

東西軸固定式リニア・フレネルレンズコレクタの研究

(第1報 コレクタの集熱効率)

Investigation of Linear Fresnel Lens Collector as oriented in East-West Direction

(1st Report, Thermal efficiency for FFL Collector)

鴨 志 田 隼 司*¹

Junji KAMOSHIDA

一 色 尚 次*²

Naotugu ISSHIKI

Abstract

Thermal efficiency to the Fresnel lens collector as oriented in East-West direction has been studied experimentally by considering the effects of obliquely incident solar ray and absorber locations in stationary concentrator. The concentrating collector is constructed with fixed line focus Fresnel lens and adjustable evacuated tubular absorber. The behavior of the non-focusing image and the all day efficiency on the absorber plate have been discussed to clarify the effect of solar incident angle and receiver tilt angle in the lens normal on thermal efficiency for each case of collector positions. As these results, empirical formula have been derived to decide the number of time to adjust the receiver tilt angle which is optimum conditions for tenth times through a year.

Key Words : Energy Engineering, Thermal Engineering Equipment, Stationary Solar Concentrator, Non-image Collector, Linear Fresnel Lens, Thermal Efficiency

1. 緒 言

太陽から放射される熱エネルギーをグリーンハウス(ガラス温室)の暖房あるいは冷房の熱源として利用する試みは早くから注目されてきたが、温室への応用は“温室効果”と呼ばれるパッシブな利用形態にその方向性があり、アクティブな利用形態に関してはなお研究の余地がある。そこで、さまざまな利用方法が提案され、実証実験がなされているようである⁽¹⁾⁽²⁾。

しかし、温室の夜間暖房あるいは昼間冷房に、太陽エネルギーを利用する研究はまだ十分とはいえず、次に述べるような技術的諸問題をその内部に含んでいる。

- ・太陽放射エネルギーを熱エネルギーへ有効に変換する方法

- ・変換した熱エネルギーを効率よく蓄積する方法

ここで前者の問題に関し、温室それ自体を用いて、太陽放射エネルギーを有効に捕捉する形態には次のようなものが、

- (1) 準パッシブな利用法⁽³⁾ ----- 温室自身が有する“温室効果”を利用して熱エネルギーに変換する方法。
- (2) アクティブな利用法⁽⁴⁾ ----- 市販の平板形コレクタなどを温室の内部あるいは外部に設置する簡便な方法。
- (3) ハイブリッドな利用法⁽⁵⁾ ----- 温室の屋根などを二重ガラス被覆コレクタとし、その隙間に太陽光線を良く吸収する液体を流下させて集熱する方法。ただし、作物の物質生産に支障を来さないように近赤外線のみを捕らえており、その他の波長の太陽光線は透過させている。

以上が代表的な例であるが、特にハイブリッドな利用方法は現在各国で盛んに研究が行われている。

著者らは既に温室一体型コレクタの検討を行い、リニアフレネル・レンズ(FLと略記する)を用いたコレクタの可能性を報告した⁽⁶⁾。それは、たとえ集光部を固定しても(東西あるいは南北方向)、受光部を簡便な太陽像追尾機構で季節的に調節するだけで高い集熱効率が得られることを示唆していた。

そこで本報告は、リニアフレネル・レンズ型集光集

* 原稿受付 平成3年2月22日

* 1 会員, 芝浦工業大学工学部(〒330 大宮市深作溜井原307)

* 2 会員, 日本大学工学部(〒979-66 郡山市田村町徳定1)

熱器 (FLコレクタと略記する) ⁽⁷⁾ ⁽⁸⁾ のリニア軸を東西方向に据え付けた固定式FLコレクタ (FFLコレクタと略記する) についてより詳しい集熱特性を明らかにするため、特につぎの点を中心とした実験を行った。

すなわち、コレクタの熱工学的特性に影響を与える因子として太陽光線が集光体へ入射する角度および受光体の位置 (姿勢) などを選び、これら因子がどのように集熱特性に作用するかを実験的に調べたものであり、できるだけ平板型に似た使用法ができる集光型集熱器の設計資料を提供することを目指した。

