

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3682300号
(P3682300)

(45) 発行日 平成17年8月10日(2005.8.10)

(24) 登録日 平成17年5月27日(2005.5.27)

(51) Int. Cl.⁷

F I

GO2B 5/10
F21S 11/00
F24J 2/14
GO2B 17/00
GO3B 27/54

GO2B 5/10 A
F21S 11/00 B
F24J 2/14
GO2B 17/00 A
GO3B 27/54 A

請求項の数 18 (全 23 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平9-505891 (86) (22) 出願日 平成8年7月3日(1996.7.3) (65) 公表番号 特表平11-509011 (43) 公表日 平成11年8月3日(1999.8.3) (86) 国際出願番号 PCT/US1996/011276 (87) 国際公開番号 W01997/003372 (87) 国際公開日 平成9年1月30日(1997.1.30) 審査請求日 平成13年9月14日(2001.9.14) (31) 優先権主張番号 08/499,403 (32) 優先日 平成7年7月7日(1995.7.7) (33) 優先権主張国 米国(US)</p>	<p>(73) 特許権者 アーチ・デヴェロップメント・コーポレイ ション アメリカ合衆国、60637 イリノイ、 シカゴ、イースト・フィフティーエイス・ ストリート 1101 (74) 代理人 弁理士 奥山 尚男 (74) 代理人 弁理士 秋山 暢利 (74) 代理人 弁理士 奥山 尚一 (74) 代理人 弁理士 有原 幸一</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非結像光学的集中装置および照明システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

縦軸を有する2次元の反射鏡形状であって、極座標での微分方程式、

$$dR/d\theta = R \cdot \tan \theta$$

(式中、Rは、前記2次元の反射鏡形状からの光のエッジ射線のある反射ポイントへの原点からの半径ベクトルであり、 θ は前記Rベクトルとある基準方向との間の角度を表わし、極座標(R, θ)は反射鏡形状上のあるポイントであり、そして θ は原点からの光のエッジ射線が前記2次元の反射鏡形状の法線となす角度である。)の前記2次元の反射鏡形状に沿った全ての点に対する解によって定義される2次元の反射鏡形状を含んでなり、前記2次元の反射鏡形状が、前記2次元の反射鏡形状上の前記光のエッジ射線が位置の関数として変化できるようなある反射鏡形状によって定義され、それによって、集中装置による集光のために、複数のエッジ射線が提供される、非結像集中装置。

【請求項2】

θ_1 を前記集中装置の前記入射開口にあたる光線の最大角度とし、 θ_2 を前記集中装置の前記射出開口から離れる光線の最大角度としたときに、もし $\theta_2 > (\theta_1 / 2) - \theta_0$ ならば、前記

$$\theta_0 = (\theta_1 / 4) + (\theta_2 - \theta_1 (R, \theta)) / 2$$

で与えられる関数的振る舞いを有する複合楕円型集中装置(CEC)であることを特徴とする請求項1に記載の非結像集中装置。

10

20

【請求項 3】

前記 2 次元的反射鏡形状を前記縦軸の周りに回転させることによって形成された形状、および前記 2 次元的反射鏡形状を前記形状の平面に垂直な方向に移動させることによって形成された形状のグループから、ある 3 次元的な形状が選択されていることを特徴とする請求項 1 に記載の非結像集中装置。

【請求項 4】

もし $\theta_2 < (\theta_1 / 2) - \alpha$ ならば、前記 θ_1 が、

$$\theta_1 = \theta_2 + (\theta_2 - \alpha(R, \theta_1)) / 2$$

(式中、 θ_1 は前記集中装置の入射開口に入射する光線の最大角、 θ_2 は前記集中装置の出射開口から出射する前記光線の最大角) で与えられる関数的振る舞いを有する、複合楕円型集中装置 (CEC) であることを特徴とする請求項 1 に記載の非結像集中装置。 10

【請求項 5】

複合双曲型集中装置 (CHC) である集中装置であって、前記微分方程式、

$$dR/d\theta = R \cdot \tan \theta$$

の解は、角度 θ の 2 つの領域、すなわち第 1 および第 2 の領域で定められ、

前記第 1 の領域において用いられる θ_1 は、光源分布の一つの端にある原点から出発し、前記光源の反対側の端からの前記反射鏡形状を通過する光線 (この光線は前記入射開口を画定する該入射開口の端点 A および A' の間の領域を通過しないものである) を描くことによって得られる入射開口に入る光の射線の最大角度と定義され、前記第 2 の領域において、 θ_1 は、前記光源の前記反対側の端からの前記 A および A' の間を通過する第 2 の光線と、該第 2 の光線を最大角が見出されるまで前記光源に向かって後方への光線追跡を行うこととによって定義される角度とし、 20

前記 θ_1 は、

$$\theta_1 = (\theta_1 / 4) + (\theta_1 - \alpha(R, \theta_1)) / 2$$

で定義されることを特徴とする請求項 1 に記載の非結像集中装置。

【請求項 6】

前記 $dR/d\theta$ の解が前記反射鏡曲線の外側の端から開始され、そして内側に向かって継続されることを特徴とする請求項 5 に記載の非結像集中装置。

【請求項 7】

吸収体が平坦ではなく、前記 θ_1 が、 (R, θ_1) を極限エッジ射線が点 (R, θ_1) においてなす角度としたときに、 30

$$\theta_1 = (\theta_1 - \alpha(R, \theta_1) - (R, \theta_1)) / 2$$

(式中、 θ_1 は前記集中装置の入射開口に入射する光線の最大角) によって定義されることを特徴とする請求項 1 に記載の非結像集中装置。

【請求項 8】

前記吸収体は円形であり、かつ、 r を該吸収体の半径としたときに、 θ_1 が

$$\theta_1 = \arcsin(r/R)$$

で与えられることを特徴とする請求項 7 に記載の非結像集中装置。

【請求項 9】

前記集中装置はレンズをさらに含むとともに、前記エッジ射線は、前記 θ_1 が光源分布内における最大角度を決定する、前記レンズを経由した逆行光線追跡によって定義されることを特徴とする請求項 1 に記載の非結像集中装置。 40

【請求項 10】

θ_1 を前記集中装置の入射開口に入射する光線の最大角、 n を前記装置内の媒体の屈折率としたときに、前記 θ_1 が、

$$\theta_1 = (\theta_1 / 4) + \theta_1 - \arcsin(1/n)$$

によって定義されるように、すべての光の射線が前記反射鏡形状によって全反射されることを特徴とする請求項 1 に記載の非結像集中装置。

【請求項 11】

前記 n は可変値であることを特徴とする請求項 10 に記載の非結像集中装置。 50

【請求項12】

前記装置が集光における収差損失を修復するための補助的な非結像素子をさらに備えたことを特徴とする請求項1に記載の非結像集中装置。

【請求項13】

前記非結像第二次素子の配置および開口は、前記集中装置内のすべての角度偏差を含む track 角度だけ回転された包絡線によって画定され、 r を第一次光学装置の円弧の曲率半径とし、 θ を一つの射線が前記反射鏡表面から反射する角度位置と該射線が接する前記包絡線上の位置を定義するものとしたときに、前記包絡線は、

$$X = r \cdot \sin^3 \theta,$$

および、

$$Y = - (3/2) r \cdot \cos^3 \theta + r \cdot \cos \theta$$

によって表現されることを特徴とする請求項12に記載の非結像集中装置。

【請求項14】

縦軸のある2次元の形状を備えた、非結像的照明システムであって、前記形状が、極座標での微分方程式、

$$dR/d\theta = R \cdot \tan(\theta - (R, \theta) - (R, \theta) / 2)$$

(式中、 R は光源の原点から、反射鏡表面からの光のエッジ射線の反射ポイントへの半径ベクトルであり、 θ は前記 R ベクトルと、前記照明システムの縦軸に沿った光源の中心からの半径ベクトルとの間の角度を表し、 (R, θ) は、座標原点に向かうこととなる、光の出力に最も近い側の光源の通過接線が、ポイント (R, θ) において光源の原点の方向とつくる角度である。) を積分することによって定義されることを特徴とする非結像照明システム。

