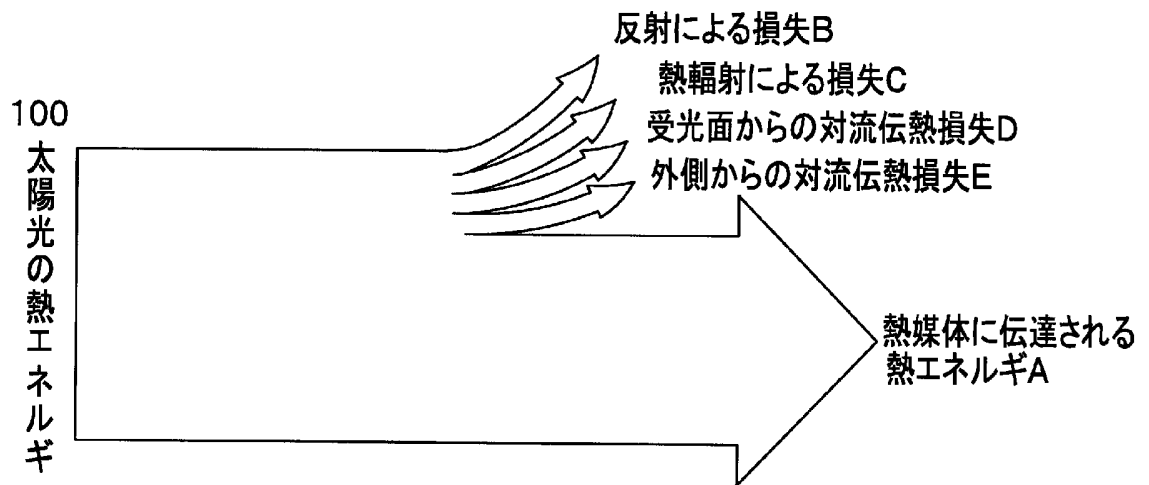
(a)



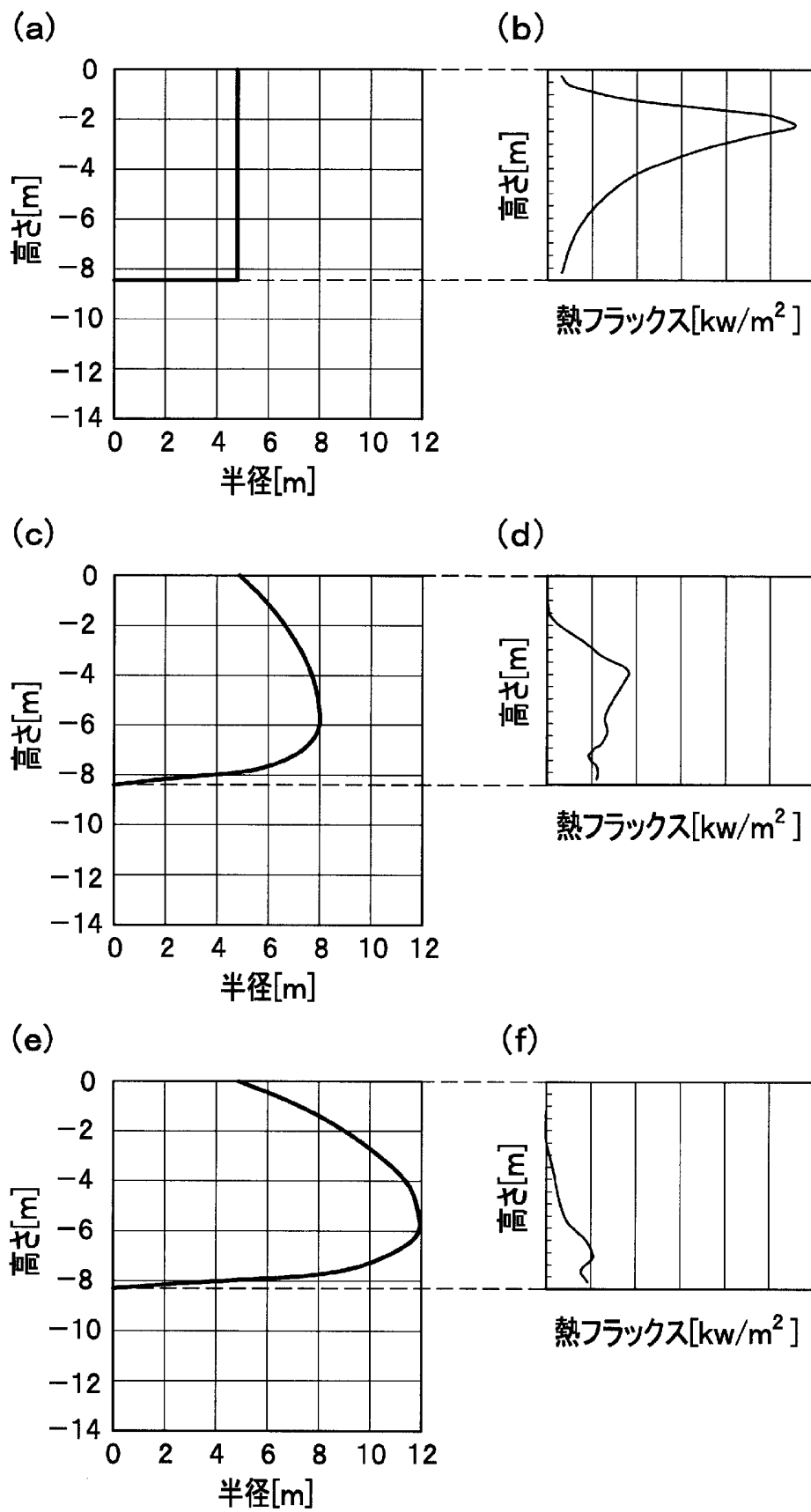
(b)



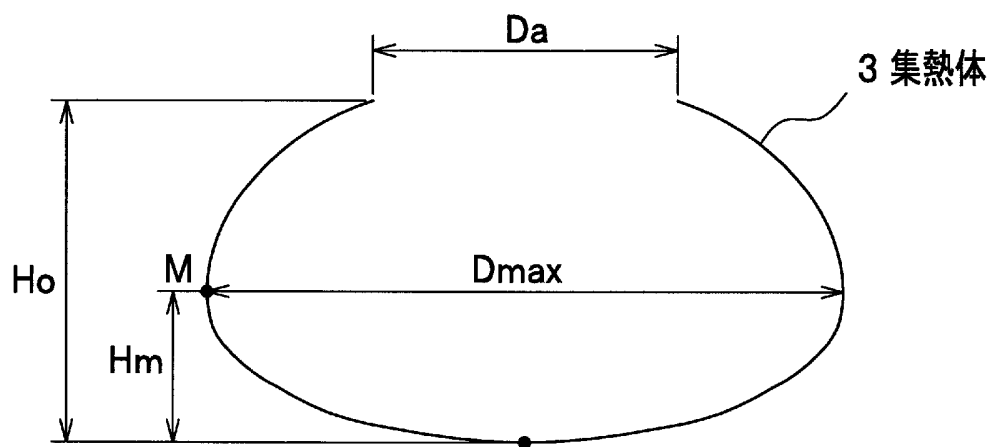
[図3]



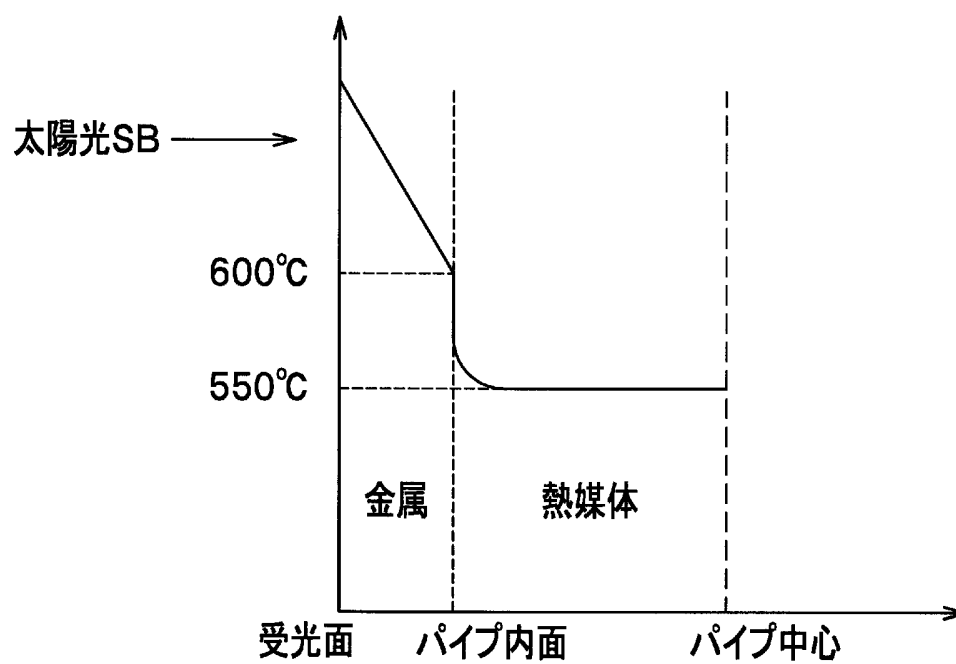
[図4]



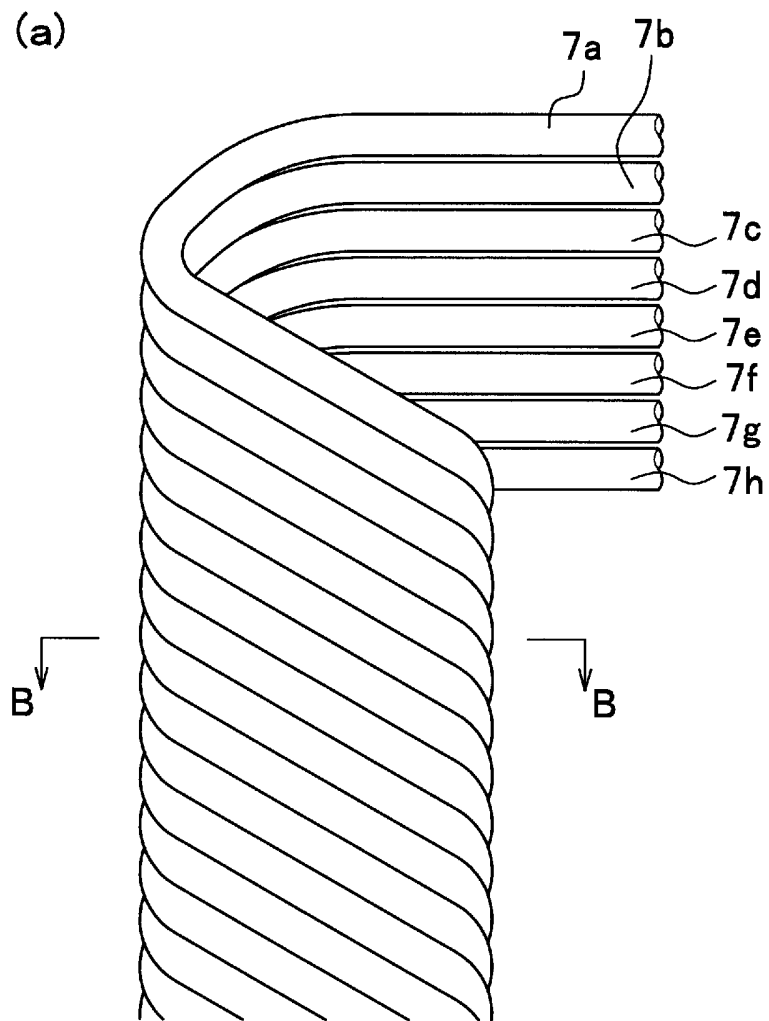
[図5]