ここで、著者らの研究の背景を明らかにする。図1は温室の構造材に組み込んだ FFLコレクタの概念図である。対象としたガラス温室はマスクメロン栽培で一般に使用されているスリクオータ型である。集光部は真南に面した屋根に一体化してあり、温室内部の受光部のみが季節的に調節できるようにしてある。より具体的に説明すると、アクリル樹脂製のFLが温室の屋根ガラスの代わりに取り付けられており、受光部は、季節変化に伴う屈折光線の集光状況に応じて、内部の合掌に設けた移動装置で時折調整するだけの簡便な装置である。例えば屋根角30度の温室を静岡県南部 (北緯34度40分) に設置することを想定するならば、その調節角度は夏至あるいは冬至でそれぞれ、 $\theta_{\text{max}} = 18^\circ 47'$ 、 $28^\circ 07'$ である。ただし、受光部調節角度 θ_{max} はレンズの光軸と受光体の中心とのなす角度を表している。

このように集光型コレクタを用いるならば、温室のように設置空間が限定された建物でもコンパクトな受光部で用が足り、また温室の加温・暖房のための低温水 (温度100~80℃) も比較的容易に得られる。

2. 実験装置および実験方法

図2に実験系の概要を示す。すなわち、実験用コレクタは図1を想定して試作した。本実験に用いたFLの仕様を表1に示す。このレンズの太陽光線に対する焦

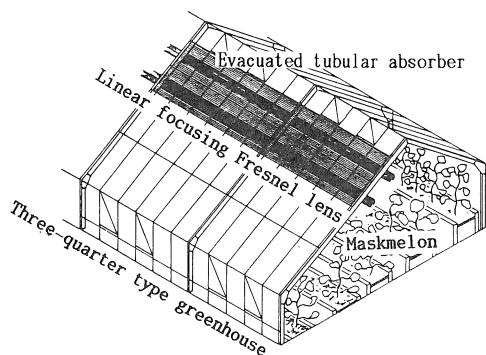


図1 温室に設置した集光型コレクタの概念

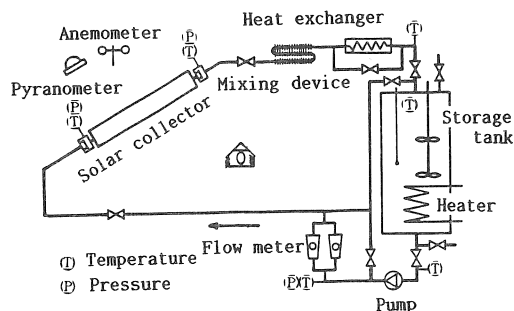


図2 実験装置の概要

表1 供試フレネル・レンズの仕様

Lens Type	Cylindrical Fresnel, Serration-Down
Material	Acrylic resin (Methyl Methacrylate)
Fabrication Technique	Compression Molding
Manufacture	Shinko Engineering CO., LTD
Width	300 mm
Relative Aperture	0.70
Center Thickness	2.8 mm
Groove Density	0.26/mm
Design Wavelength	0.64 μm (Refractive Index: 1.49)

線径の大きさは設計焦線上で4.3 mmの幅をもつ帯状となる。ただし、供試レンズは二分割型で上側と下側の一組で構成されている。実験にはこのレンズを8枚用いてあり、その総開口面積は0.72 m²である。また受光部は受光体幅70 mmでその有効受光面積が0.175 m²の真空ガラス管型集熱器を採用した。この受光部はレンズのリニア軸を中心として前後に回転調節可能であり、なおかつ光軸方向にその受光位置を変えられる構造とした。

太陽熱集光集熱装置の集熱特性はASHRAE STANDARD 93-77 ⁽⁹⁾ の試験方法に準拠して行った。すなわち、実験装置の主要部分は、太陽熱集光集熱器 (FL集光体と真空ガラス管型集熱体の組立式で、設置傾斜角度は自由に設定できる)、貯蔵タンク (250 m³)、循環ポンプ、浮子式面積流量計および水冷・空冷熱交換器で構成されている。またそれぞれの要素を接続する管はグラスウール断熱材で十分に保温しており、コレクタの入口、出口には混合部を設けた。なお混合部の平均温度の精度は0.1Kで読み取った。貯蔵タンク内には予熱ヒータと温度調節器およびかくはん器を設け、計測中のコレクタ入口混合平均温度を一定に保った。なお使用した熱媒体はエチレングリコール50%水溶液である。

実験方法は、貯蔵タンク内で温度一定 (60, 70, 80 ℃) にした熱媒体の流量 (質量流量 30 kg/h) が一定となるように調整してから、配管系全体に予め循環した。こうして、系全体の温度が安定したのを確認してから受光部へ太陽光を導いた。すなわち、実験条件は入口のエンタルピを常に一定となるようにした。その後、コ