【請求項15】

3次元の形状が、前記2次元の形状を前記縦軸の周りに回転させることによって形成されたことを特徴とする請求項14に記載の非結像照明システム。

【請求項16】

前記システムはさらに目標スクリーンを備え、前記目標スクリーンが、 D を前記光源原点から前記目標スクリーンの中心への距離としたときに、

$$X(\theta, R, D) = R \cdot \sin^3 \theta + \tan \theta \cdot (R \cdot \cos^3 \theta + D)$$

で与えられるパラメータ表現 $X(\theta, R, D)$ によって定義されることを特徴とする請求項14に記載の非結像照明システム。

【請求項17】

前記積分は θ の3つの領域、すなわち第1、第2、および第3の領域、に沿って実行され、(1) 前記第1の領域には、すべての光線が前記照明システムを確実に出るように構成されたインボリュートが含まれ、(2) 前記第2の領域では、前記目標スクリーン上のその中心においてパワーを正規化するために前記反射鏡表面の少なくとも一部分が使用され、(3) 前記第3の領域では、前記目標スクリーンを横切る望ましい放射線照射を得るために前記反射鏡表面をあつらえることを特徴とする請求項16に記載の非結像照明システム。

【請求項18】

前記光源は、円形で、 $\theta = \arcsin(r/R)$ を有するシリンダ形状の光源であり、かつ、その放射照度が一定であること特徴とする請求項17に記載の非結像照明システム。

【発明の詳細な説明】

発明の分野

本発明は一般的に非結像光学的集中装置(nonimaging optical concentrator)および非結像光学的照明装置の方法および設計に関する。特に、本発明は与えられた吸収体の形状に対して入出力の位相空間分布を変換して光学的コンセントレーション(集中)を最適化するための方法および設計に関する。加えて、本発明は、特に目標面上へ一般的な照度パターンの非結像照明を作り出すためにあつらえられた反射鏡の使用に関する(照度(illumination))

10

20

30

40

50

ance)は、光学的応答によって、または波長で重み付けされた何らかの応答によって、重み付けされた放射輝度である)。

発明の背景

非結像集中装置(nonimaging concentrator)およびその利点は当該技術分野ではよく知られている(米国特許第3,957,031号、米国特許第4,002,499号、米国特許第4,003,638号、米国特許第4,230,095号、米国特許第4,387,961号、米国特許第4,359,265号、米国特許第5,289,356号参照。またこれらの文献の内容は本明細書の一部をなすものとする)。これらの先行技術による装置では、ある与えられた吸収体の形状が選択された後、それに見合った適当な非結像反射鏡が設計される。新たな反射鏡の設計開発に力点が置かれてきたが、しかしこうした試みでは、製造するのが高価な設計を使用することなく、有意な程度にまで効率レベルを改善することはできなかった。

非結像光学は、目標上への光のコンセントレーション(集中)を最大にすること、または目標に対する制御された照明を実現することに関する分野である。集中システムの多くのタイプの技術はすでに確立されている。これらのシステムとしては、 $\theta_1 - \theta_2$ 型集中装置、トランペット型、および複合放物線型集中装置(compound parabolic concentrator: CPC)などがある。これらのシステムで扱われる問題は、フラットな入力輝度分布または位相空間が吸収体上では変わってしまうことである。位相空間の保存は、入射開口部(アパーチャ)で集められる光と吸収体にあたる光との間に要求される関係である。開口部および吸収体上のフラットな分布についての位相空間ダイアグラムを用いると、理想的なコンセントレーションの計算が簡単になる。図1に示すように、集中装置は大きさ L_1 の入射開口上の角度 θ_1 を持って入射するすべての光線(ray)を受け入れる。一方、大きさ L_2 の射出開口は角度 θ_2 の円錐内に光線を射出する。各方形の面積が保存されることを要求すれば射出開口 L_2 対入射開口 L_1 の関係は次式で与えられる。

$$L_2 = L_1 \cdot (\sin \theta_1 / \sin \theta_2) \quad (1)$$

コンセントレーションを最大にするとして($\theta_2 = \theta_1 / 2$ として)、屈折率 n 内での最大量(limit)は2次元において次式で与えられる。

$$C_{2-d} = n / \sin \theta_1 \quad (2)$$

また、3次元では次式で与えられる。

$$C_{3-d} = n^2 / \sin^2 \theta_1 \quad (3)$$

これらの集中装置では受け入れ角度を小さくするのは実際的ではない。その理由は入射部でレンズが使われないかぎり、それらの長さが $\cot \theta_1$ に比例するからである。また、設計は2段階システムを使用して開発されている。2段階システムには結像する一次ミラーまたはレンズが含まれるが、システムの長さは大きく減少するものの、コンセントレーションが理想的最大値を下回る。第一次集束装置と固定された受け入れ角度を有する非結像集中装置を備えた2段階システムについて、図2に示されるように、理論的最大量が次式で与えられることを見出すことができる。

$$C_{2-d} = n \cdot \cos \theta_{rim} / \sin \theta_1 \quad (4)$$

ここで、 θ_{rim} は第一次映像装置のへり(rim)角度である。へり角度が大きくなると、コンセントレーションの低下が相当に著しい。損失を引き起こす問題は、こうしたシステムにおける第二次装置の入射開口上への輝度分布はかなり不均一であることである。標準的な第二次装置は、しかしながら、フラットな位相空間を収集するように設計されており、集められた光の多くは望ましくないものになってしまう。最近の発展において、いくつかの場合に上記最大量を越えることができるように集中装置をあつらえることができることが示されている。しかし、さまざまなタイプの集中装置についてこれを実現する一般化された技術は存在していない。

本発明は、一つには、さまざまな吸収体形状および入力分布に対して集中装置を設計するための、一般的な数値積分法に関係している。この方法によれば、極座標の微分方程式を使用して、反射鏡上のエッジ射線(edge ray)を位置の関数として変化させることができるようにする反射鏡曲線(reflector curve)を決定することができる。また、吸収体

形状に依存するとともに位置によっても変化することのある、方程式内の一つのパラメータを変化させることによって、吸収体形状を考慮に入れることができる。

非結像集中装置を設計するために一般的に使用される2つのタイプの曲率がある。最も一般的なものは複合楕円型集中装置 (compound elliptical concentrator: C E C) であり、これは1回の反射で吸収体上に到達するエッジ射線アルゴリズムを使用する。一方、複合双曲型集中装置 (compound hyperbolic concentrator: C H C) では、目標吸収体にあたる前にエッジ射線を複数回反射させる「仮想(virtual)」焦点が使用される。複合反射鏡の名は、集中装置が2つの側面(side)を有することに由来し、一つの側面の形状がもう一つの側面に関して対称的であることが一般的に要求される。図3に示された2つのタイプは両方とも一般的な積分設計法を使って設計することができる。

10

同様に、さまざまな方法および設計が非結像照明システムを製造するために提供されている。しかし提案された解決法は、効率的に動作させるために光源と反射鏡輪郭との間に大きなギャップを必要とするとか、反射鏡形状が光源よりもかなり大きいことを必要とするなどの、極めて特殊な条件を必要とする。

