

福岡工業大学 機関リポジトリ

FITREPO

Title	収差補正した光学系による太陽光集光システムの開発
Author(s)	松尾 敬二
Citation	福岡工業大学研究論集 第43巻第1号 P1-P4
Issue Date	2010-9
URI	http://hdl.handle.net/11478/1027
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher

Fukuoka Institute of Technology

収差補正した光学系による太陽光集光システムの開発

閻 松 尾 敬 二 (大学院電気工学専攻)
猛 (工学部電気工学科)

Development of Transmission System of Solar Light by Optical System of which the Aberration is corrected

Meng YAN (Electrical Engineering, Graduate School of Engineering)
Keiji MATSUO (Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering)

Abstract

A system using a plastic Fresnel lens and an optical fiber is designed in order to utilize solar light for lighting. In this study, a device using a large caliber lens ($\phi 400\text{mm}$) system for collecting solar light is developed. However, the large aperture of the lens had two problems. One is that the luminous flux cannot intersect for the aberration at the focus. The other is overheating at the fiber end in the focal position of the lens. The former is solved by a lens system using a combination of three sheets in order to correct the aberration. The other is solved by the water-cooling fiber holder.

Key words: *plastic Fresnel lens, optical fiber, solar light, lens system, correction of aberration*

1. はじめに

太陽エネルギーは、風力と並ぶ有効な自然エネルギーと考えられ、太陽電池と組み合わせて発電を目的に適用が急増している。ところが、その効率は最大でも15%程度で、それをさらに照明に使用する場合はその80%程度となってしまう。すなわち、太陽光を光として利用する場合太陽電池を使用する方法はきわめて効率が悪い。そのために太陽光そのものを照明に使用することが考えられ、いくつかのシステムが実用化されている。たとえば、レンズと光ファイバーを用いたシステムが、ビル陰等の照明として使われている。しかし、石英レンズを用いているため重量が大きく、高価である。また、他のシステムは設定環境の制約が大きく汎用的とは言えない。本研究では、レンズ・光ファイバー方式を発展させた大口径フレネルレンズ集光システムについて研究を進めた。

2. 集光システム

本研究では、集光性能とコストを考え追尾タイプの光

ファイバー伝送システムを選択した。このタイプは、比較的小口径のレンズと石英ファイバーを用いたシステムとしては商用化されている。しかし、小口径のレンズで光量を増やそうとすれば、多くのレンズと光ファイバーが必要となる問題があった。そこでここでは、大口径のフレネルレンズとプラスチックファイバーを用いることとした。

2.1 集光システムの設計

集光システムのレンズとしては、より大口径の方が好ましい。本研究では、実用化されているシステムや本研究室で開発されたシステム($\phi 200\text{mm}$)を参考にそれらのほぼ4倍の集光面積となる $\phi 400\text{mm}$ のプラスチックフレネルレンズを選択した。プラスチックフレネルレンズは、軽量でコストが低い。また、受光ファイバーはプラスチックファイバーであれば $\phi 3\text{mm}$ まで選択できるが、曲げの曲率半径を検討してより実用性が高い $\phi 2\text{mm}$ のファイバーを選択することとした。レンズと光ファイバーの配置を図1に示す。

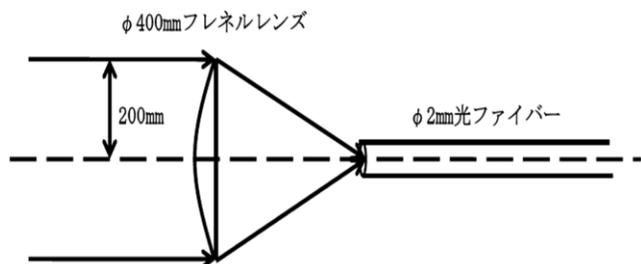


図1. φ400mm フレネルレンズ集光系

2.2 フレネルレンズの性能評価

レンズで集光する場合、そのスポット径がファイバーの径より小さく開口数もファイバーのそれより小さくなくてはならない。プラスチックファイバーの開口数は、一般に大きく短焦点 (F値~1) のレンズであっても、全光束を受光可能である。従って本システムの最大の課題は、φ400mmの大口径レンズでφ2mmのファイバーに全光束を入射できるスポット径を得ることである。そのことを調べるためにまず、模擬太陽光 (電球形蛍光灯) を用いて集光実験を行った。φ400mm (f=375mm) レンズでの実験結果を図2に示す。