レクタの熱的条件が周囲の熱的環境に対し準定常状態となったのを確認してから、各種の計測を開始した。

計測事項はコレクタ入口、出口の混合平均温度、流量、全日射量、大気温度および風速などである。実験時間はレンズと入射太陽光線のなす角度が30度以内となる太陽南中時前後の4時間以内とし、計測間隔は5分置きとした。日射強度は集熱器設置角度の真南斜面における全日射量を全日射計で計測した。

なお集熱器設置角度と受光部調節角度 θ_{ab} の設定は実験当日の太陽南中時の高度をもとにした。

実験条件はつぎの三種類の受光状態につき行った。

- (i) 太陽南中時の高度がコレクタの傾斜角度に等しい場合 (像の受光位置は実験条件毎に設定)
..... (P_A と称する)
- (ii) 南中高度は実験条件(i)以外で、透過した太陽像を追尾していない場合 (像の受光位置は実験条件毎に設定) (P_B と称する)
- (iii) 実験条件は(ii)と同一であるが、太陽像を追尾した場合 (像の受光位置は一定)
..... (P_C と称する)

それぞれの様相をまとめ、南中時での相対的位置関係を示すと図3のようになる。図は P_A , P_B , P_C の順に表示してある。

ところで各実験条件が想定温室に対し示す太陽の入射状況は次のようである。すなわち P_A は太陽光線がレンズ法線方向から入射する場合で、南中時の高度はほぼ春秋分に近い。 P_B は P_A の状態のままコレクタ全体を徐々に傾けてレンズ法線を太陽南中高度から外した場合で、集熱体の中心はレンズの光軸上にそのまま位置している。これは集熱体を調節しない期間における屈折光線の受光平面に対する入射限界角度を調べるこ

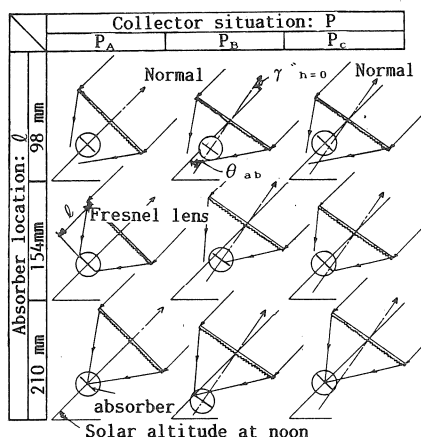


図3 各種実験条件の設定

とを目的としている。 P_C は P_B の状態で、受光部調節角度 θ_{ab} をレンズの主光線上、すなわち、実験日の南中高度に調整した場合で、太陽光線のレンズ面に対する入射角度の限界を調べることを目的としており、この状態でその受光の位置が焦線位置に等しい場合、南中時付近での集光状況は P_A に良く似ている。

さらにレンズから集熱体までの距離、いわゆる集熱体位置 l はそれぞれ 210, 154, 98 mm に設定した。それぞれの l が示す P_C での状態は次の通りである；① 供試 FL の焦線距離に等しい位置 ② 太陽南中時の非結像の幅が集熱体の幅に等しい位置 ③ 同じく非結像の幅が集熱体幅の2倍に相当する位置である。

3. 実験結果および考察

以下に、 P_A , P_B , P_C のそれぞれの受光状態について、太陽時刻の経過に伴う効率曲線の変化の様子を示す。なおコレクタの集熱効率 η_c はコレクタ入口と出口の混合平均温度から求めた集熱量と集熱体上に投影されたレンズ支持棒の影を考慮した全日射量から計算した受熱量で定義した。

図4は P_A での受光状態の例である。ここでは実験に用いた熱媒体の入口温度および流量に若干の変動が生じたので、個々の集熱体位置 l に対するコレクタの集熱効率 η_c を比較することはできなかった。けれども、太陽の日周運動に伴う η_c の変化の傾向はこの図からでも十分に考察できる。また、固定レンズを屈折した太陽光線は年周および日周でその収差像がレンズの光軸を境に前後に移動するが、その様子は後の図で検討を加える。ここでは、その集熱体位置 l をレンズの設計焦線距離から Δl だけレンズ側に近づけた場合 (非集光度； $\Delta l = 56, 112$ mm) の効果につき考察を加えた。図中には切り面を上向きにした場合 (GUと略記する) も併記してある。