発明の目的と概要

以上の説明から、本発明の目的は非結像光学的集中装置または照明装置のための改良された方法および設計を提供することにある。

本発明の他の目的は、さまざまな吸収体形状と光の入力分布が与えられたときに、集中装置を設計するための新しい一般的な方法を提供することにある。

以上の他に本発明のさらなる目的は、ある与えられた場所における輝度または光の分布の関数として変化する反射鏡曲線を有する集中装置を設計するための改良された方法を提供することにある。

20

以上の他に本発明のさらなる目的は、吸収体形状に依存する解析的な表現におけるパラメータを変化させることにより光集中装置を設計するための新たな方法を提供することにある。

以上の他に本発明のさらなる目的は、複合集中装置を、その両側を構成するための一般的な解析的な方法を使用して設計するための改良された方法を提供することにある。

以上の他に本発明のさらなる目的は、反射鏡上のエッジ射線が位置の関数として変化することを可能にする反射鏡曲線を決定するために、解析的な微分方程式を使用して集中装置のための新たな設計を提供することにある。

30

以上の他に本発明のさらなる目的は、幾何学的配列設計を簡略にするためにある定義された補足的なエッジ射線を使用して改良された集中装置の設計を提供することにある。

以上の他に本発明のさらなる目的は、固定された円形ミラーを使用して改良された2段階集中装置の設計を提供することにある。

以上の他に本発明のさらなる目的は、非結像照明システムのためにあつらえられる反射鏡のための新たな方法および設計を提供することにある。

以上の他に本発明のさらなる目的は、目標面に一般的な照明パターンを形成するあつらえの反射鏡を提供するための改良された方法および設計を提供することにある。

以上の他に本発明のさらなる目的は、照明装置を製作する際に反射鏡のリーディングエッジアプローチ (leading edge approach) を使用するための新たな方法および設計を提供することにある。

40

以上の他に本発明のさらなる目的は、光源と反射鏡とのギャップが必要とされない非結像照明システムのための改良された方法および設計を提供することにある。

以上の他に本発明のさらなる目的は、角度積分変数の3つの積分領域に適用された解析的表現を使用して、非結像照明システムのための新たな方法および設計を提供することにある。

本発明の以上の目的と他の目的、およびその利点は以下の記述と図面から明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

図1(a)および図1(b)は、従来技術による一般的な非結像集中装置の輝度変換を示

50

した図である。

図 2 は、従来技術による 2 段階集中システムを示した図である。

図 3 は、2 つの異なるタイプの集中装置を示した図であり、(a) は C E C 型の集中装置を示した図、(b) は C H C 型の集中装置を示した図である。

図 4 は、極座標系において、反射鏡曲線から反射された原点からの光線を示した図である。

図 5 は、 $\theta_1 - \theta_2$ 型の集中装置の設計を示した図であり、(a) は $\theta > (\theta_1 / 2) - \theta_2$ の場合、(b) は $\theta < (\theta_1 / 2) - \theta_2$ の場合を示した図である。

図 6 は、切り捨て(truncation)角度 θ_1 から高さ h を決定するための方法を説明するための図である。

10

図 7 は、トランペット型の集中装置を設計するために仮想光源を使用する方法を説明するための図である。

図 8 は、単一の反射されたエッジ射線を使用する、トランペット外形の複数の反射設計を示した図であり、(a) は反射鏡の反対側からきた光線、(b) は反射鏡に直接的にあたる光線を示した図である。

図 9 は、非平坦な吸収体に対する、中心的な補足エッジ射線を使用する集中装置の設計法を示した図である。

図 10 は、 $\theta_1 < \theta_2$ の関係にある反射鏡に関して最大角を見出すための逆方向への光線追跡を説明するための図である。

図 11 は、T I R、すなわち $\theta > \arcsin(1/n)$ の要求を説明するための図である。

20

図 12 は、補足エッジ射線による傾斜屈折率素材内における設計を示した図である。

図 13 は、光学的な円弧によって反射された射線を示した図である。

図 14 は、第二次装置が正しく位置付けられた際の追跡許容差の効果を示した図である。

図 15 は、第二次装置部分の開口にあたる輝度分布を示した図である。

図 16 は、 $C = 1.15$ の標準的な 55 度の受け入れ角度を持つ C P C を示した図である。

図 17 は、 $C = 1.45$ であつた集中装置を示した図である。

図 18 は、あつた集中装置によって集められた、第一次装置部分からの輝度分布を示した図である。

30

図 19 は、あつた集中装置によって集められた、ランベルト光源(Lambertian source)からの輝度分布を示した図である。黒い領域は吸収体に直接あつたことを示し、グレーの領域は光が一つ以上の反射の後に収集されたことを示し、そして白い領域は光が収集されなかったことを示している。

図 20 は、一般的な照明装置を設計するために使用される幾何学的配置を示した図である。

図 21 は、照明装置のインポリュート(伸開線)領域の設計法に関する幾何学的配置を示した図である。

図 22 は、遠い目標への照明に関する幾何学的配置を示した図である。

図 23 は、パワーが目標の中心で正規化される角度領域 2 内での積分に対する積分曲線を示した図である。

40

図 24 は、図 23 に示された角度の停止ポイント(angular stopping point)を有する照明装置についての強度プロフィールを示した図である。

図 25 は、トレーリングエッジ設計法とリーディングエッジ設計法との間の方法論の相違を説明するための図である。

好適実施例の詳細な説明

A. 非結像集中装置

図 4 ~ 図 15 と 図 17 ~ 図 25 は、本発明による非結像集中装置の方法および設計例を示した図である。本発明の好ましい実施形態を、極座標を使って 2 次元集中装置を設計する場合について説明する。3 次元集中装置は、2 次元集中装置をその軸の周りに回転

50

することによって得られる。実際の吸収体形状に関係なく各集中装置形状は極座標の微分方程式を積分することによって得られる。この微分方程式は次式で与えられる。

$$dR/d\theta = R \cdot \tan \theta \quad (5)$$

ここで、座標 (R, θ) は曲線 20 上の点 10 を表す。一方、 θ は座標系の原点 30 からの光線が曲線 20 の垂線 40 となす角度である。図 4 にはこの系が図示されている。さまざまな非結像集中装置を設計するには、便利な原点とエッジ射線原理を満足する (R, θ) を見出すことが必要とされる。

1. $\theta_1 - \theta_2$ 設計

設計が最も簡単なタイプの集中装置 50 は、目標射出開口 80 上の実際の点に向かって反射する光源入射開口 60 からのエッジ射線を持つ (図 5 参照)。エッジ射線 70 が目標射出開口 80 に到達する際に一度の反射を行うことから、これは CEC 型の集中装置である。入射開口 60 に入射する θ_1 と射出開口を後にする θ_2 の最大角度を有するフラットな位相空間分布を得るために、古典的な $\theta_1 - \theta_2$ 型 CPC がある。この型の集中装置 50 の設計ではエッジ射線 70 のほとんどが目標射出開口 80 の端にあたることになるので、この端は座標原点として選定するのに最適である。図 5 (a) は集中装置の輪郭と、 $\theta_2 > (\theta_1 / 2) - \theta_1$ に対するさまざまな設計パラメータを示した図である。この場合、エッジ射線 70 は目標射出開口 80 の端にあたる。新たに入ってきたパラメータは $\theta_1 (R, \theta)$ である。これは、エッジ射線 70 が点 (R, θ) で反射鏡 90 にあたることのできる垂線となす最も大きな角度である。従来技術による標準的な設計法では、 $\theta_1 (R, \theta)$ はすべての R, θ に対して一定である。ひとたび θ_1 が知れると、 $\theta_2 > (\theta_1 / 2) - \theta_1$ の場合には、 θ_2 は簡単な幾何学を使って以下の式のように表される。

$$\theta_2 = (\theta_1 / 4) + (\theta_1 - \theta_1 (R, \theta)) / 2 \quad (6)$$

式 5 と組み合わせたときには、 θ_1 が一定であるかまたは θ_1 に比例 (つまり、 θ_1 の線形関数) しない限り、解を解析的に求めることは困難である。