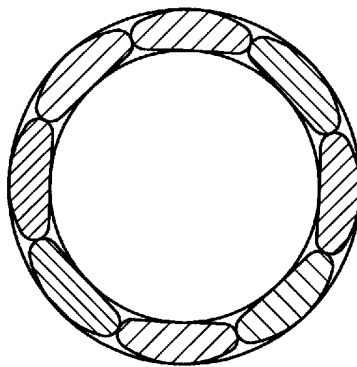
[図6]



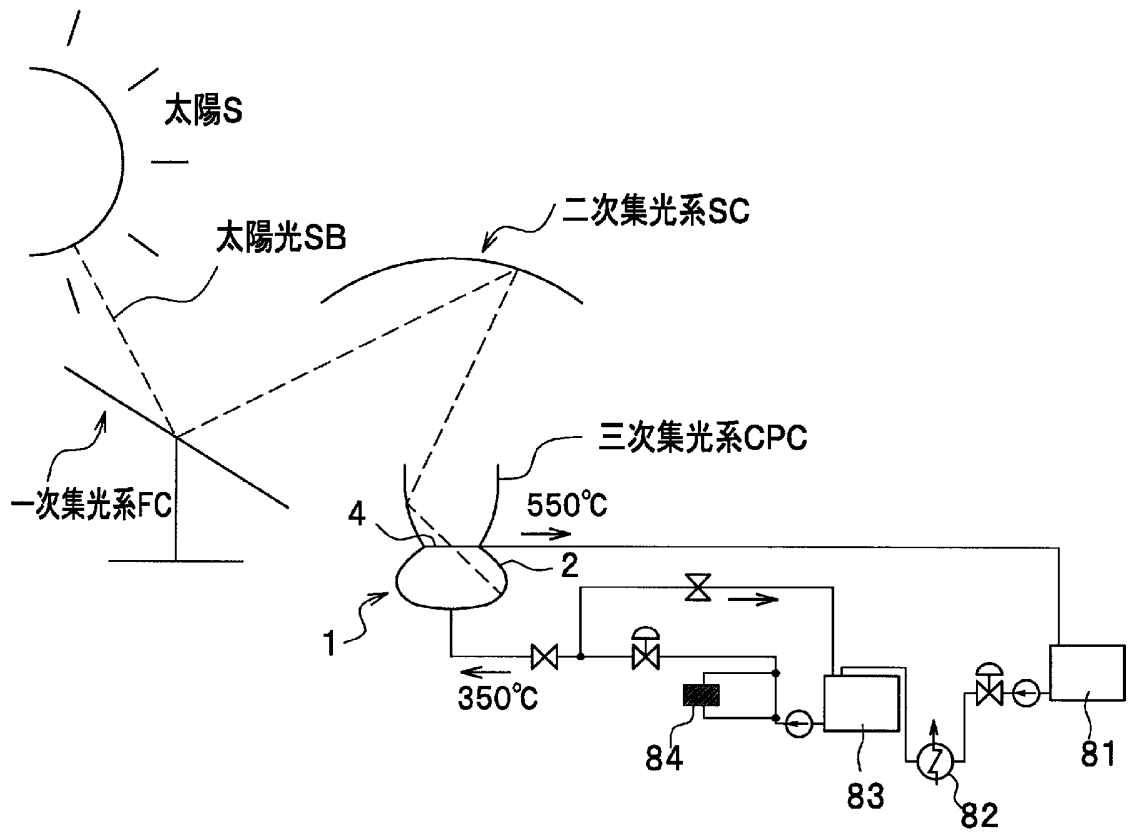
[図7]



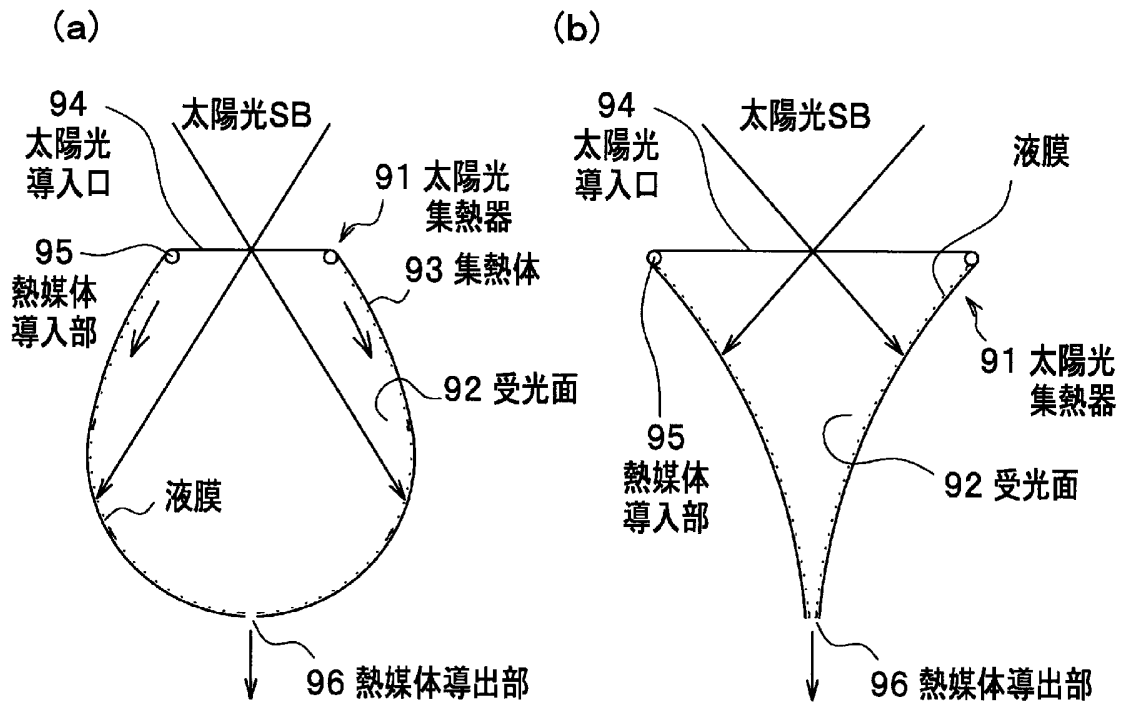
(b)



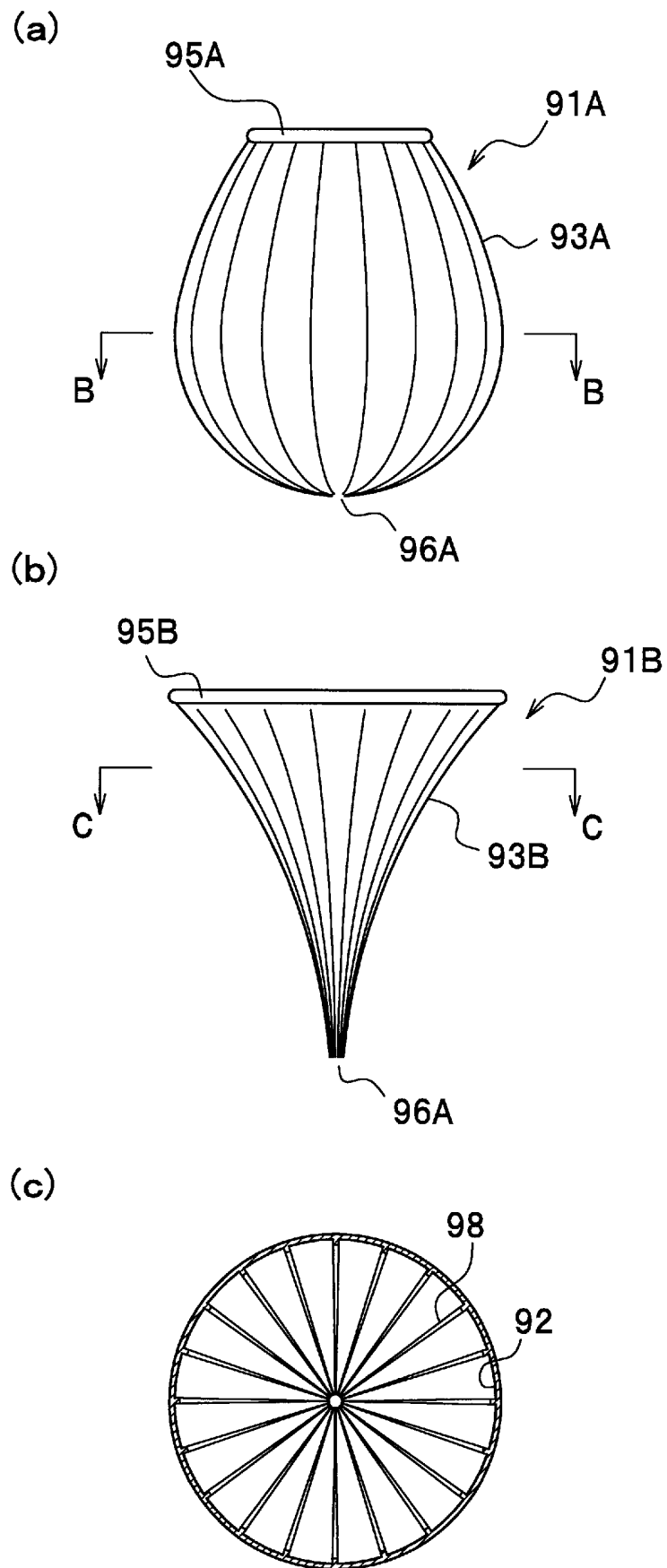
[図8]



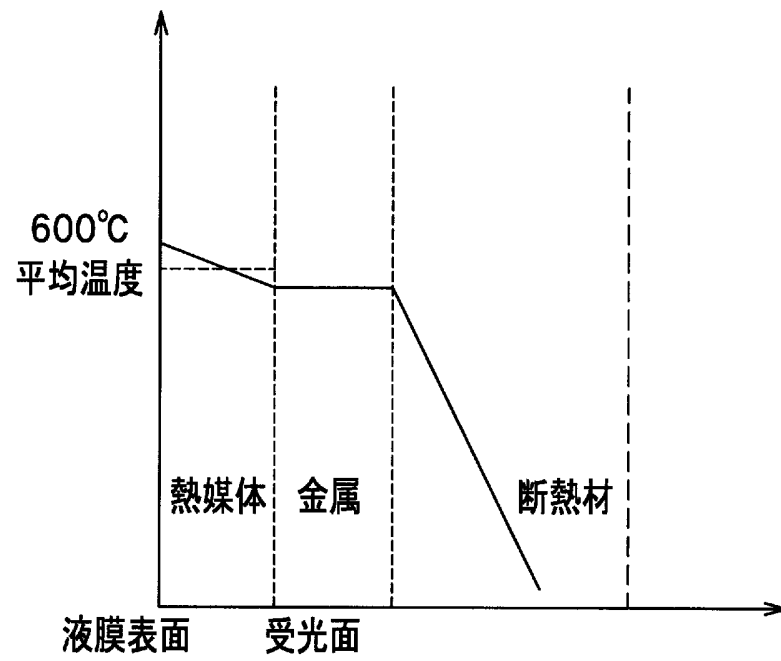
[図9]