これらの結果によると、得られた集熱効率 η_c は l が210 mmの場合に比べ、南中前の遅い時刻と南中後の

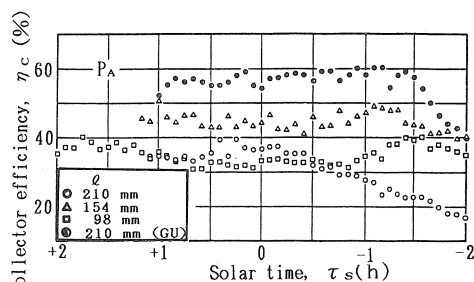


図4 コレクタ受光状態 P_A における集熱特性

遅い時刻において高い値を示している。この理由は、太陽の日週運動により、屈折光線の集まる位置がレンズ側に近付くと、収差像の大きさが受光体幅にほぼ等しくなるからである。特に太陽時刻 τ_s が+1:30以前あるいは-1:30以後の η_c の急な変化はレンズの光学的特性に負うところが大きく、その主な原因は、切子面の第一面での反射損失が大きいことと、太陽の日週運動による屈折光線の移動の程度が太陽の斜入射割合によって大きく増幅されることに起因しているようである。受光状態 P_A における非集光の効果は $\Delta\ell$ が大きくなると増すが、今回実験した限りでは、56 mm 辺りで著しくなるようである。ちなみに本コレクタの幾何集光比は4であるが、光線追跡法とエネルギー収支から求めたそれに対する最適非集光度 $\Delta\ell$ は42 mmであると解析されている⁽¹⁰⁾。

一般に、レンズの光学的特性は太陽光線の斜入射効果により大きく左右されるので⁽¹¹⁾、この影響を見るため、実際の使用状況に近い実験を行った。その結果を図5、6に示す。図5は P_B の場合であり、 $\theta_{s0} = 3^\circ 25'$ である。ここでは、 $\ell = 210$ と98 mmの両者につき実験を行った。例えばその ℓ をこれより小さくしても、 η_c の変化は、 P_A の場合に比べ、南中の前後で著しく変化するだけである。それに対し、 ℓ が焦線上にある場合、 η_c の傾向は P_A のそれと同一の傾向を示しており、この結果は前述の収差像の動きを考えると理解できるものである。ちなみに、南中高度からのコレクタ全体のずれ角度 $\gamma_{h=0}$ （これは南中時におけるコレクタ面への太陽光線の入射角度を指しており P_B の場合には θ_{s0} に等しい）は約13日間分の太陽赤緯の移動角度に相当している。

受光状態が P_B の場合、収差像はどの時期でも集熱体上に正確に位置していないので、時角変化の効果は効率に大きく作用している。そのため、時角の変化に対し安定した効率を得るには $\gamma_{h=0}$ に見合った集熱体の位置を用意する必要がある。いずれにしても、コレクタの受光位置は $\gamma_{h=0}$ と ℓ の相対的な位置関係から決定されるだろう。

以上の結果から次の事が考察される。例えば、春秋

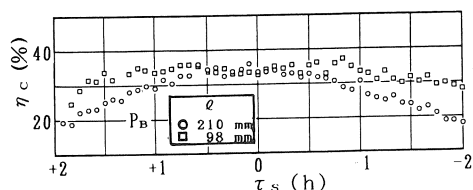


図5 コレクタ受光状態 P_B における集熱特性

分以外の太陽赤緯において、 $\gamma_{h=0} = 3^\circ$ のずれ角があっても、その角度はわずか13日間分の太陽赤緯の移動角度に相当するだけであり、そのうえ効率の低下は P_A の場合に比べて数%でしかない。したがって、この効率の低下は集熱体の $\Delta\ell$ を大きくすることで多少低減できそうである。