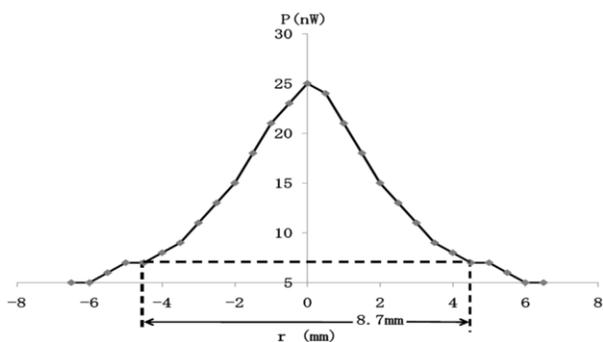


図2. φ400mm レンズで集光した光パワーの半径方向分布

図から集光径φ8.7mmが得られた。φ3mmよりもはるかに大きく、現状ではφ2mmのファイバーと結合できないことが分かった。

この原因を検討したところ、球面収差と色収差が問題となることがわかった。色収差の補正は難しいので、球面収差を減少させることを狙い、組合せレンズ系を採用することにした。凸レンズと凹レンズを組合せたレンズ系を用いれば、球面収差を抑えることができる。収差は次式で評価できる。

$$L.S.A = 0.272 \times f_1 + 1.069 \times f_2$$

上式をゼロと置くと、次の関係式を得る。

$$f_1/f_2 = -3.39$$

但し、

L.S.A : 球面収差

0.272 : 光線は順方向レンズに入射する際発生した球面収差の係数

1.069 : 光線は逆方向レンズに入射する際発生した球面収差の係数

f₁ : 第1レンズの焦点距離

f₂ : 第2レンズの焦点距離

この式に f₁=375mm (φ400mm) のレンズを用いて収差を減少させるレンズ系を検討した。その結果 f₂=-100mm (φ100mm) の凹レンズを用いれば、上式をほぼ満足し収差を抑えることができることが分かった。第2レンズを凹レンズとしたことで集光系とするために第3のレンズと組み合わせる必要がある。

2.3 組合せ光学システム

第3のレンズとして焦点距離 f₃=100mm (φ200mm) のレンズを用い組合せレンズ系を構成した。構成した組合せ光学系を図3に示す。第1 (受光) レンズを L₁, 第2 (コリメータ) レンズを L₂, 第3 (結合) レンズを L₃ とする。