もし $\theta_2 = (\theta_1 / 2) - \theta_1$ ならば、 θ_2 を見つけることはより複雑となる。その理由は、図 5 (b) に示すように、エッジ射線 70 が目標射出開口 80 の端にあたらないからである。エッジ射線 70 が角度 θ_2 で出ていくようにするために、目標射出開口 80 の端を通過する補足エッジ射線 75 を導入する。新たな量 $\theta_2 = (\theta_1 / 2) - \theta_1 - \theta_2$ を定義して、さらにそれを式 6 の θ_1 に加えると、 θ_2 の正しい値が得られる。 $\theta_1 + \theta_2$ での補足エッジ射線 75 が目標射出開口 80 の端にあたることを要求すると、 θ_1 での実際のエッジ射線 70 は θ_2 の角度で目標射出開口 80 を出る。補足エッジ射線 75 は、エッジ射線 70 が正しい出力角度 θ_2 で出るようにさせるための、設計原点を通過する構成射線に対応する。この場合、 θ_2 についての方程式は、 $\theta_2 = (\theta_1 / 2) - \theta_1$ ならば、次式で与えられる。

$$\theta_2 = \theta_1 + (\theta_2 - \theta_1 (R, \theta)) / 2 \quad (7)$$

もし θ_1 が一定ならば、この方程式は直線を表す。

入力分布、すなわち固定された L_1 が知られていると仮定して、高さ h と射出開口 L_2 80 を解析的に決定することはほとんどの場合に不可能である。入力部分における位相空間分布におけるギャップを含めなければならないことがあるので、コンセントレーションは一般的にはあらかじめ分からず、その結果、理想的な集光が得られない。図 6 の集中装置 50 において、 L_1 と L_2 を使っていかに h を決定するかを説明する。図 6 において、切り捨て (truncation) 角度 θ_1 は光源 (source) 60 の端からのエッジ射線の角度である。コンセントレーション L_1 / L_2 は変化するが、基礎的な三角法を使って次式が得られる。

$$h = (L_1 / 2 + L_2 / 2) \cdot \cot \theta_1 \quad (8)$$

L_1 は固定されることが好ましいが、光源 (source) のサイズは一般的に固定されている。 L_2 が変化する。積分は光源の端あるいは目標射出開口 80 のいずれかから始めることができる。コンセントレーションは未知のパラメータであるので、それについて解く必要がある。標準的な数値計算アルゴリズムは、光源の端および目標射出開口 80 を両方とも通過する積分曲線を必要とする際に使用することができる。もし h が固定されているならば、そのときは一般的にコンセントレーションの損失が存在する。また、 θ_2 を R, θ の関数とすることによって、フラットでない出力輝度分布について設計することが可能である

10

20

30

40

50

。

2. トランペット型集中装置の設計

図7に示されたトランペット型集中装置100は凹状の代わりに凸状となっている。また、それはCHC型設計となっている。エッジ射線110は無数の反射を行って目標吸収体150に到達する。 $\theta_1 - \theta_2$ 型集中装置50の様に、目標吸収体150と光源分布130は両方ともまだフラットな面である。相違点は、目標吸収体150が光源平面内に存在し、かつ、入力分布130が仮想光源として作用することである。再び、光源輝度分布は知られているものと仮定する。切り捨て設計法を行うと、高さhが選ばれるとともに、光源にあたるすべての光線が点A、A'の二点の間を通過するものとして点A、A'が見出される。

10

この場合に使用されるエッジ射線原理においては、エッジ射線110が無数の反射の後に目標吸収体150にあたるのが要求される。トランペット型集中装置の一般的な設計では、エッジ射線110は、光源分布の端にある「仮想」焦点に向かって反射し、かつ、目標吸収体に次第次第に近づくが、そこに到達するには無限回の反射を行わなければならない。このパターンに従うようにエッジ射線110を操作することができる。仮想焦点は、エッジ射線110が集中装置100の背後の点125に向かって反射し、一度の反射によって目標吸収体150内部に反射されることがないことを示している。座標系の原点125を光源分布の端に選び、エッジ射線110をこの「仮想」焦点に向かって反射するようにさせることによって、1回反射型設計法を使用して、無限回反射するエッジ射線の集光装置に対する設計を行うことが可能となる。受け入れ角度 θ_1 を適当に定義することが必要とされるすべてである。

20

考慮しなければならない、積分曲線に沿った2つの部分が存在する。これら2つの領域は図8に図示されている。原点125から出発した光線141は反対側の焦点125から反射鏡135を通過するように描かれている。もしこの光線141が点A、A'を通過しないならば、そのときは $\theta_1(R, \theta)$ の角度はこの光線141の角度で与えられる。その理由はもう一方の側の反射鏡140がこの焦点に向けてそのエッジ射線のすべてを送り込むからである。もし反対側の焦点からの光線が点A、A'を通過すれば、そのときは最大角度が見出されるまで光源に向かって後ろ向きに光線を追跡することによって、反射鏡135上への最大角度が見出される。この角度は式5を積分する際に使用される、角度 θ は式6によって与えられる。

30

反射鏡140上のこれらの点は知られているので、この積分は、反射鏡140の外側の端から出発して、内向きに行く。最終的な目標開口150には積分によって到達し、 $\theta_1 - \theta_2$ の場合のような二分割は必要ない。この方程式の数値積分によって、流線アプローチ(flowline approach)を使って得られる一般的なトランペット設計が再現される。残念ながら、この方法では、流線アプローチで得られるようなトランペット形状は解析的には得られない。しかし、以前では不可能であった非一様な分布に対応した設計が可能になるといった重要な利点が存在する。

理想的なトランペットは無限に広がっているので、Rを無限大にする(極限をとる)際に数値計算上の困難が生じる。好ましい設計方法においては自動的に切り捨て操作が組み込まれているので、このアプローチはこうした集中装置をカバーしない。理想的な無限の集中装置を設計するには流線アプローチが必要とされる。しかしながら、積分法はすべての現実的な適用例に対して機能する。

40

3. 非平坦吸収体

非平坦な吸収体に一般化する際にも、以上に記述したような方法論に従うことができる。図9はCEC型アプローチを使用する任意形状の凸状吸収体151を示した図である。パラメータ (R, θ) は吸収体151からの極限光線145が点 (R, θ) においてなす角度である。もし吸収体151が円形であるならば、そのときは吸収体151の中心155は座標系中心として最適な位置である。そして $\theta = \arcsin(\theta / R)$ となる。ここで θ は吸収体の半径である。簡単にするため、座標系中心は吸収体151の垂直軸160に沿うものとする。 θ_1 は光源分布からの光線があたる極限角度であり、すでに説明し