図6は P_C の場合での結果である。この状態での受光状況が、本研究で主に対象としている結果である。すなわち、太陽の季節変化（年周運動）に対し、集熱部の季節調節を行って屈折光線を捕そくする方法である。ここでその集熱体の位置は、 P_A での実験結果に基づき、154 mm ($\Delta\ell = 56$ mm)に限って実験した。これは、太陽光線の非結像が集熱体の幅に等しくなる位置である。ちなみに、 $\gamma_{h=0}$ は $7^\circ 21'$ であり、この場合の角度は27日間分の太陽の赤緯に相当している。実験結果によると、南中時刻付近での集熱効率特性は P_A の $\Delta\ell = 56$ mm に似ているが、 P_A の効率曲線では太陽時刻 τ_s が+1:00以前あるいは-1:00以後において一旦高くなる傾向を示している。一方、 P_C ではこれが緩やかに少しずつ低下している。 P_C の状態について、本報告では装置の都合上 $\ell = 210$ mmでの実験を行っていないが、図中に併記した切子面を上向きにした場合（ $\gamma_{h=0} = 4^\circ 06'$ ）の結果からこれを推察するならば、その傾向は P_A の傾向に類似したものとなる。しかし、 $\gamma_{h=0}$ の値がこれ以上に大きくなった場合には、また変わった特性を示すはずである。ともあれ、 P_C の特性は実験を行った時間内では比較的平坦な効率曲線の変化となり、集熱体上での像の移動が順調に行われていることを示唆しているようである。

そこで、コレクタに入射する太陽光線の入射角度が集熱特性にいかに影響するかを調べるために、受光位置を一定にした実験をおこなった。実験条件は P_B の場合では $\Delta\ell = 112$ mm、 P_C の状態では $\Delta\ell = 56$ mmについておこなっている。

図7は P_B の結果の例であり、ずれ角度 $\gamma_{h=0}$ はそれぞれ、 0° 、 $3^\circ 27'$ 、 $4^\circ 40'$ 、 $7^\circ 10'$ である。全体の傾向は南中時刻を中心とした、上に凸な台形となり、その両肩の部分に当る時刻で効率が一旦高く盛り上がる傾向

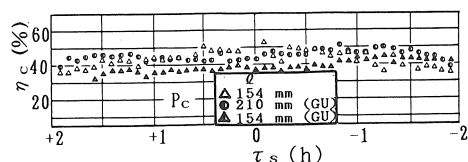


図6 コレクタ受光状態 P_C における集熱特性

を示している。これを、 P_A の結果と比べると、南中時刻を挟んだ $\pm 1:00$ 時間前後付近の効率は P_A よりも大きく低下しており、太陽の入射角度がこれ以上になると、効率は明らかに大きく低下する傾向を持っている。この理由は前に述べたように、太陽の日周運動に基づく像の移動がコレクタの光学的特性に大きな影響を与えるためである。

以上より、温室内に設置した受光部の調節角度を一回あたり5度以内となるように年に数回分けて季節調節したならば、一回の調節当たり約20日間にわたり大きな効率の変化もなくFFLコレクタを運転できることが考察できる。

図8は P_C による受光状況での結果の例である。づれ角度 $\gamma_{as=0}$ はそれぞれ、 $0^\circ, 4^\circ 06', 5^\circ 19', 7^\circ 21'$ の場合につき実験を行った。図7と同様に、 P_A における実験結果と比較した時、その効率曲線の傾向は P_A の傾向に類似しており、もし太陽像を完全追尾したならば、その基本的な特性は P_A の効率曲線と同一の内容を持つことになるだろう。ただし、レンズ面へ入射する光線の角度が増すと、レンズ屈折光線の光路長が長くなるため、光線の広がり幅も大きくなり、そのうえ夏至や冬至では、レンズ第一面で太陽光線の反射する割合が大きくなるので、全体として光学的性能の低下を招き、効率の低下をきたす原因となる。

ともあれ、実験データを計測した時刻内ではこの影響は顕著でなかった。

P_C の実験は装置の都合上、 $\ell = 154$ mmのみの実験に止まった。しかしこれより短い ℓ では、 P_A の結果から類推するならば、早い時刻と遅い時刻において $\Delta \ell$ の強い影響が現れるだろう。特に、 $\ell = 98$ mmにおいて、斜入射光線の角度が増すと、レンズの集光特性に明確な影響が現れ始めるようだ。だが日周運動による効率の変化は実験を行った時刻内では顕著でなく、この程度の変化割合ならばある程度の斜入射角度（30度位）を持った太陽光線が入射したとしても、受光する位置を適当に調節することで十分実用に耐える範囲内の効率を得られるものと考えて良いだろう。

以上の他に、ここではFLの切子面を太陽の方向に向

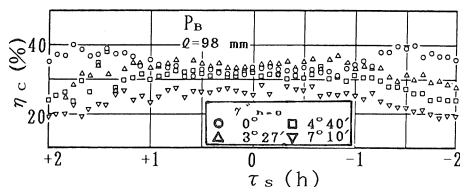


図7 南中時入射角度の集熱特性への影響
(P_B の場合)