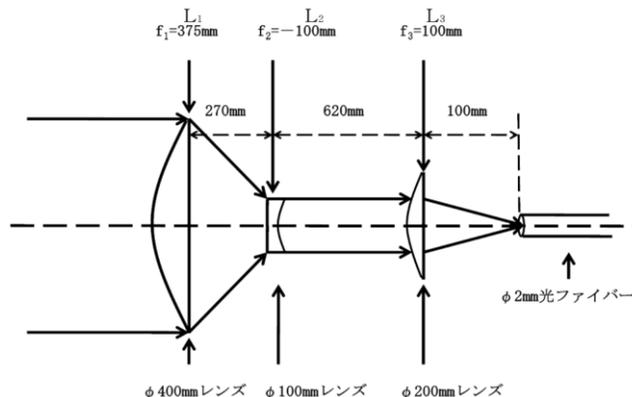


図3. 3枚レンズ系の配置

1枚レンズと同じように3枚レンズ系でも模擬太陽光によって性能評価を行った。評価装置の配置を図4に、測定結果を図5に示す。

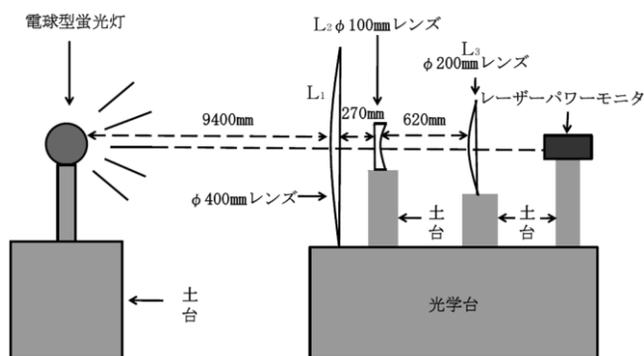


図4. 3枚レンズ系の集光評価実験装置

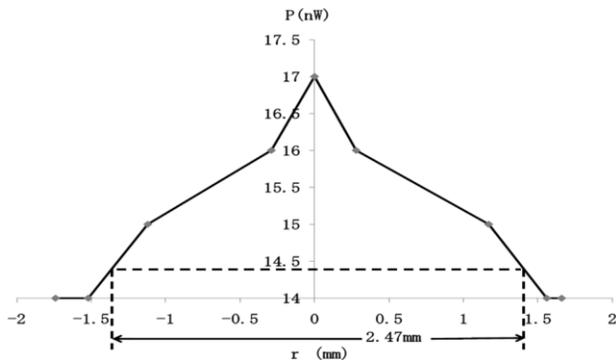


図5. 3枚レンズ系で集光した光パワーの半径方向分布

図から3枚レンズ系のスポット径は $\phi 2.47\text{mm}$ となった。このことから3枚レンズ系で $\phi 2\text{mm}$ 光ファイバーと $2\text{mm}/2.47\text{mm} \times 100\% = 81\%$ 以上結合できることが分かった。

レンズ L_1 とレンズ L_2 の間の距離が小さければ3枚レンズ系のスポット径は小さくなることが実験的に分かった。そこでレンズ L_1 とレンズ L_2 の間距離 250mm として実験を行った。測定結果を図6に示す。

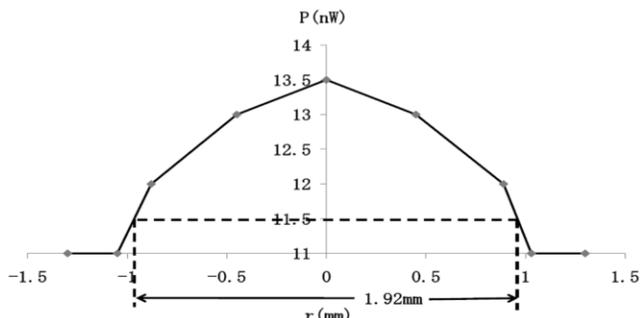


図6. レンズ間距離を調整した後の3枚レンズ系の光パワーの半径方向分布

ただし、レンズ L_1 からレンズ L_2 までの距離を 250mm としたことで L_1 の全直径から光を集光できず、光ファイバーと結合できる有効径は $\phi 370\text{mm}$ となった。わずかに有効径は減少するもののほぼ全域を利用できる。

2.3.1 3枚レンズ系で集光した光の光ファイバーへの入射効率

3枚レンズ系について集光効率を実験的に調べた。今回は実験の容易さからレーザーパワーモニタの前面にファイバーと同じ $\phi 2\text{mm}$ のアパーチャをつけて実験を行った。アパーチャをつけたレーザーパワーモニタを図7に示す。

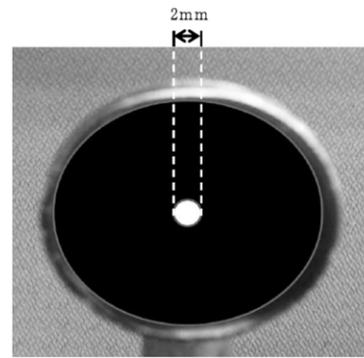


図7. アパーチャをつけたレーザーパワーモニタ

実験装置の配置は図4と同じである。レンズ L_1 からレンズ L_2 までの距離を 250mm 及び 270mm 離し実験を行った。間隔を 270mm としてレンズ L_1 全径からの太陽光を集光する場合、光ファイバーへの入射効率は $0.034\mu\text{W}/0.053\mu\text{W} \times 100\% = 64.15\%$ となった。一方、間隔を 250mm としてレンズ L_1 の中の直径 370mm からの太陽光を集光する場合、光ファイバーへの入射効率は $0.039\mu\text{W}/0.042\mu\text{W} \times 100\% = 92.86\%$ となった。いずれも当所の推定値より低くなったが、二つ結果を比較するとレンズ間隔を 250mm として有効径が 370mm と小さくとも入射効率が高くなるこことが分かった。