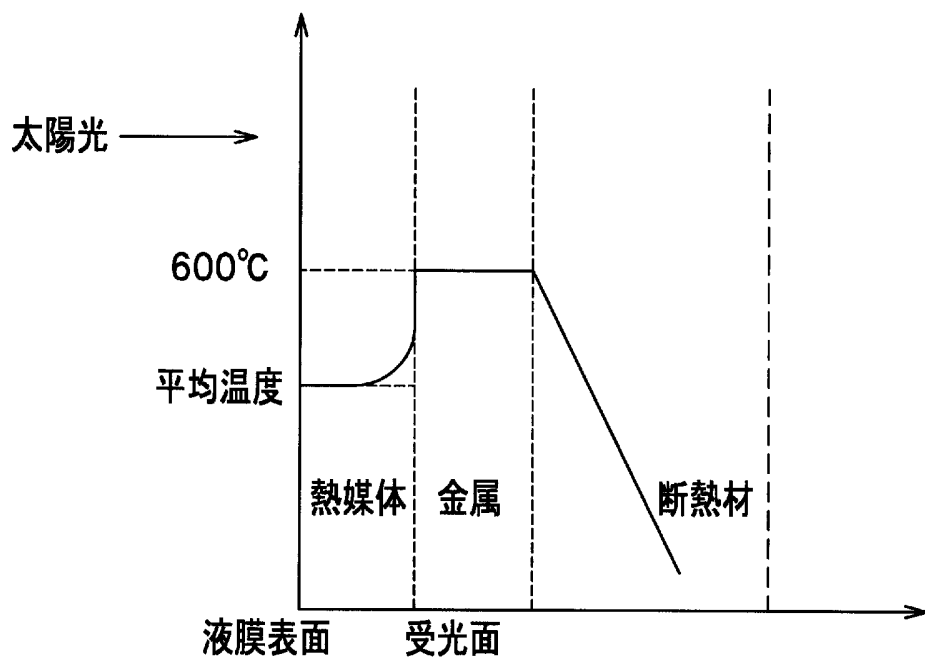
[図10]



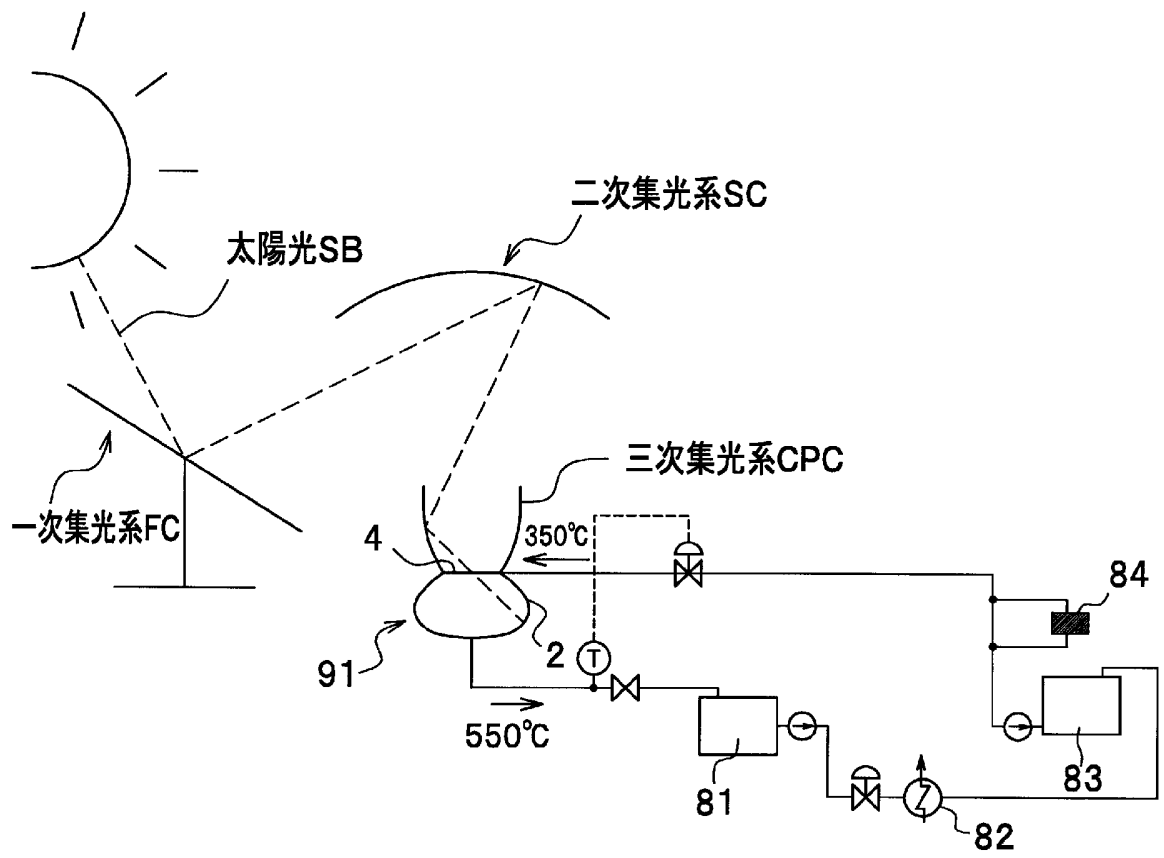
[図11]



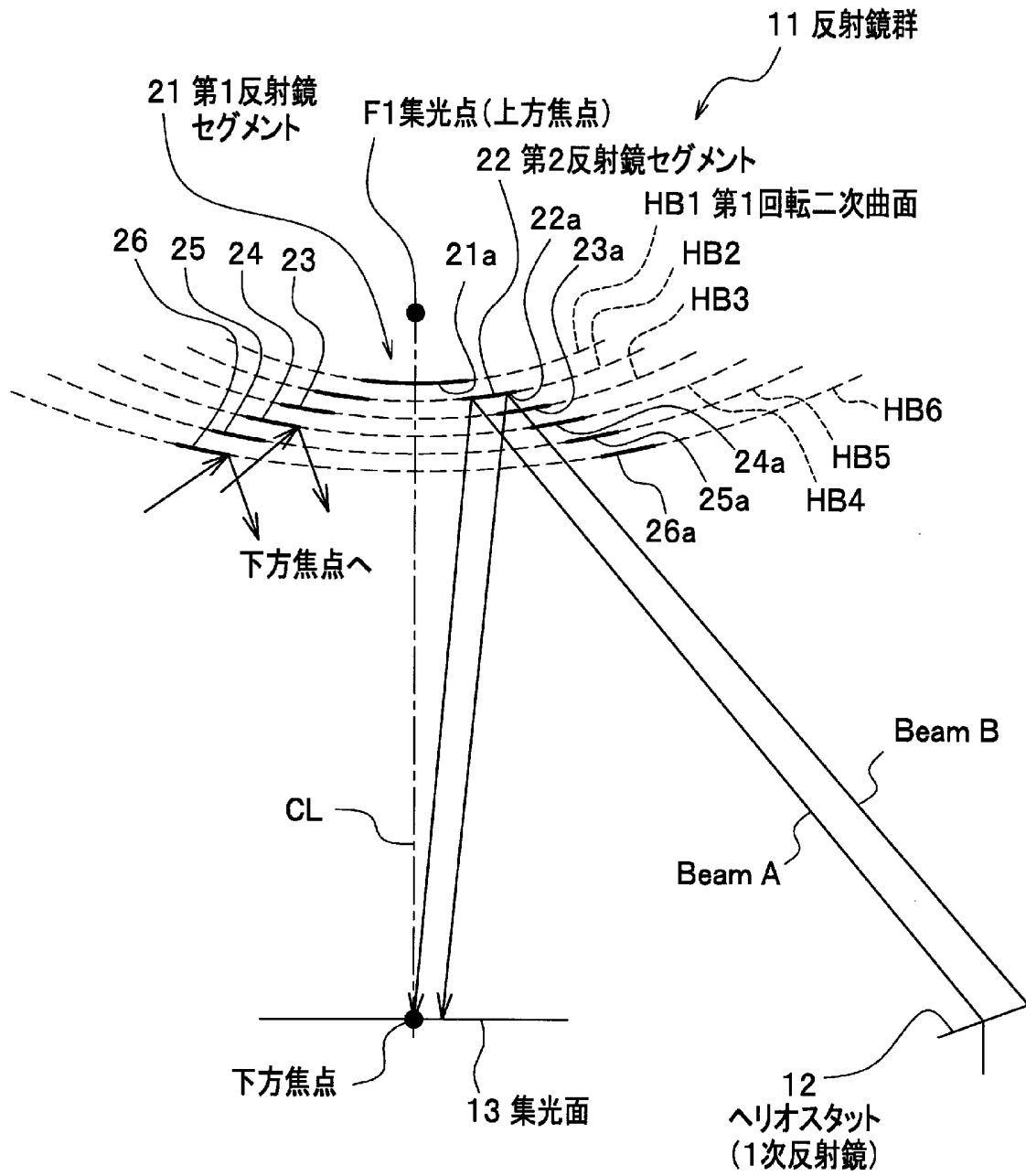
[図12]



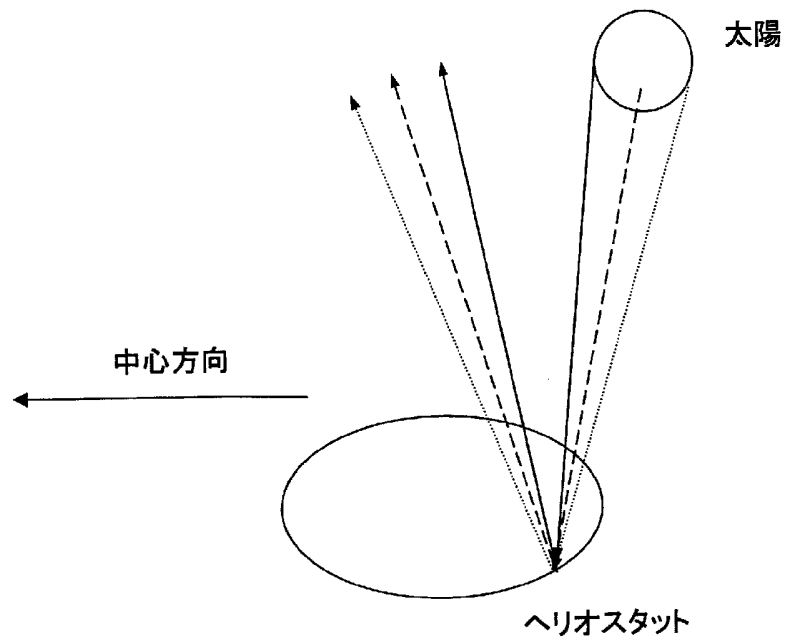
[図13]