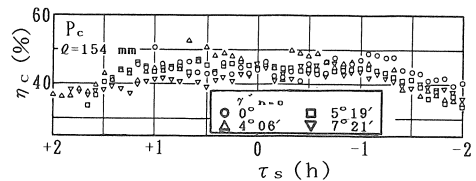


図8 南中時入射角度の集熱特性への影響
(P_C の場合)

けた場合についても検討を加えた。

一般に、FLはGUで使用した方が光学的特性に優れていると言われている⁽¹²⁾。本研究に用いたレンズは下向き切子面（GDと略記する）での使用を考慮した設計なので、GUで使用した場合、上側と下側のレンズの切子面がそれぞれレンズの第一面として独立して作用するので、斜入射光線に対し二つの像を形成するようになる。そのため集熱体の位置 $\ell = 210$ と 154 mmのどちらでもぼやけた像を受光することになる。

上向き切子面で使用した場合の測定結果の例を図9に示す。全時刻に対する効率曲線の傾向は P_A および P_C でも同一の特性を持っている。けれども $\ell = 154$ mmの場合、 P_A 、 P_B の η_c は $\ell = 210$ mmのそれよりもわずかに下回っている。この理由は、受光体に投影される太陽像が受光板の幅以上に大きく広がるためである。また $\ell = 210$ mmの場合、集熱効率がGDのときに比べ、 P_A 、 P_B で大きく変化するのは光学的特性の違いが原因である。すなわち、GDでの使用に比べてGUではレンズ第二面における反射損失が大きく、それだけ透過率が低くなるためである。

ここで P_C の場合は、 $\theta_{as} = 4^\circ 06'$ である。この角度は、設置対象地域に屋根こう配30度の温室が設けられたとするならば、春秋分時に太陽光線がFLコレクタの法線面に入射する角度にほぼ等しくなる状態である。

以上の結果から、南中前後20分間の効率のみを用いて集熱特性を整理すると図10になる。図中には真空管型集熱器の特性も併記した。各条件における集熱効率と真空管集熱器によるそれとの差がほぼその状態にお

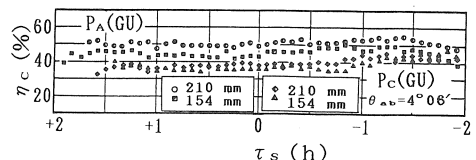


図9 上向き切子面レンズの集熱特性

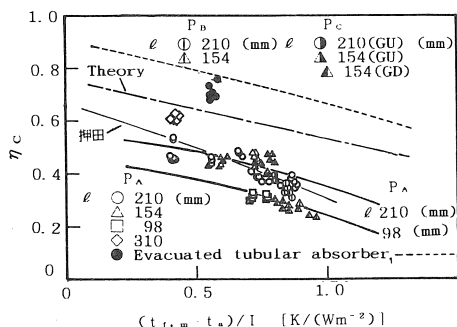


図10 南中時での集熱特性

ける光学的特性に相当している。ただし、熱媒体の代表温度 $t_{i,m}$ はコレクタ入口、出口部混合温度の算術平均を、環境温度 t_a は大気温度を、また日射量 I は全天日射量を用いた。効率 η_c は前述と同様である。

集熱効率特性曲線は、 P_A で $\ell = 210$ mm の曲線を中心に太陽光線の入射角度あるいはレンズと受光体との相対関係をパラメータとして幅広く変化している。

図中の点線は真空管型集熱器の公表された式を外挿した特性⁽¹³⁾であり、一点鎖線は、レンズの光学的特性を一定と仮定した集熱器のヒートバランスから計算した結果である⁽⁶⁾。計算条件は P_A で $\ell = 210$ mm の場合である。このように、リニア・フレネルレンズと真空管型集熱器を組合わせた FFL コレクタの光学的特性は、真空管型集熱器の南中時刻での集熱特性を勘案するならば、ほぼ一定であると類推できる。つまり、FFL コレクタの集熱効率の特性は、基本的に集光特性で律せられていると言える。その他、図中には $\ell = 310$ mm すなわち、 $\Delta \ell = -100$ mm の結果ならびに押田⁽¹⁴⁾が黒色ペンキ集熱板で得た結果を参考までに示した。