2.3.2 3枚レンズ系の透過率の検討

多レンズ系なのでレンズによる減衰について評価した。3枚のプラスチックレンズの透過率を可視光レーザーを用いて測定した。実験装置の配置を図8に示す。

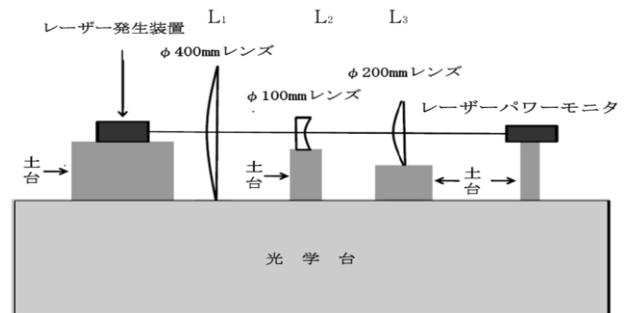


図8. 3枚レンズ系の透過率評価実験装置

実験方法

- ① 3枚レンズは全部を除き、レーザーから出射したレーザー光は全部レーザーパワーモニタに入射する。入射したレーザー光のパワー P_{in} を測定する。
- ② 3枚レンズ全部をレーザーとレーザーパワーモニタの間に置く。レーザーパワーモニタにより3枚レンズ系を透過したレーザー光のパワー P_{out} を測定する。
- ③ P_{out}/P_{in} から透過率を計算する。
 P_{in} は $34\mu\text{W}$ である。一方、3枚レンズ全部が配置された

P_{out} は $26\mu\text{W}$ であった。よって3枚レンズ系の透過率は $26\mu\text{W}/34\mu\text{W}\times 100\%=76.47\%$ となった。カタログ値により3枚レンズ系の透過率を推定することができる。カタログではフレネルレンズの可視光域での透過率は90%であった。よって3枚レンズ系の透過率は $90\%\times 90\%\times 90\%=72.9\%$ である。実験値との差は $76.47\%-72.9\%=3.57\%$ でほぼ一致している。3枚レンズ系では透過率は低下するものの実用性は十分あることが分かった。

2.4 全システムおよび水冷システム

これまでの検討により設計製作した全システムを図9に示す。

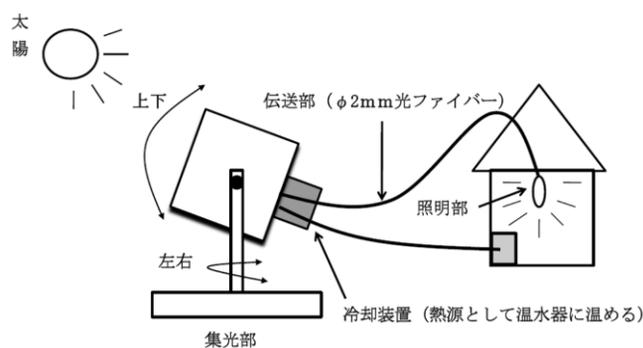


図9. 全システムの配置

全システムは集光部、伝送部、照明部の3つ部分から構成される。3枚レンズ系によって収差の問題は対応できたが焦点位置に置かれたファイバーには熱対策が必要と考えられる。ここでは、温水の製造にも使用できる水冷システムを採用する設計とした。

3. まとめ

本研究は太陽光を照明に利用するために、 L_1 ($\phi 400\text{mm}$, $f_1=375\text{mm}$), L_2 ($\phi 100\text{mm}$, $f_2=-100\text{mm}$), L_3 ($\phi 200\text{mm}$, $f_3=100\text{mm}$) の3つのプラスチックフレネルレンズと $\phi 2\text{mm}$ プラスチック光ファイバーを用い、収差補正した光学系による太陽光集光システムを設計製作した。

収差を補正した組み合わせ光学系によって大口径レンズを用いながらも、小口径のファイバーと結合でき、実用上重要な成果が得られた。全体装置を実用化すれば温水の利用、大深度地下などに使用するなど、大きく発展することも期待される。

4. 今後の課題

本研究では自動的に追尾システムを開発できなかった。従って、自動追尾させることが課題である。また、温水の輸送方法について検討する必要がある。

参考文献

- 1) レーザーオプティクスガイド(1)光学部品 (2006年度) メスグリオ株式会社 P1-6~P1-10, P1-17~P1-19, P1-27~P1-28
- 2) 光学部品製造総合カタログ (2004年度版) エドモンドオプティクスジャパン株式会社 P88~P89