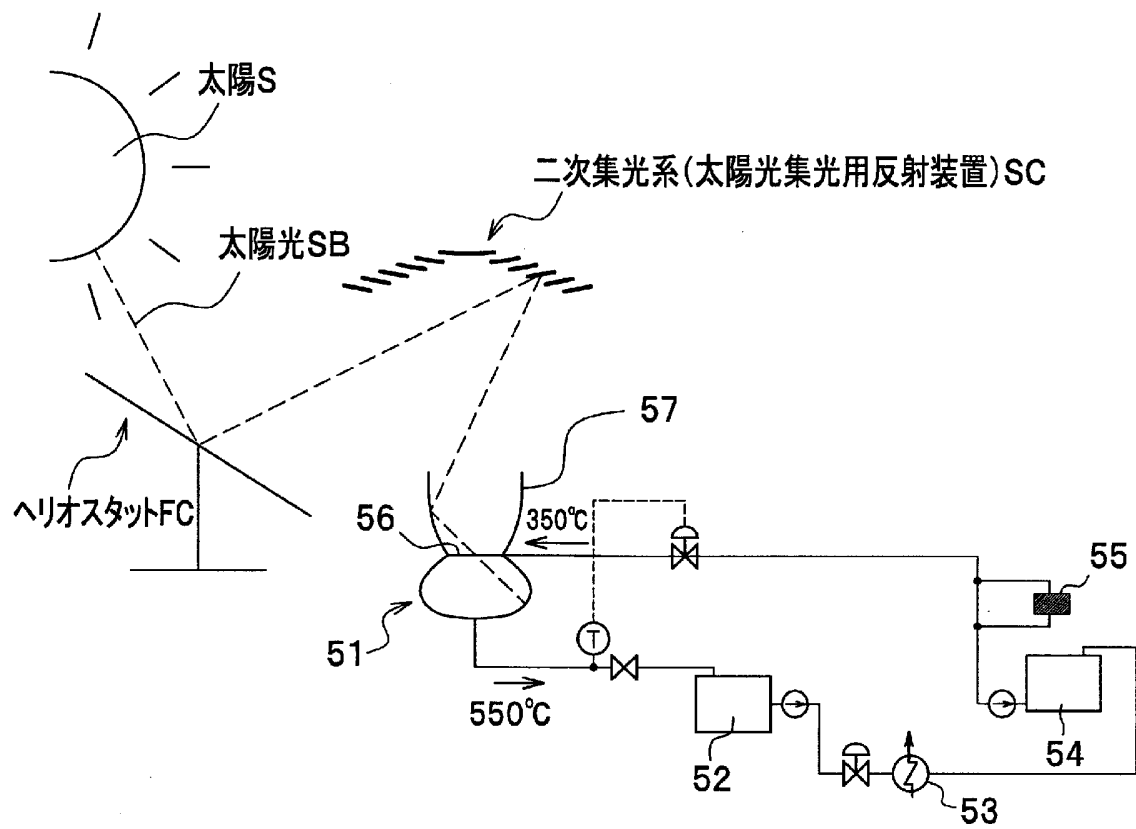
[図14]



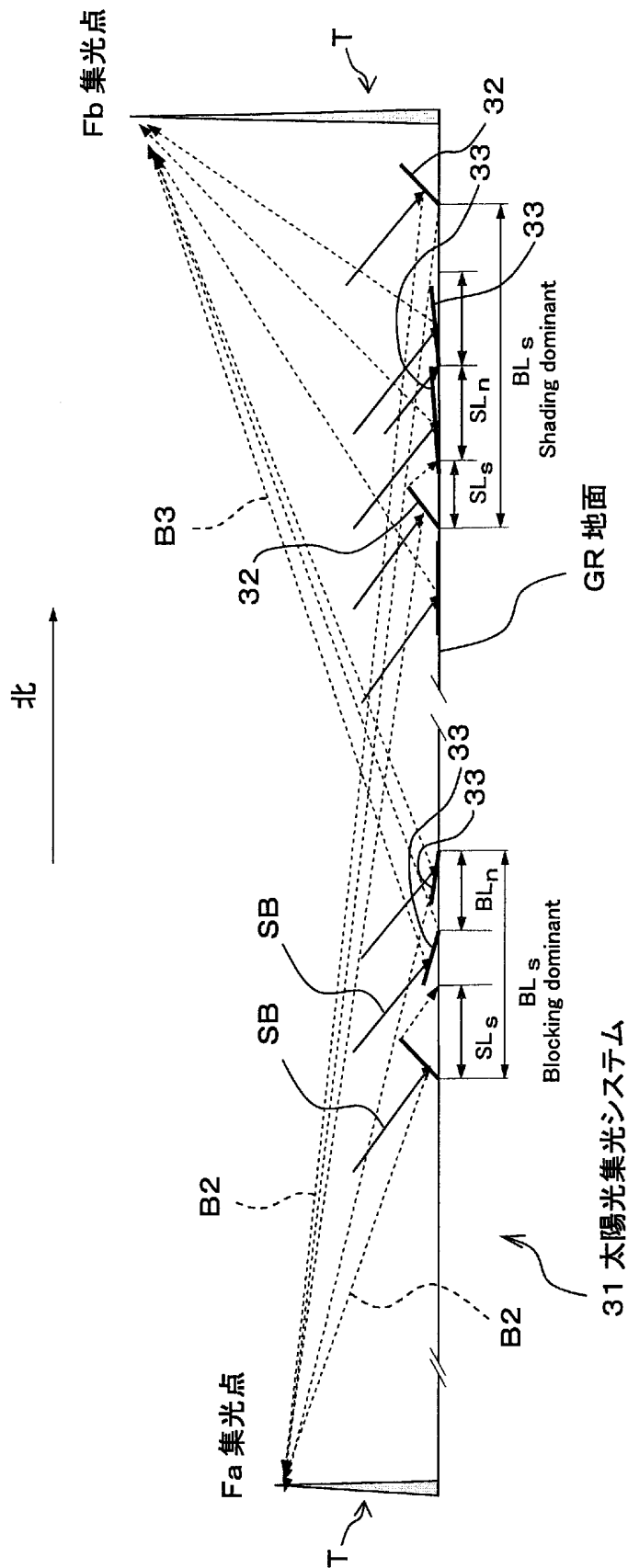
[図15]



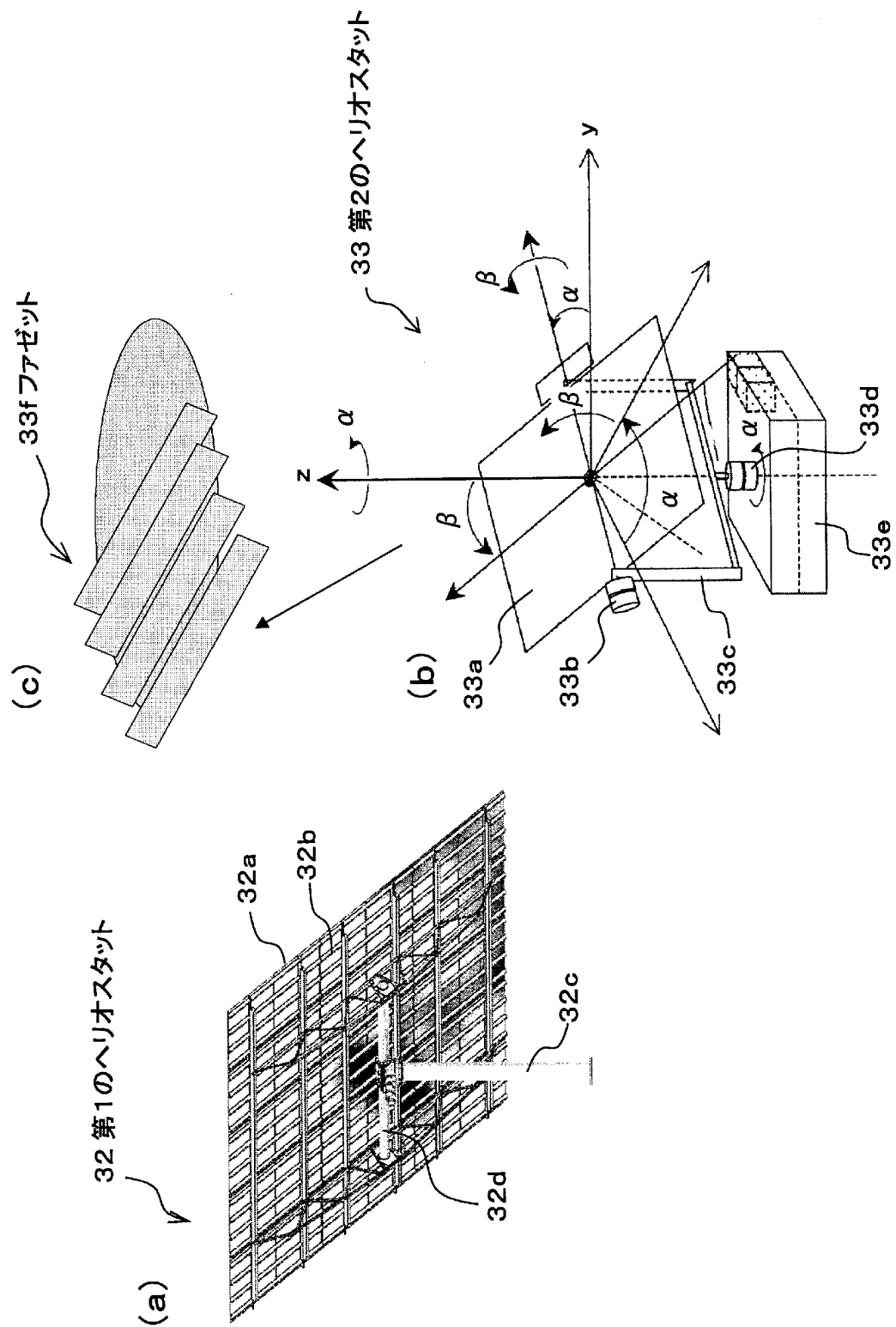
[図16]