50

たような光線の後方追跡によって得られる。 θ_1 におけるエッジ射線145は、吸収体151の最上部に接してあたるように反射すべきものである。以前のように、原点155を通過する補足エッジ射線165が使用され、 θ_1 に対する次のような方程式が与えられる。

$$r = (R - r_1(R, \theta_1) - (R, \theta_1)) / 2 \quad (9)$$

こうした方法論では、吸収体151は光源からの光線を遮ることができ、その光線が反射鏡170に到達することを妨げることができる。反射鏡170をこれらの光線を収集するように設計すればコンセントレーションにおける不必要な損失が生じる。こうして問題は、ブロックされずに反射鏡170にあたる最大光線角度を見出すことである。図10はいかにして光線を後方追跡して最大角度を見出すかを説明するための図である。 θ_b を吸収体151にあたることのない最大角度として、 $\theta_b / 2$ と θ_b との間で θ_1 を探索する。もし光源から直接的に反射鏡170上にあたる光線が存在しないならば、そのときは複数の反射を使って、光源と交差する光線が見出されるまで、光線を後方追跡する。このためには、積分が光源の外側から開始されて、内向きに進むことが要求される。その理由は、さもなければ、反射鏡の最上部での輪郭がまだ知られていないので、複数反射による光線の後方追跡を実行することができないからである。

この好ましい実施形態では、積分方程式がすべての θ_1 に対して定義されており、最大のコンセントレーションを与えるので、インボリュート (involute; 伸開線) は集中装置170の底には使用されない。フラットな位相空間分布を得るために、積分法は自動的にインボリュートを回復するが、この結果は幾何学的技術を使用して得られるものと同じである。

吸収体151と反射鏡170との間のギャップは固定されず、 $\theta_b = 0$ でのRの値によって決定される。光線追跡は重大なギャップ損失があるかどうかを調べるのに必要とされる。ここにすでに記述された技術によって、3つの主な型の集中装置50、100、そして170に対する設計を行うための一般的な方法について述べた。設計方程式は、設計にレンズを加えること、TIRが満足されること、そして傾斜屈折率型素材を使用することなどの付加的な拘束条件を考慮に入れることができるように修正することができる。

(図示されていない)レンズを加えることによって、集中装置50をより小型にすることができる。レンズを考慮すると、 θ_1 およびhが変化する。反射鏡に沿った受け入れ角度 θ_1 は、入力分布の内側にある最大角度を見出すためにレンズを介して光線を後方追跡することによって得られる。数値積分をすでに説明したように遂行することができる。新たな高さhは、切り捨て角度 θ_b がレンズ使っていかにずれるかを決定することにより見出される。この新たな角度は吸収体の端にあてて最適な高さを見つけるのに必要とされる。高さがより低くなると、すでに気づいたようなコンセントレーション損失が生じる。誘電体集中装置においては、反射損失と加熱を最小限にするために、すべての光線がTIRを満足するという要求が課される。 $\theta_1 - \theta_2$ 型集中装置50に対して、反射鏡175の垂線となす角度 θ を臨界角度よりも大きくするためには、エッジ射線70が必要である。図11を参照して、いかにTIRを課すかを説明する。 $\theta = \arcsin(1/n)$ を要求することによって、 θ_1 に対する次の新たな制約が加わる。

$$(\theta_b / 4) + \theta_1 - \arcsin(1/n) \quad (10)$$

ここで、nは媒体の屈折率である。ふたたび、幾何を簡単にするために補足エッジ射線75が使用される。円形レンズを使用して集中装置175を設計することによって、異った技術を使って実現されるものと同じの形状が与えられる。

あらかじめ傾斜屈折率型素材を使用することも有効である(図12参照)。傾斜屈折率型素材は通常、レンズと同様に作用する。また媒体を介して光線を後方追跡することによって θ_1 が見出される。相違点は、吸収体の端にあてるための光線追跡も必要とされるということである。図12において、 $\theta_2(R, \theta_1)$ が見出される。補足エッジ射線75によって、式7がすべての θ_2 に対して θ_1 を与えることが示される。

B. 非結像照明装置

図20~図25には非結像照明装置180に対する方法および設計例が一般的に示されている。すでに説明したような非結像集中装置に対する設計がこれらの照明装置180に対

10

20

30

40

50

する設計に同様に拡張できる。非結像光学はもともとは光を最大の効率で集めることを最終目的とする分野である。光線経路を逆にすることによって、集中装置は理想的な照明装置になる。この意味において、理想的には、光源 185 からのすべての光が反射鏡 190 によって出力され、そしてその光がよく定義された円錐内に出ていく。問題は、目標面上の照明パターンは固定されてしまうが、このパターンを変化させることが望まれていることである。最近の研究によれば、うまく設計された集中装置が遠くに離れた平面を一定の照明によって照明することができることが示されている。しかし問題は、反射鏡の形状が光源よりもかなり大きく、かつ、目標面を光源に近づけるための方法があまり知られていないということである。

一般的な積分法はコンセントレーションを最大化するための非結像光学素子に適用することができ、任意の光源分布、吸収体形状、そして集中装置タイプに対する方法を強化する。この技術は、集中装置のみならず、照明問題にも適用することができ、近くの目標スクリーン上に一般的な照明パターンを形成する方法を提供する。リーディングエッジアプローチ (leading edge approach) が使用されることから、以前のトレーリングエッジ (trailing edge) 設計法において存在した、光源 185 と反射鏡 180 との間の大きなギャップを完全に消滅させることができる。

図 20 には、一般的な照明装置を設計するために使用される幾何学的配列が示されている。集中装置 50 の設計コンセプトを使えば、あつらえの反射鏡に対して、基本的な微分方程式を次式のように表すことができる。

$$\frac{dR}{d\phi} = R \tan \left(\frac{\phi + \delta(R, \phi) - \theta(R, \phi)}{2} \right) \tag{11}$$

反射鏡 190 上の位置は、極座標 (R,) で与えられる。角度 はこの点におけるあつらえの受け入れ角度である。光源 185 のサイズおよび形状は、座標系の原点 195 に向かうこととなる、最上部における光源 185 の通過接線 (passing tangent) が、(R,) において光源 185 の中心の方向とつくる角度 でパラメトライズされる。式 11 におけるすべてのパラメータは、望ましい照明とともに変化する (R,) を除いては知られている。唯一の拘束は および R が、反射鏡 190 をあつらえる際に の増大とともに増大するということである。

を見つけるためには、目標スクリーン 205 上の対応する位置 200 である X () が見出され、その点にあたるパワーが望ましい照明パターンにフィットすることが要求される。D を光源原点から目標面中心への距離とすると、X (, R,) は次式で与えられる。

$$X = R \cdot \sin + \tan \cdot (R \cdot \cos + D) \tag{12}$$

この設計法に境界条件を適用すると、 に沿った積分に 3 つの領域が存在することが示される。これらは、1) すべての光が照明装置 180 を出ることができるようになるインボリュート (伸開線) を使用することと、2) 目標中心においてパワーを正規化するために反射鏡 190 の部分を設計することと、そして、3) 目標スクリーン 205 に沿って一般的な照明を提供することができるように反射鏡 190 をあつらえること、である。これらの領域が以下に説明される。

1) インボリュート 208 の設計は、リーディングエッジ射線 210 を、光源 185 にちょうど接するように直接後ろに向きに反射するようにさせることにより行われる。図 21 はこの様子を示したものであるが、これによっていかなる光線も光源 185 に逆戻りしないようにして、パワー損失を抑制できる。 = - (R,) が成立する。この部分の積分は X () 0 が成立するまで継続される。

2) 目標面上の一般的な照明パターンには次式が要求される。

$$P(X) = P(0) \cdot f(X) \tag{13}$$

ここで P (X) は点 X において面上にあたるパワーを表し、f (X) はパワーの分布形状を表す。目標中心のパワーが次式を満足するまで、設計には を定義するために X () = 0 が使用される。