以上のことから、FFL コレクタの南中時の集熱効率の特性は、実験条件が P_c で $\ell = 154$ mm の曲線を上限とし、 P_A の曲線に平行な傾向を示すと推察できる。なお、GU の場合、図より明らかなように、GD に比べて光学的特性にやや欠けているようである。

ここで $(t_{i,m} - t_a) / I$ が大きい範囲では、特性曲線の傾きが真空管型のそれに平行でないのは、集熱温度が高くなると吸収板からの熱放射損失の割合が多くなるためである。

このように FL を利用したコレクタの集光特性は太陽の運行につれて複雑に変化する。特にレンズ法線に対し強い斜め光線が入射すると、受光体上に形成される像は大きく広がり、収差を起こす。またレンズは屈折系であるから、太陽光の幅広いスペクトル分布の影響を受け、なお一層複雑な様相を呈示するようになる。

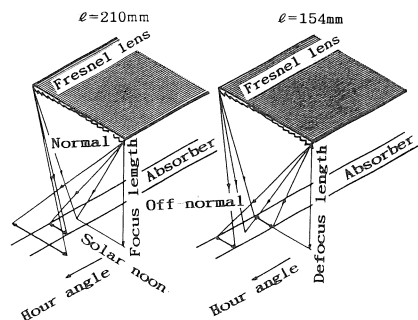


図11 受光位置の効果

そこでこれらの概念を模式図的に説明するため、受光状態が P_A で、受光位置 ℓ をそれぞれ 210, 154 mm とした場合の、屈折してきた太陽光線とその像幅および受光体幅との関係を図11に示す。

図はコレクタの傾き角度を設置緯度に等しくした場合であり、春秋分では太陽光線はレンズのリニア軸に沿って入射するので、コレクタへ入射してくる太陽光線とレンズ面が成す角度は比較的簡単に計算できる。しかし、レンズの焦線上に形成される像の位置は時角の経過につれて時々刻々と変化し、入射角度の斜め度合いが増すとレンズ側へ大きく移動してくるようになる。このように、春秋分時では太陽像は時角の変化のみでその位置と大きさを変えて移動するので、受光体の位置をレンズのリニア軸平面内の適当な位置に設定することで、集光効率を改善できる可能性がある。

これに対し、春秋分時以外での太陽像の振る舞いは太陽赤緯と時角の両因子を受けて、より複雑な動きをするようになる。このため、春秋分時以外での太陽光の受光は春秋分時よりも一層困難である。

そこでこれを考察するため、実験に供したレンズの屈折太陽光線の挙動；ただしレンズの横軸面に投影した像と $\ell = 210$ mm の平面に投影した太陽像の状況を太陽時刻 τ 、毎あるいは時角 h 、毎に計算したものが図12

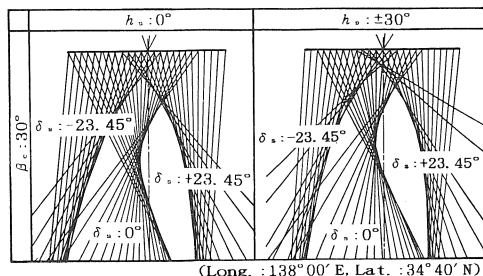


図12 光線追跡法による集光特性

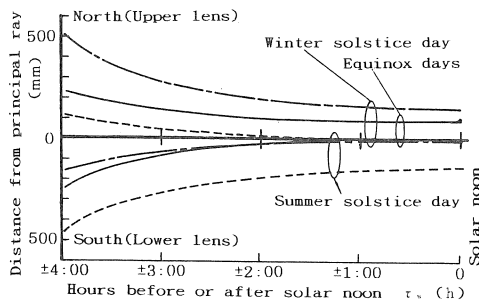


図13 焦線面上での像の挙動

と図13である。レンズ面の傾き角度 β は30度でリニア軸を東西方向に固定してある。設置場所は静岡県南部の北緯34度40分を対象とした。

図12の光線追跡法にはレンズ切子面によるブロッッキング効果を考慮してある。したがってレンズ第二面から光線が射出しない箇所は、太陽光線が透過しない部分であり、それだけ光学的効率が低下したことを示唆している。またレンズで屈折した光線の挙動はその収差像の振る舞いが火線包絡として表現されている。

この図から明らかなように、 h_s が $\pm 30^\circ$ 位までならば、太陽入射の条件が夏至あるいは冬至の様に強い斜め入射の状態でも収差像の動きにそれほど大きな差異を生じないようである。したがって、P_cの場合その受光位置を太陽南中時で設定することは当を得ていると言えよう。