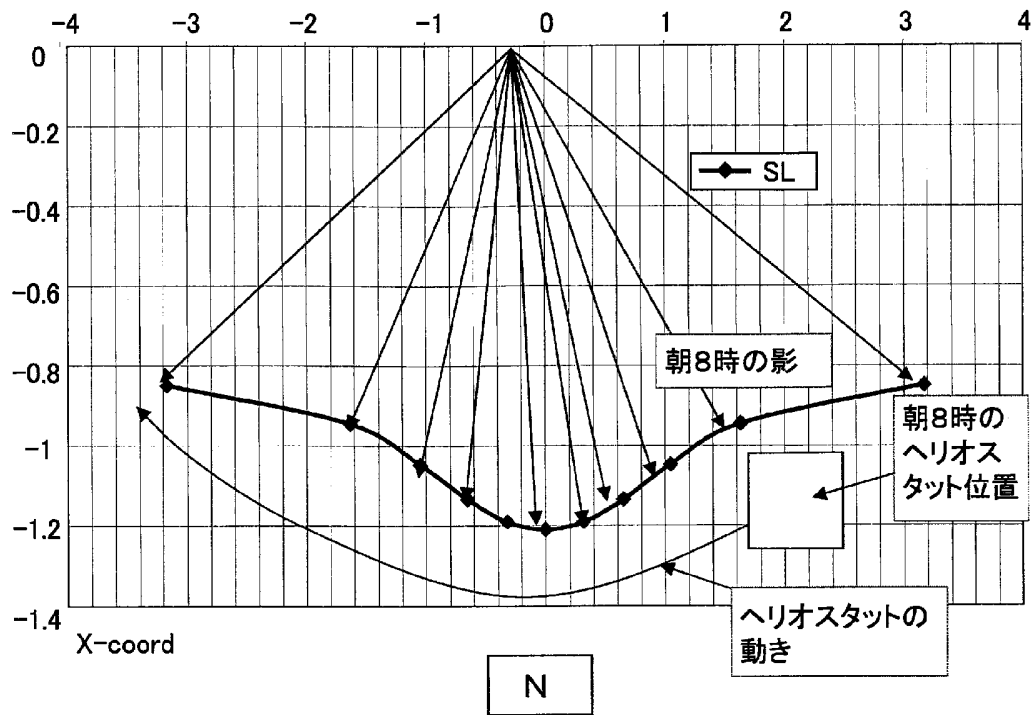
[図17]



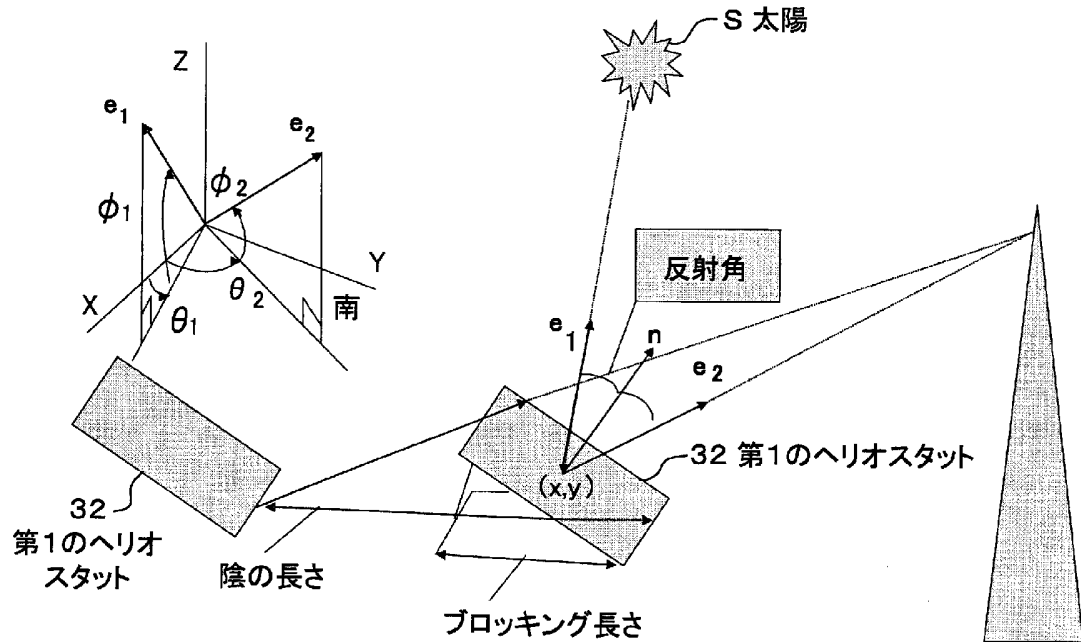
[図18]



[図19]

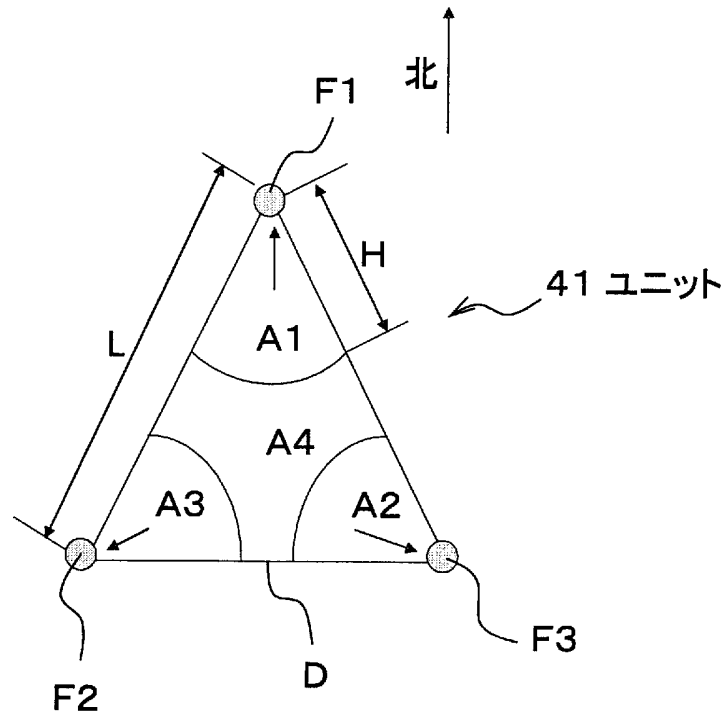


[図20]

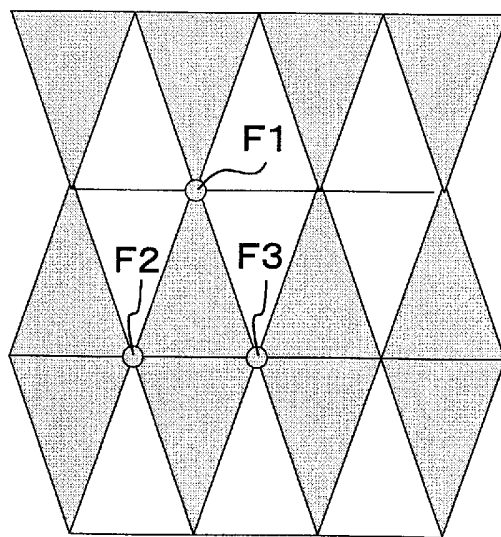


[図23]

(a)



(b)



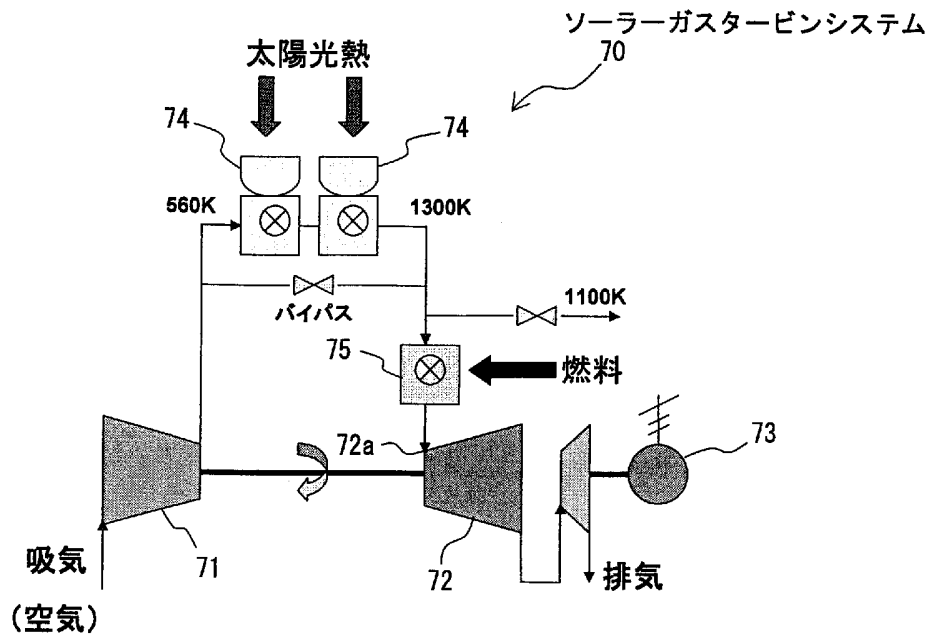
領域 2, 3:

第1のヘリオスタット
のみ配置

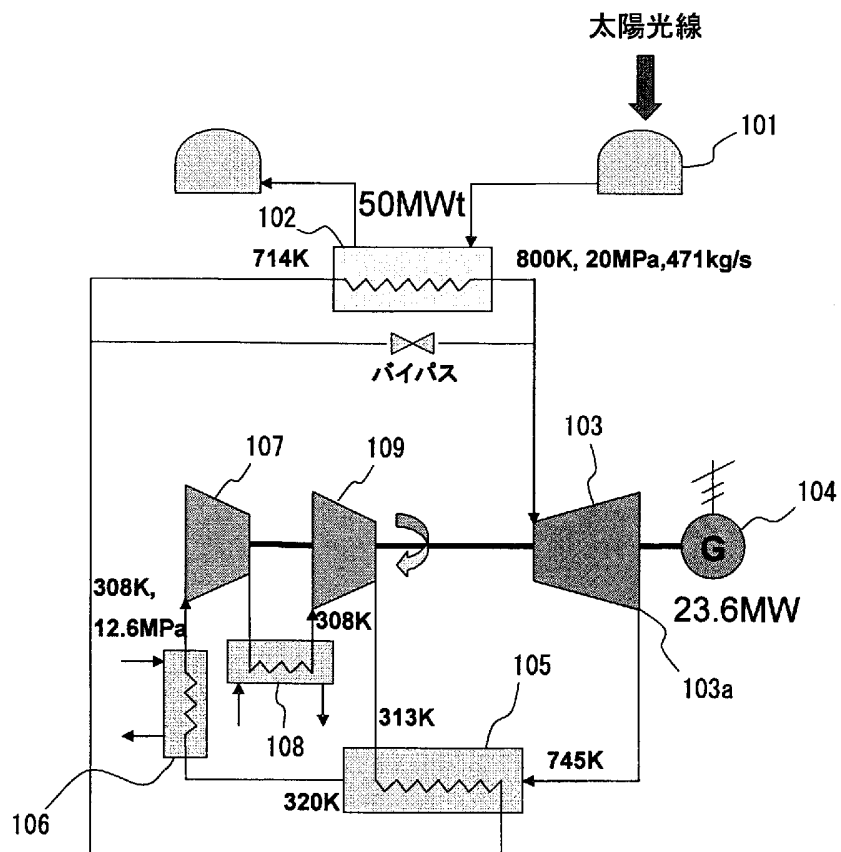
領域 1, 4:

第1、第2のヘリオ
スタット混在、第1のヘリオ
スタットはタワーAを向く $L > 2H$ の場合、ケース4 $L \leq 2H$ の場合、ケース3

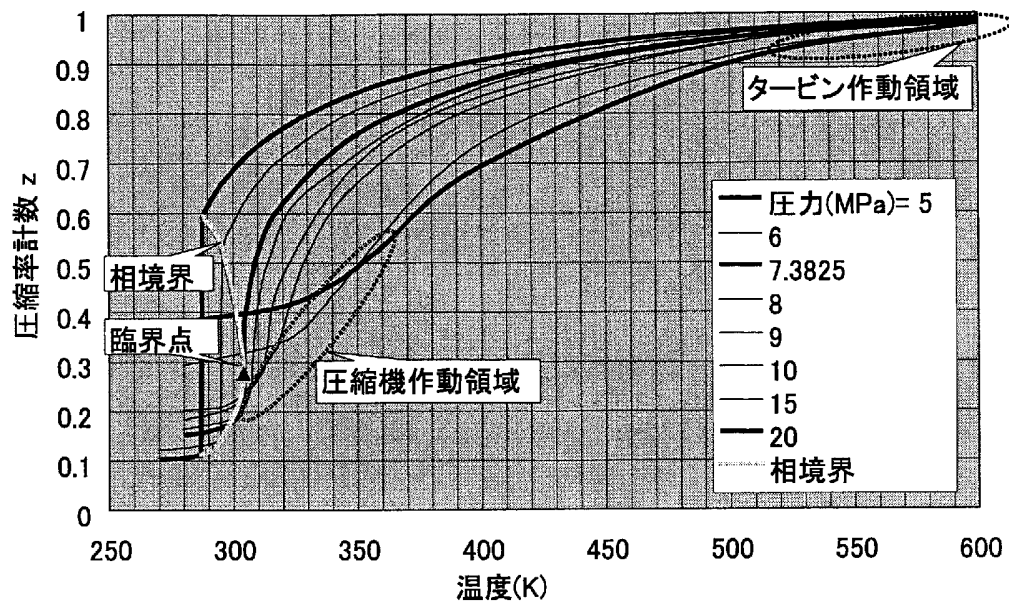
[図24]



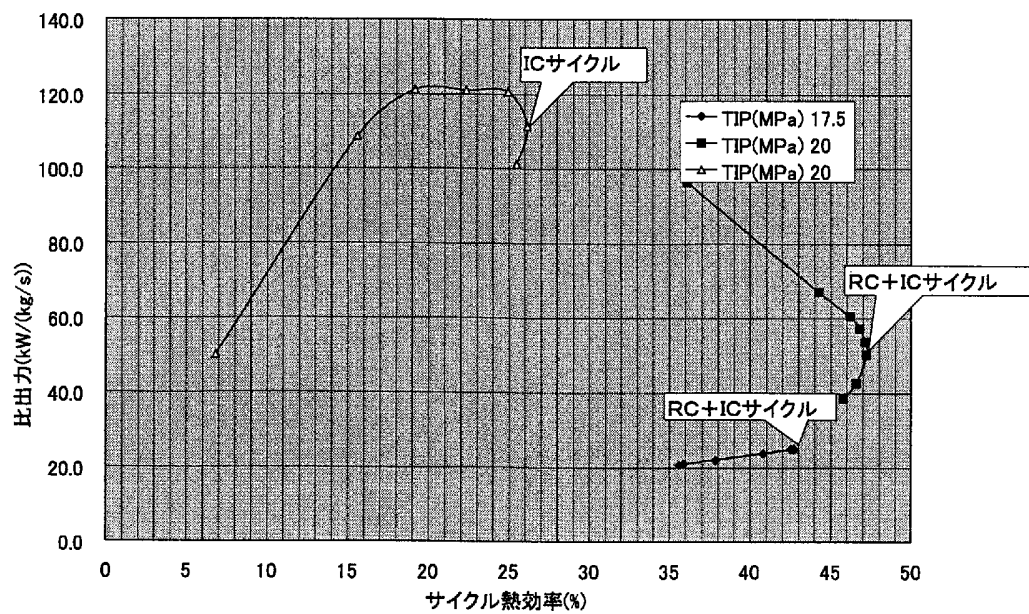
[図25]



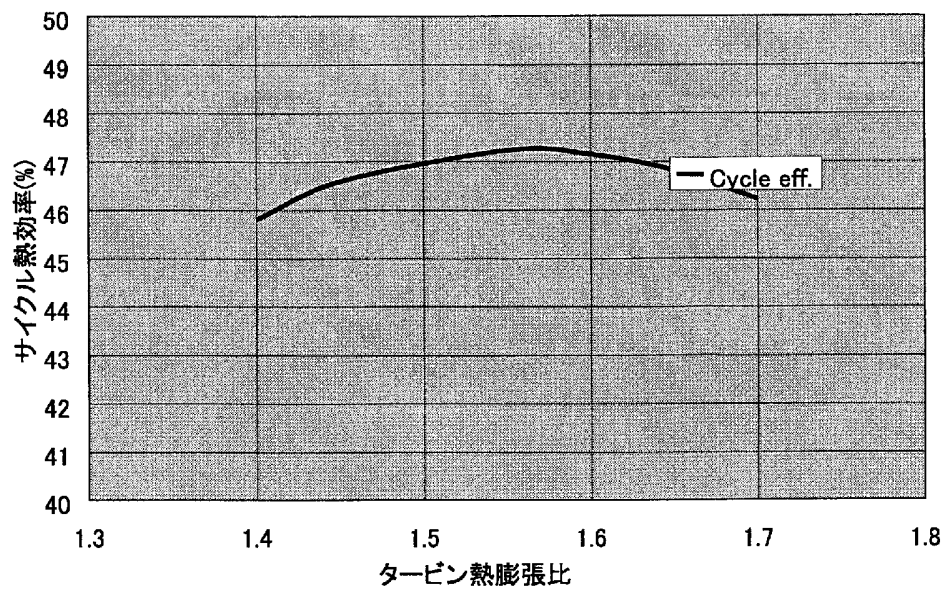
[図26]



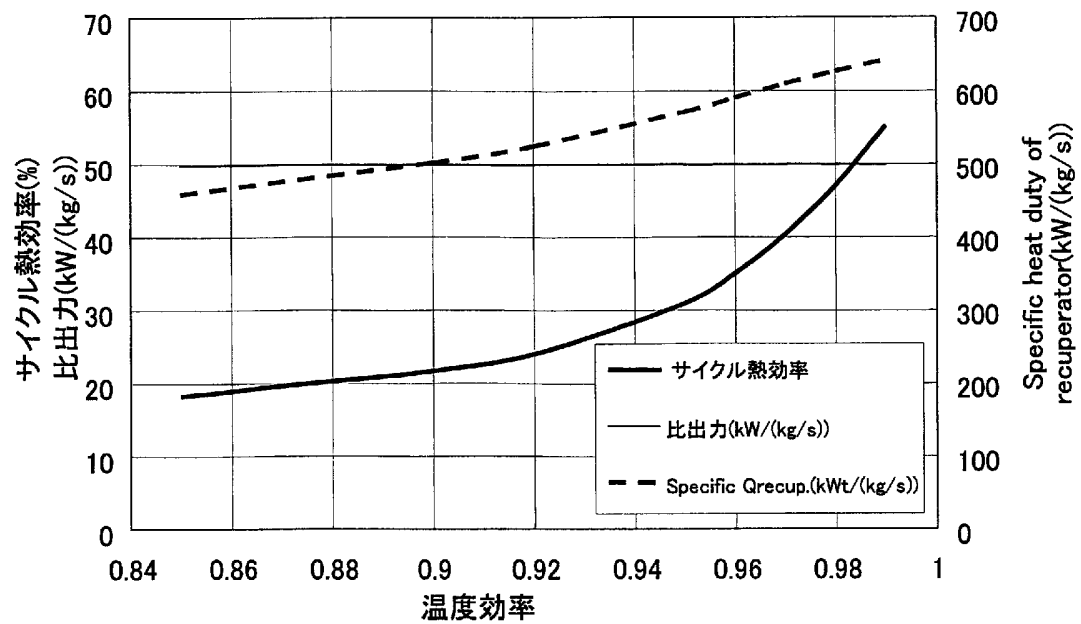
[図27]



[図28]

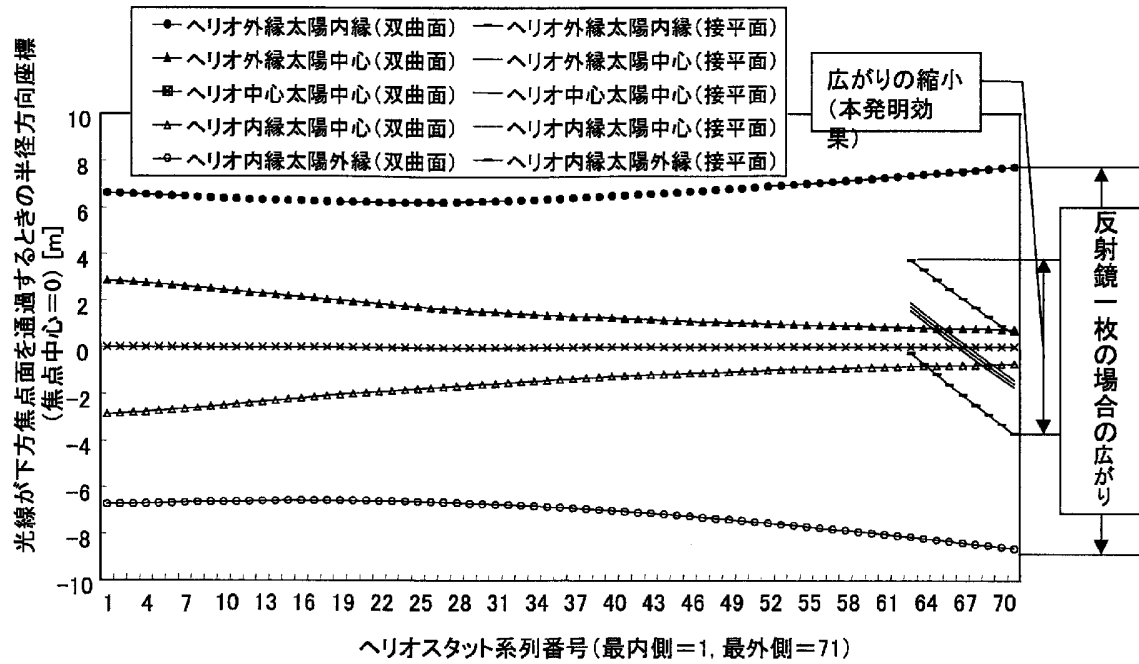


[図29]