10

20

30

40

50

$$P(0) = P_2(X) / f(X), X > 0 \tag{14}$$

ここで、 P_2 は光源185と領域1、2で積分された反射鏡の輪郭からの直接のパワーである。あつらえの基礎となっていることはパワーが $P(X)$ に加わることができるということである。しかし、もし $P_2(X) > P(0) f(X)$ ならば、そのときはその点で過剰なパワーが存在する。領域2の一部分だけを含む設計または全く含まない設計では、過剰パワーの点が存在することがある。光線追跡によって、これらの偏差が受入可能かどうかを決めることができる。 $P(0)$ の値が増大すれば、より大きな非均一性を得ることができるが、パワーの保存からあつらえ可能な X の範囲が制限される。

3) 積分領域1、2からの $P(0)$ を正規化した後、一般的な照明パターンをあつらえを始めることができる。各点 (R, θ) について、 $P(X) = P(0) \cdot f(X)$ となるような θ を見出すことができる。あつらえの後にはいずれかの点にあたる過剰な光は存在することができないので、 $f(X)$ の可変性には限界が存在する。 $Y > X$ となるようなすべての点について、 $f(Y)$ は過剰な照明を回避するために次式を満足しなければならない。

$$f(Y) > P_3(Y) / P(0) \tag{15}$$

ここで反射鏡の輪郭が現在の積分位置にまで延長しているので P_3 は到着パワーである。 $P(X)$ を見出すことはいくらか複雑である。それは一般的に次式で与えられる。

$$P(X) = \int_0^{\theta} \frac{I d\beta \rho^{n(\beta)} \cos\beta}{nd(\beta)} \tag{16}$$

ここで、 I は光源185から放出された単位長さ当たりのパワーを表し、 θ は点 X を離れ光源185へ戻る光線の角度であり、 $d(\theta)$ は光線が光源に到達するための光学的な経路長であり、 $n(\theta)$ は光源に到達するのに必要な反射数であり、 ρ は反射鏡190の反射率であり、 θ_0 は光源の端への角度である。すべてのパラメータは変数 θ を使って見出される。正しいエッジ射線角度を見出すには、式13が満足されるまで θ を変化させる必要がある。目標に近い光源に対して、 $P(X)$ を評価するには、光線の後方追跡とかなりの計算が必要である。

反射鏡のサイズが限界に達するまで照明装置180のあつらえが継続される。照明パターンを理想的に決定するには、反射鏡190が光源185から目標まで延びている必要がある。ほとんどの場合にはこうすることは非現実的であり、容赦ない切り捨てによって、照明の中にテール部分のみが見えることとなる。この設計における最終ポイントにおいて、 $X(\theta_{end})$ を評価することによって、切り捨てによって影響されない目標スクリーン上の領域が与えられる。

遠い目標の照明に関する最も簡単な例は、 $D = R$ に対して、円形シリンダ光源($\theta = \arcsin(r/R)$)と、一定照明($f(X) = 1$)である。多重反射の寄与が無視できる($\rho \sim 1$)と仮定すると、式16は次式のように簡単になる。

$$P(X) = \frac{I[A_s(\theta) + \rho A_r(\theta)] \cos^2 \theta}{4\pi D} \tag{17}$$

ここで、 $A_s(\theta)$ は角度 θ で光源から直接眺められる射影領域であり、 $A_r(\theta)$ は反射によって眺められる射影領域であり、そして $X = D \cdot \tan(\theta)$ 。図22にこの幾何学的配列が示されている。射影領域は次式で与えられる。

$$A_s(\theta) = 2r \tag{18}$$

$$A_r(\theta) = R \cdot \sin(\theta + \theta_0) - r \tag{19}$$

$\theta_0 = \arcsin(r/R)$ を使って $\theta = 0$ まで式11を積分すると、すでにアウトラインが示されたように領域1の中の反射鏡の輪郭が得られる。次のステップは領域2の積分をいつストップさせるかを見出すことである。今過剰な照明が生じたと仮定すると、すなわち $P(0) > P(X)$ 、射影領域に対する以下の条件が与えられる。

$$\frac{d}{d\theta} (A_s(\theta) + A_r(\theta)) \cos^2(\theta) \Big|_{\theta=0} \leq 0 \tag{20}$$

10

20

30

40

50

$\pi/2$ で、この条件は $\theta = 0$ を設定する。この条件が満足されると、 $A_r(0) \sim 1.8 A_s(0)$ となり、遠いスクリーン上の照明パターンのサイズが大きく減少する。
 $\pi/2$ で積分を止めることによって、中心近くのスクリーン上で見られる過剰がほとんどなく範囲が拡張される。領域3における積分によって、 $A(\theta) \cos^2 \theta = A(0)$ となるような θ が見出される。図23には領域2のさまざまな停止ポイントに対する積分曲線が示されている。それらの積分曲線は反射鏡の幅が $10r$ になるように切り捨てられる。図24には各照明装置の性能が示されている。そこに示されているように、 $P(0)$ を低くさせると、スクリーン上により大きい相対的な過剰が引き起こされるが、しかし一定照明の領域が拡張される。これらの形状によって、一定照明のパワーおよび領域をさまざまな要求を満足することができるように変化させることができることが分かる。切り捨てられていない反射鏡に対する最大設計角度はエネルギー保存則から見出すことが可能である。その関係は次式で与えられる。

10

$$I = P(0) \int_{-x_{\max}}^{x_{\max}} dx = 2DP(0) \tan \theta_{\max} \tag{21}$$

領域2が $\theta = \pi/2$ で終わりとなる場合の完全な放射照度に関して、図24において $\theta_{\max} = 47.7^\circ$ が分かる。領域2が完全になくなれば $\theta_{\max} = 70.3^\circ$ となる。切り捨てによって、設計範囲および一定放射照度の最大角度が、 $\theta = \arcsin(R_{\text{end}}/r_{\text{end}})$ にまで減少する。照明範囲は $\tan \theta_{\max}$ に比例するので、この相違によって大きな設計自由度が与えられる。切り捨て量を変化させてもこの値への影響はほとんどない。

20

この新たな照明システム設計は従来の方法よりもかなり一般的化されており、そしてその形状も光源と反射鏡の間のギャップがなく、かなり小型になっている。この方法は (R, θ) を光源185の形状に合う新たな形に適当に変化させることによって、非円形の照明光源分布に対して発展させることができる。

光源と目標面が有限距離だけ離れている場合、目標スクリーンの中心近くのポイントに対する設計によって過剰なパワーが集中装置50にさらに沿ったポイントにあたることのないといった条件が、一般的な照明に対する設計方法に含まれる。もし光源分布が非一様ならば、式16の光源に依存する積分に相対的なパワーの重み付けを付加させることが可能である。あとの残りの技術は同一である。回転対称性のあるシステムに対する3次元的な設計は2次元的な方程式を使用するれば十分である。 $P(X)$ を評価するには、全立体角の上の2重積分が必要になる。

30

以下の非限定的な例によって本発明のさまざまな側面が説明される。

(実施例1)

本例は、 $\theta_1 - \theta_2$ 型集中装置に対する解析解に関するものである。ただしここでは、 $\theta_2 > \theta_1$ である。式5と式7を組み合わせると、 $\pi/2 - \theta_2 < \theta < \theta_1$ に対する $R(\theta)$ に関する方程式が得られ、それは次式で与えられる。

$$\ln\left(\frac{R(\theta)}{L_2}\right) = \int_{\theta_0}^{\theta} d\phi' \tan\left(\phi' + \frac{\theta_2 - \theta_1}{2}\right) \tag{22}$$

θ_1 と θ_2 が一定の場合は、上記方程式は $R(\theta)$ に対する以下のような解析解を与える。

$$R(\theta) = L_2 \frac{\cos\left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{2}\right)}{\cos\left(\theta + \frac{\theta_2 - \theta_1}{2}\right)} \tag{23}$$