図13の受光状態はP_cの場合で、 $\ell = 210$ mmの位置に投影平面を想定してある。季節は春秋分、冬至および夏至について計算した。図より、各季節において、集光器で形成される像の広がり、太陽南中時の前と後で太陽時刻 $\pm 2:00$ を境に大きく変わるのが特徴である。図12の光線追跡結果からこれを考察すると、時角の影響で縦の軸外(off-axis longitudinal)収差⁽¹⁾が特に顕著となるためである。また、冬至および夏至では、像の広がり、レンズの主光線(レンズ中心を通過する光線)を境に上下に別れている。しかし、図11より明らかなように、その受光位置を設計焦線からレンズ側に近づけたならば、その広がり幅はこれより小さくなり、光学的特性が改良される事が推測される。これらの結果は本研究の各実験結果をよく説明しているようである。すなわち、 $\ell = 210$ mmにおける各コレクタの受光状態のそれぞれに対応する実験結果と比較すると、例えば図4および図5において、 η_c の値が $\tau_c = -0.5$ 以後急に低下するのは、レンズの光学的特性が低下する以外に、像の急激な広がりも関係しているのがわかる。また、図6においてコレクタの効率が

太陽時刻の長い期間一定なのは、この場合の受光状態が最初から春秋分時の入射条件に近いからであろう。したがって図13から春秋分時における像の広がりを考察するならば、実験した時刻内で像の広がりは小さいので、集熱効率もそれほど低下しないだろう。

4. 結 論

リニア・フレネルレンズを温室の屋根ガラスの代わりとして用いる、いわゆる建物一体型コレクタの検討をおこなうため、FLコレクタの熱効率の測定をおこない、主に斜入射光線の効果が大きい場合を中心に検討を加えた。実験範囲内で次の主な結論が得られた。

- (1) 入射角度が30度位の斜め入射であっても、コレクタの平均集熱効率は年間約30%を十分に達成できる。
- (2) 季節調節の角度が毎回5度以内にある限り、その期間中太陽光を無追従で受光できる。ちなみにこの角度は約20日間の太陽赤緯に相当する。
- (3) 受光体上に投影される太陽像の大きさは時角の変化につれて受光体の幅を越えて大きく広がり、光学的損失の増加を招く原因のひとつとなっている。そこで、南中時のぼやけた像の幅が受光体幅に等しくなる所に受光位置を設定すればこれを軽減できることを明らかにした。
- (4) レンズの切子面を太陽に向けた、いわゆるGUの状態において、南中時におけるその効率はGDの場合に比べ若干高くなるが、これ以外の時刻では著しく低下する。したがって、GDで設計したレンズをGUで使用することは不適當である。

謝辞 本研究を行うにあたりその一部を、静岡県温室農業協同組合静岡支所・省エネルギー研究会より研究委託されました。関係各位の皆様と当時芝浦工業大学生の駒形稔、丸山敏行の両氏に深く感謝の意を表します。

文 献

- (1) Mori, T., ISHS., Act Horticulture, 97 (1978) 321
- (2) 竹園, 天野 農業機械学会誌, 41-2 (1979) 293
- (3) Robrt, W. J., ISHS., Act Horticulture, 97 (1978) 311
- (4) Von Zabaltiz, C., ISHS., Act Horticulture, 97 (1978) 371
- (5) Chiapale, J. P., ISHS., Act Horticulture, 76 (1977) 219
- (6) 鶴志田, 一色 日本太陽エネルギー学会第6回講演論文集, (1980) 29
- (7) 鶴志田 太陽エネルギー, 13-6 (1987) 28
- (8) Nelson D. T., ほか2名, Solar Energy, 17 (1976) 285
- (9) Hill, J. E., Jenkins, J. P., ASHRAE Transaction, 84, Part II, (1978) 107
- (10) Kamoshida J., Isshiki N., ほか1名, Pro. ISTASE Hakone, (1985) 115
- (11) Meinel A. B., Meinel M. P., Applied Solar Energy, (1976) 144, Addison-Wesley Pub. Cop.
- (12) 谷田部 太陽エネルギー, 4-3 (1978) 19
- (13) 野口哲男編 太陽エネルギーの産業への利用技術, (1982) 80, フジテクノシステム
- (14) 押田 日本太陽エネルギー学会第6回講演論文集, (1980) 25