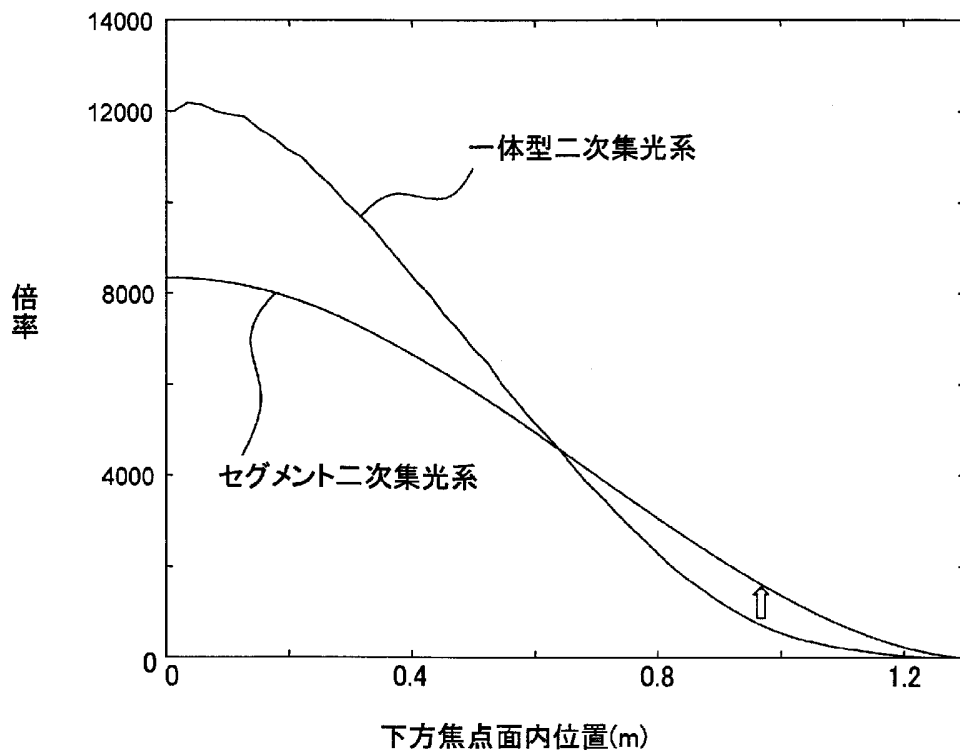


[illegible]

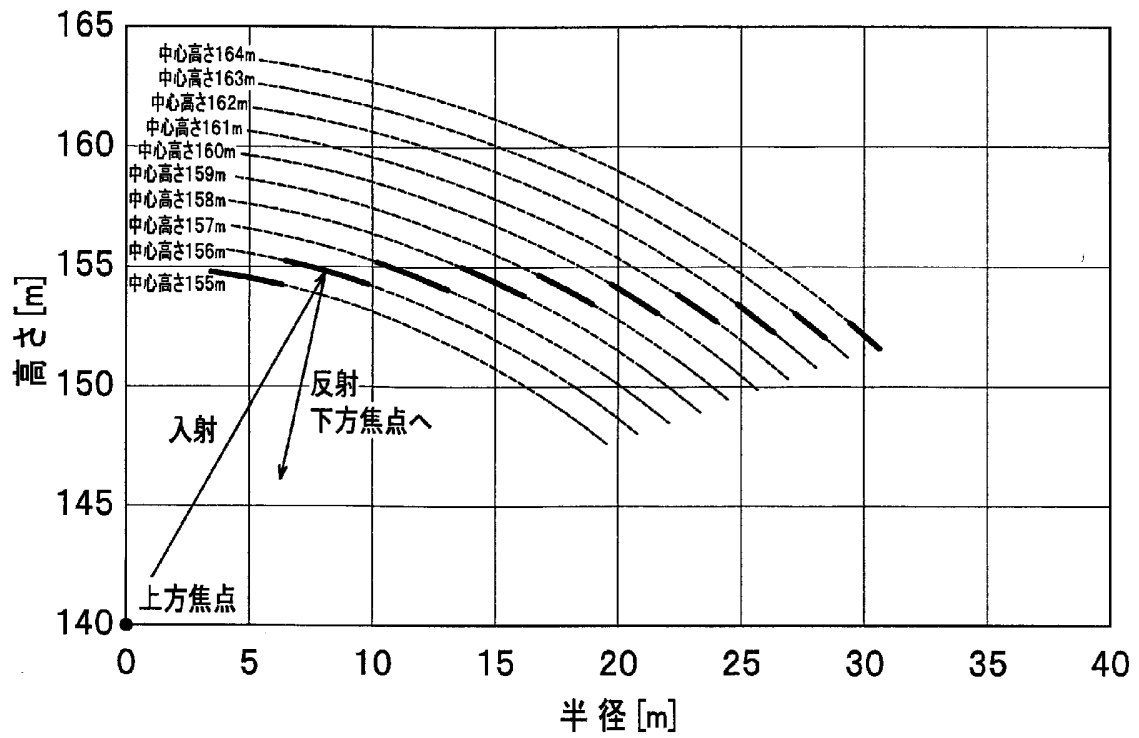
[図32]



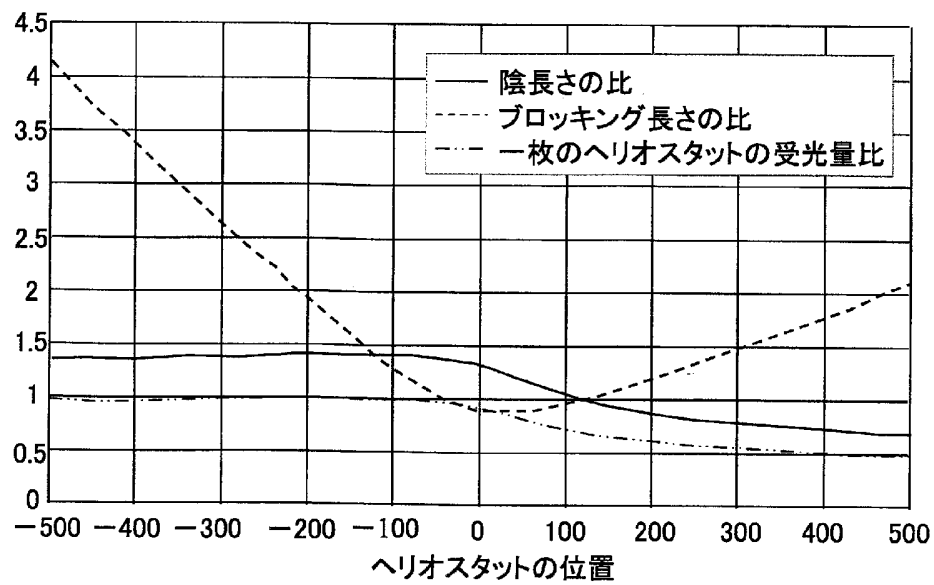
[図33]



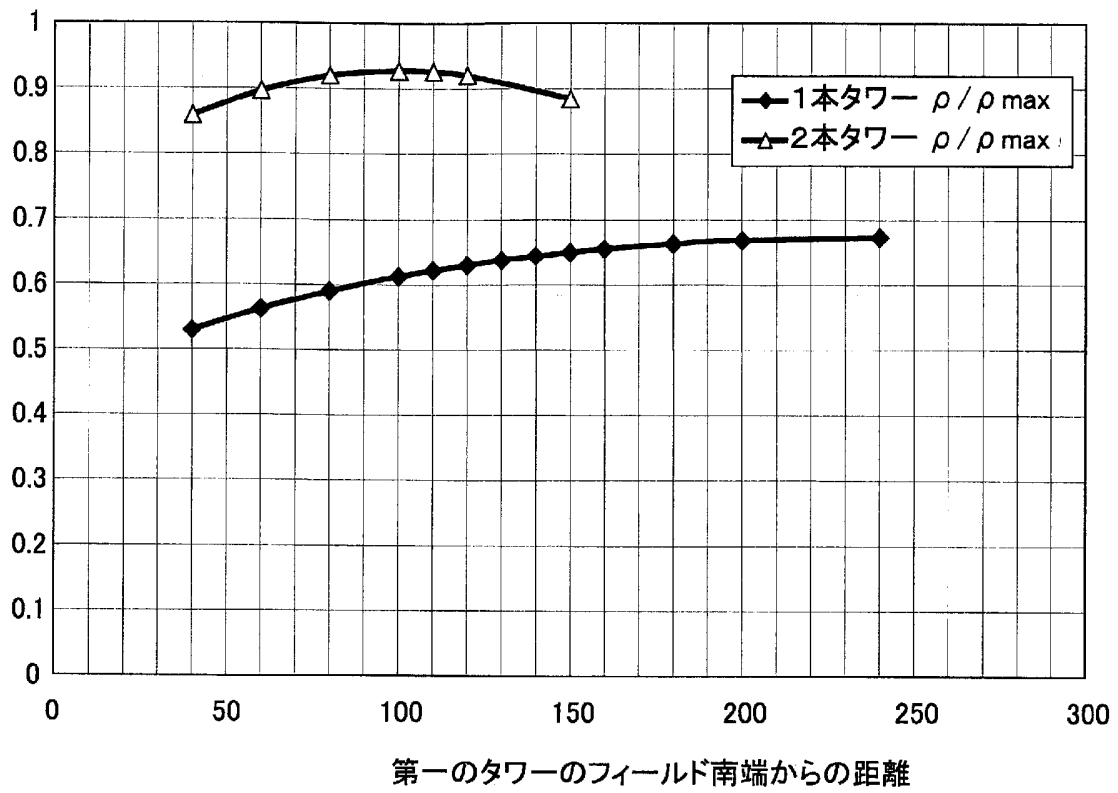
[図34]



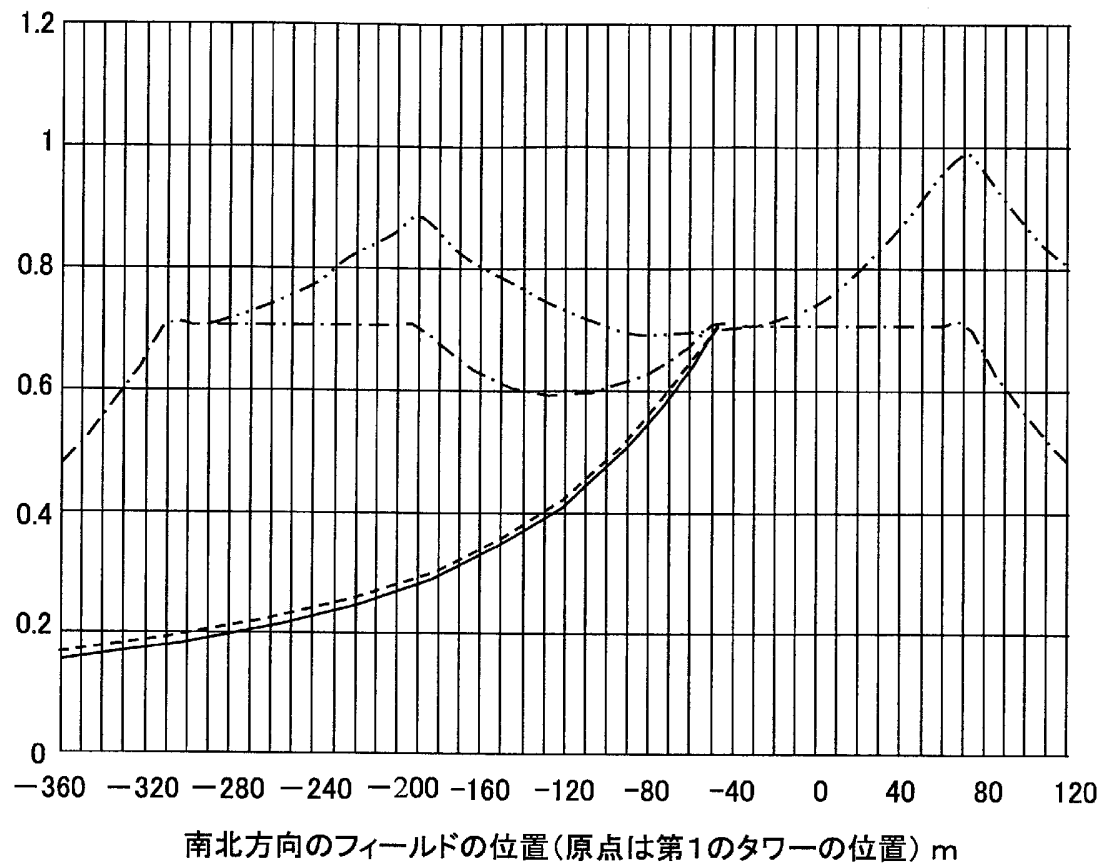
[図35]