40

これは直線であり、その方向は $\theta = \pi/2 - (\theta_2 - \theta_1)/2$ に対応する。

$\pi/2 - \theta_2 < \theta < \theta_1$ のときは、式5と式6は次式を与える。

$$\ln\left(\frac{R(\theta)}{R(\pi/2 - \theta_2)}\right) = \int_{\pi/2 - \theta_2}^{\theta} d\phi' \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi' - \theta_1}{2}\right) \tag{24}$$

積分を評価し、それを簡単にすることによって次式が得られる。

$$R(\phi) = R(\pi/2 - \theta_2) \frac{\cos^2(\frac{\pi}{2} - \frac{\theta_2 + \theta_1}{2})}{\cos^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi - \theta_1}{2})} = R(\pi/2 - \theta_2) \frac{\cos(\theta_1 + \theta_2) - 1}{\sin(\phi - \theta_1) - 1} \quad (25)$$

これは放物線であり、軸の方向は $\phi = \pi/2 + \theta_1$ に対応する。曲線上の終点として $\phi = \pi/2 - \theta_1$ を使用すると理想的な集中装置の高さが決定される。目標の中心にその原点がシフトされた直角座標系において与えられた曲線は $(R(\phi) \cos(\phi - \theta_1) - L_2/2, R(\phi) \sin(\phi - \theta_1))$ で表される。入射開口幅 L_1 は $L_2 \sin(\theta_2) / \sin(\theta_1)$ に等しく、これは理論的な最大量と正確に一致する。

(実施例2)

(2段階集光器)

従来の2次元太陽光集光システムでは、シリンダ形状の円形ミラーが使用されていたので有用性が制限されていた。その理由は、放物線状トラフではコンセントレーションが25から30の値であるのに対して、シリンダ形状の円形ミラーを用いたシステムでは2から3のかなり低い値であるからである。円形ミラーの望ましい対称性によって第一次ミラーを固定することが可能となり、吸収体だけが蝶番式に旋回して太陽を追跡する。しかしながら、この利点はシリンダ形状ミラーの大きな収差によって相殺された。非結像第二次装置を用いることによって、収差により失われるコンセントレーションのいくらかを修復することができ、本例は適当な第二次装置の設計に関するものである。

第二次装置の設計では第二次装置の配置および開口を特定することが要求される。このことにはいかに光線220が円弧225に反射するかについての基礎的な研究も含まれる。図13に示されような、光線がそれに接する包絡線パターン230を同定することが可能である。包絡線パターン230は第二次装置の開口の位置を決めるのに非常に重要である。無限小だけ離れた2つの平行な光線をそれらが第一次装置に反射した後に交差させることによって、その曲線に対する方程式を見出すことが可能である。図13における包絡線に対してパラメトライズされた方程式は直交座標系を使うと次の式で与えられる。

$$X = R \cdot \sin^3 \theta \quad (26)$$

$$Y = -(2/3)R \cdot \cos^3 \theta + R \cdot \cos \theta \quad (27)$$

ここでRは第一次装置の曲率半径であり、 θ は第一次装置(円弧225)で反射する光線220の角度位置と包絡線230上でそれが接する位置を定義する。 θ がほぼゼロのときは光線220は近軸焦点を通過することに注意する。第二次装置の開口をどこに位置させるかを見出すために、各へりは包絡線230に交差することが要求される。ある与えられた第二次装置の幅、 $W = 2X$ 、に対して、最適な旋回レバーアームの長さは $L = -Y$ である。光線220はそれらが接する包絡線230を横切らないので、このレバーアームの長さに対して集光が最大になる。対称軸の各側に包絡関数が存在する。だから、一つの側に接する光線220は反対側の包絡線230を通過する。レバーアームの長さがより短くなれば、反対側の包絡線230を通過するより多くの光線220が失われ、と同時にそれらを補うための光線は集光されない。図13から明らかのように、包絡線230に接する光線220の密度はそれを通過する光線の密度よりもかなり高い。こうして、幅がこれ以上包絡線230に交差することがないほどレバーアームの長さが増大すれば、利得(ゲイン)よりさらに大きな損失を招く結果となる。

ここで、太陽の角度的な広がりや追跡許容差が付加される。追跡角度 θ_{track} は、なんらかの理由で第一次ミラー(円弧225)から離れる光線220の偏差の最大角度として定義される。太陽の角度的な広がり、追跡許容差、そして第一次ミラーの円弧225の非鏡面反射などがここには含まれる。これは包絡関数を θ_{track} だけ回転させて、以前のように交差を要求することによってモデルされる。光線軌跡から、この設計によってレバーアームの長さが最適化されることが分かる。追跡角度 θ_{track} が増大するにしたがって、Lは減少し、その結果、集光損失が生じる。図14はLをW、R、そして θ_{track} の関数として示した図である。ここから、0.04 ~ 0.05の範囲にあるW/Rが最もよく機能し、そして第一次ミラーがよく見られることが見出される。追跡角度 θ_{track} の値が1度

10

20

30

40

50

(18 mradian)の場合に許容差がたいへん広くなり、性能損失がなくなる。このやり方が放物線状トラフと異なる点は、追跡許容差が設計によって設定されるものではなく、入力パラメータであるということである。

システムのスケールは、システム内の熱損失を最小化することができるように、第二次装置を外径150 mmの空気が抜かれたガラス管内に配置することによって選ばれる。ガラス管の中心に開口を置けば、 $W = 143 \text{ mm}$ (5.6) となる。 $R = 3.23 \text{ m}$ (127) と設定すれば、 $L = 1.74 \text{ m}$ が見出される。第一次装置の55度の円弧上に入射するすべての光線が第二次装置の開口上に集光される。これによって第一次装置のコンセントレーションとして21が得られる。次に、第二次装置の開口上の輝度分布が突きとめられ、図15から、たいへん非一様なパターンが見出される。角度偏差のガウス分布が0.5度の標準偏差とともに使用される。この設計において追跡にはなんの偏りもなく、そしてビームの開きの他の原因が相互に関連していないことが仮定される。

収集される必要がある位相空間領域を計算することによって、第二次装置のコンセントレーションへの理論的最大量が2.5より大きいことが見出される。従来技術による55度の受け入れ角度を持ち、反射鏡と吸収体との間にギャップを持たない、空気の抜かれた管の中心に開口を持つ標準的なCPCだけが、切り捨て損失の理由から1.15に集中する。図16にこの集中装置50が図示されている。不足に対する主な理由は、輝度分布においてギャップが存在し、そして最大角度も開口上の位置の関数として変化するからである。円形吸収体に対してこの設計技術を使用すると、反射鏡240に沿った各ポイントにおける受け入れ角度が逆の光線追跡を介して見出される。結果として得られる集中装置50は、1.45のコンセントレーションを与え、これは図17に図示されている。その設計結果についての光線追跡を行うと損失が0.1%にすぎないことが分かるので、ギャップは大きくてもよい。図18では、収集される、第二次装置にあたる輝度分布が示されている。

あつらえ方がいかに収集された位相空間に変化をもたらすかを見るために、ランベルト分布(Lambertian distribution)のどの部分が集められるかを図19は示している。また、各輝度ピンは吸収体にあたる前に経験する反射回数に付随したグレースケールレベルを持つ。吸収体上への直接放射は反射鏡にあらず、それゆえ、調整することができない。この結果、コンセントレーションに20%の損失が生じる。各多重反射領域はギャップ損失領域によって分離される。システムが1回またはゼロ回の反射で入力分布のほとんどを収集するために、大きなギャップは有意な損失を生じさせない。このような場合には、ギャップを可変パラメータのままにしておくことが、コンセントレーションを最大にするための唯一の方法である。吸収体と反射鏡のギャップの条件から開始すると、コンセントレーションは1.25に制限される。