[図36]

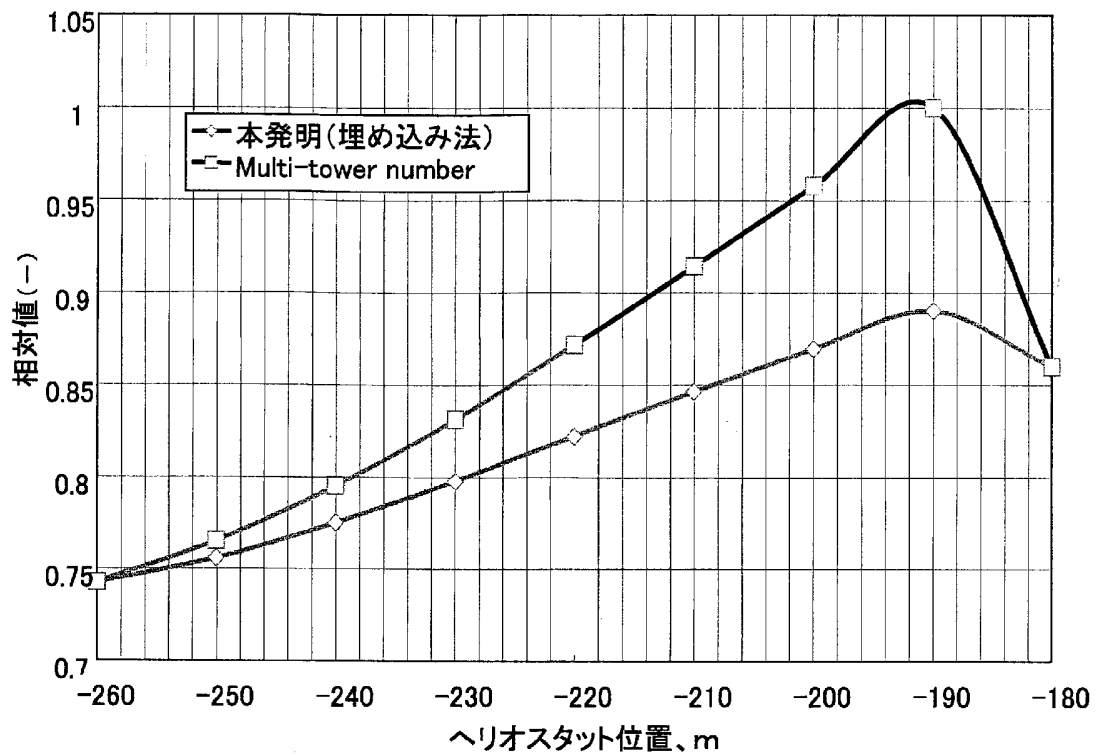


[図37]

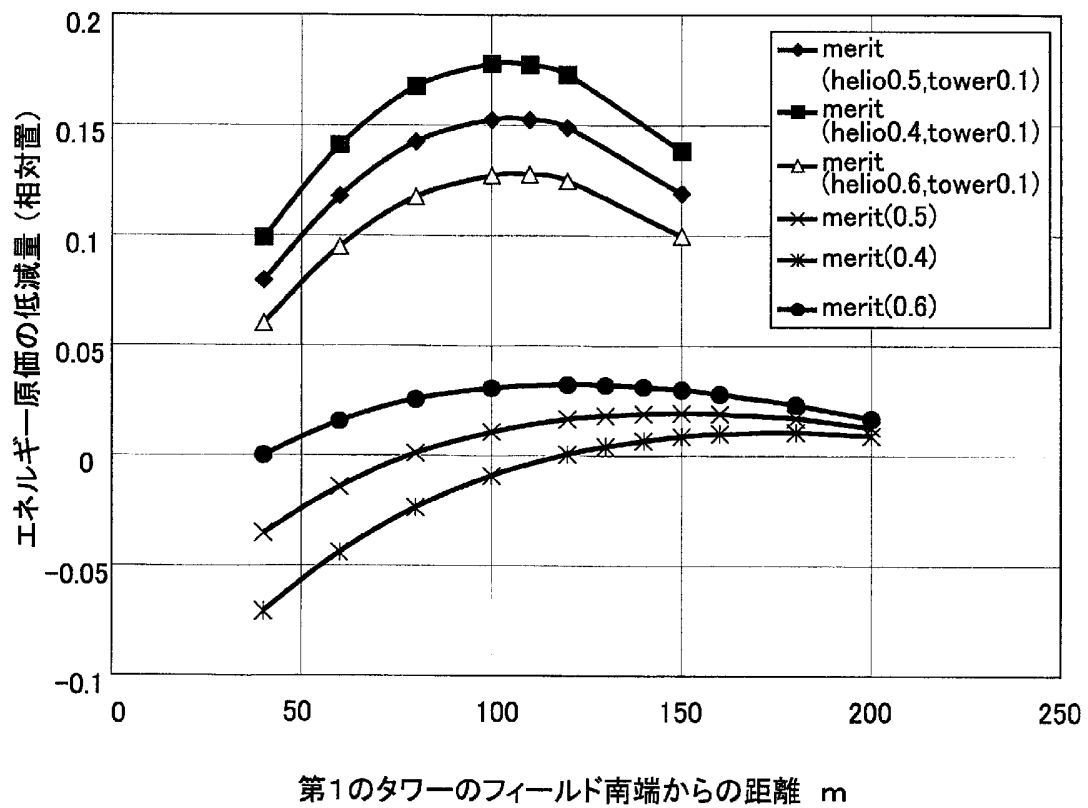


- 集光密度(南向きヘリオスタット)
- ヘリオスタット数密度(南向きヘリオスタット)
- - - ヘリオスタット数密度(合計)
- · - 集光密度(合計)

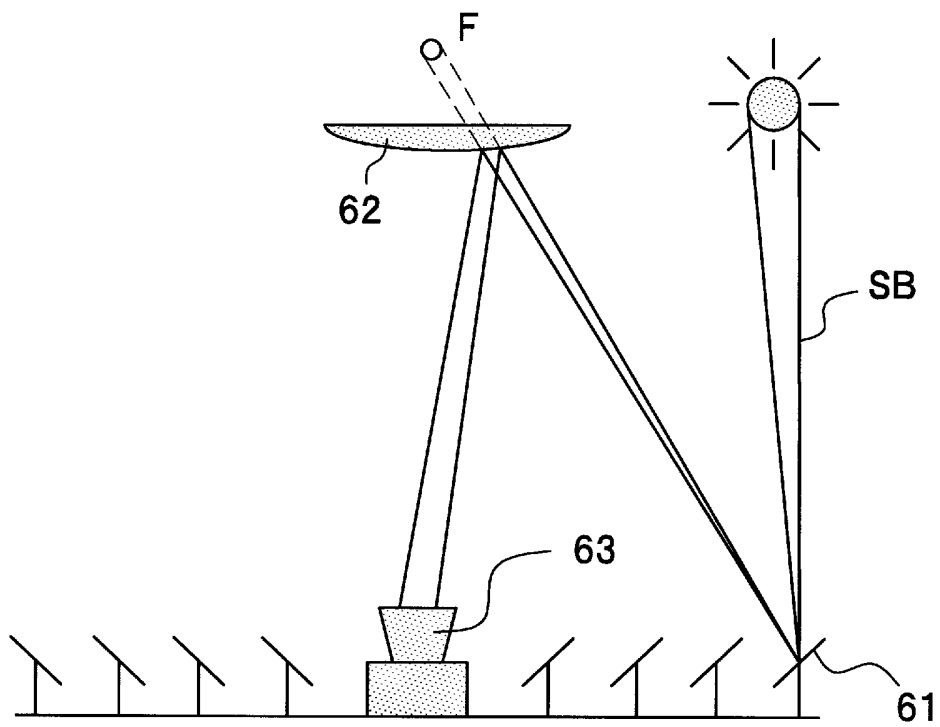
[図38]



[図39]



[図40]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/015908

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER F24J2/24 (2006.01) , F24J2/06 (2006.01) , F24J2/23 (2006.01)		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F24J2/24 (2006.01) , F24J2/06 (2006.01) , F24J2/23 (2006.01)		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 50-122945 A (Yoshihisa NAKAGAWA) , 26 September, 1975 (26.09.75) , All pages (Family: none)	1, 2, 6-11, 18, 20-22, 31-39
Y	JP 54-35433 A (Evaporation and Solar Heating Ltd.) , 15 March, 1979 (15.03.79) , All pages & US 4249515 A & GB 2002507 A & DE 2835196 A	1, 2, 6-11, 18, 20-22, 31-39
Y	JP 56-157760 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.) , 05 December, 1981 (05.12.81) , All pages (Family: none)	2, 6-10
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 12 December, 2005 (12.12.05)		Date of mailing of the international search report 20 December, 2005 (20.12.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/015908

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-51497 A (Koji IRINO), 26 February, 1999 (26.02.99), All pages & US 4249515 A & GB 2002507 A & DE 2835196 A	11,18,20-22
Y	JP 2-22522 A (Mitsubishi Electric Corp.), 25 January, 1990 (25.01.90), All pages (Family: none)	18,20-22
Y	JP 2002-250566 A (Yasuhito HIRASHIKI), 06 September, 2002 (06.09.02), All pages (Family: none)	31-39

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))			
Int.Cl. F24J2/24 (2006.01), F24J2/06 (2006.01), F24J2/23 (2006.01)			
B. 調査を行った分野			
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))			
Int.Cl. F24J2/24 (2006.01), F24J2/06 (2006.01), F24J2/23 (2006.01)			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの			
日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2005年 日本国実用新案登録公報 1996-2005年 日本国登録実用新案公報 1994-2005年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
Y	JP 50-122945 A (中川義久) 1975.09.26, 全頁 (ファミリーなし)	1, 2, 6-11, 18, 20-22, 31-39	
Y	JP 54-35433 A (エバポレーション・アンド・ソーラー・ヒーティング・リミテッド) 1979.03.15, 全頁 & US 4249515 A & GB 2002507 A & DE 2835196 A	1, 2, 6-11, 18, 20-22, 31-39	
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 12.12.2005		国際調査報告の発送日 20.12.2005	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 長崎 洋一 電話番号 03-3581-1101 内線 3337	3L 8610

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 56-157760 A (松下電器産業株式会社) 1981. 12.05, 全頁 (ファミリーなし)	2, 6-10
Y	J P 11-51497 A (入野浩司) 1999.02.26, 全頁 & US 4249515 A & GB 2002507 A & DE 2835196 A	11, 18, 20-22
Y	J P 2-22522 A (三菱電機株式会社) 1990.01. 25, 全頁 (ファミリーなし)	18, 20-22
Y	J P 2002-250566 A (平敷 安仁) 2002.09 06, 全頁 (ファミリーなし)	31-39