この新たな第二次装置によって、システムに全体的として30.5のコンセントレーションが与えられる。このコンセントレーションは放物線状トラフを使用して得られるものよりも少しだけ高く、そしてシステムは相当により大きな追跡許容差を有する。第一次ミラーではなく、第二次装置だけを太陽を追跡するために枢軸の周りを旋回(ピボット)させる必要がある。

(実施例3)

(シリンダ形状光源からの一定照明)

照明設計に関する従来の方法では、反射鏡のサイズは光源よりもかなり大きい。問題の一部は、いくつかの光源の直径の、ギャップを必要とするトレーリングエッジ(trailing edge)設計法を使用する際に必要とされる大きなギャップにある。ギャップがないと、エッジ射線の追跡は存在できず、そのために適切な設計ができない。図25は照明設計への異なったアプローチである、リーディングエッジ(leading edge)およびトレーリングエッジアプローチを示した図である。トレーリングエッジに基づくCEC型設計の方法は、目標スクリーン205の反対側へ照明することによって機能する。一方、リーディングエッジに基づくCHC型設計の方法は、目標スクリーン205の同一側へ照明することによって機能する。リーディングエッジを用いる利点は、機能するために、ギャップが必要ではな

10

20

30

40

50

いということである。

円の幾何学と遠く離れた目標スクリーン 205 とを使用すると、図 22 に示されたような設計の幾何学的配置が得られる。この符号は従来の非結像集中装置 50 のものと反対であることに注意する。これによって次式で表される基本設計が得られる。

$$\frac{dR}{d\phi} = R \tan\left(\frac{\phi + \delta(R) - \theta(R, \phi)}{2}\right) \quad (28)$$

ここで r はシリンダ形状の光源 185 の半径であり、 $\theta = \arcsin(r/R)$ 、そして反射鏡の輪郭の中心は光源の中心にある。この設計には興味のある 3 つの領域が存在する。1) インボリュート (伸開線) は、光源 185 からのすべての光が照明装置システムによって放出されることを要求する。2) この領域は、中心におけるパワー分布を一定に近くなるように、または一定の照明が目標スクリーン 205 上で実現されるようにあつらえる。3) あつらえは中心以外のポイントで始まる。

$D = R$ となる遠く離れた目標に対して、積分の第 1 の領域は単純である。図 21 に示された幾何学的配置に対応する θ が見出される。 $\theta = 0$ を使って、 $\theta = 0$ になるまで積分する。インボリュート (伸開線) を見出すための通常の方法はここでも使用することができる。

第 2 の領域は目標スクリーン 205 の中心におけるパワーを適切に正規化する。現行の反射鏡に対してさまざまな角度から見られる光源の射影領域を使って、あつらえによって一定照明が可能になるように、すべての θ に対する条件 $P(\theta) > P(0)$ が満足されることが要求される。式 17 から式 19 を使用すると、 $P(\theta)$ が次の式になることが見出される。

$$P(\theta) = I \frac{(2r + \rho(R \sin(\phi + \theta) - r)) \cos^2 \theta}{4\pi D} \quad (29)$$

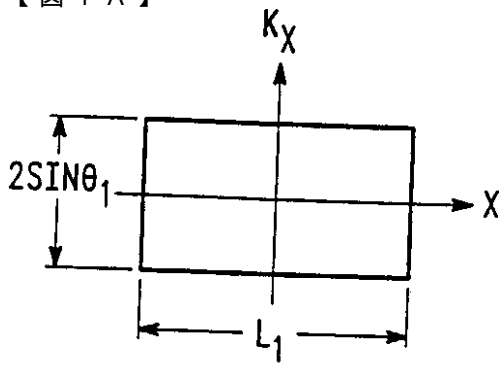
満足すべき条件は $P(\theta) = P(0)$ である。この条件によって、 $\theta_2 = \theta_1/2$ における $\theta = 0$ が積分の停止ポイントになる。このポイント以前に停止すれば $P(0)$ がより低くなり、目標スクリーン 205 上のさまざまなポイントで過剰照明が生じる。これが生じる理由は、あつらえによってパワーが目標スクリーン 205 上のスポットに付加されるからである。しかし、ある与えられたポイント上にあたるパワーを減少させるために為すことができることはなにもない。

第 3 の領域は $P(\theta) = P(0)$ を満足する θ を見出すことによってあつらえられる。反射鏡 190 が設定サイズ条件に合致するまで、この領域における積分は継続される。この設計が正しく機能することをチェックするために必要なことは $d\theta/dR = 0$ と $dR/d\theta = 0$ である。

図 24 にはさまざまな照明装置が示されている。これらは領域 2 におけるさまざまな θ_2 のカットオフに対する輪郭を示している。形状は、反射鏡の幅が光源の直径の 5 倍になるように切り捨てられる。図 23 はこれらの照明装置の、離れたスクリーン上での性能を示した図である。 θ_2 が $\theta_1/2$ に近い場合、より高い照明が得られるが、しかしビームの開きはより小さくなる。 θ_2 が減少すれば照明パターンの広がりはより大きくなるが、しかし非一様性から最大 10% までのいくらかの偏差が存在する。

本発明の好ましい実施形態が示され、かつ記述されてきたが、当業者にとって、以下に述べる本発明の請求の範囲によって記述されるより広い側面の中で、さまざまな改変および修正が本発明を離れることなくなされ得ることは明らかであろう。

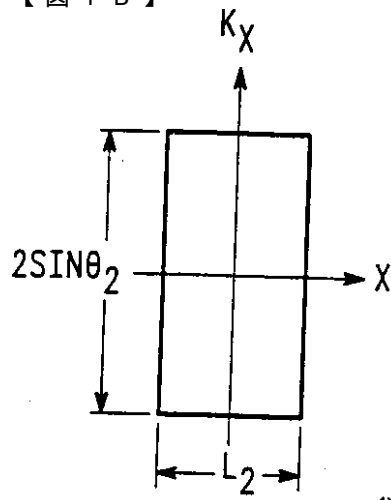
【 図 1 A 】



-従来技術-

Fig. 1A

【 図 1 B 】



-従来技術-

Fig. 1B

【 図 2 】

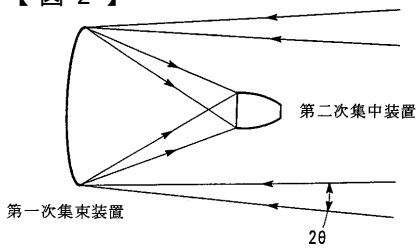


Fig. 2
-従来技術-

【 図 3 A 】

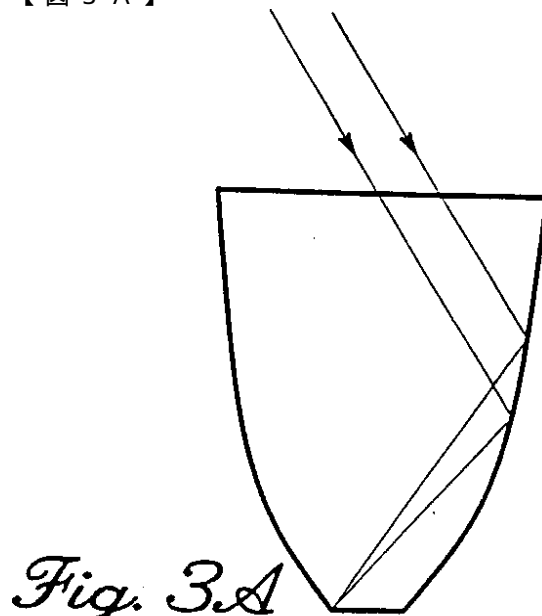


Fig. 3A

-従来技術-

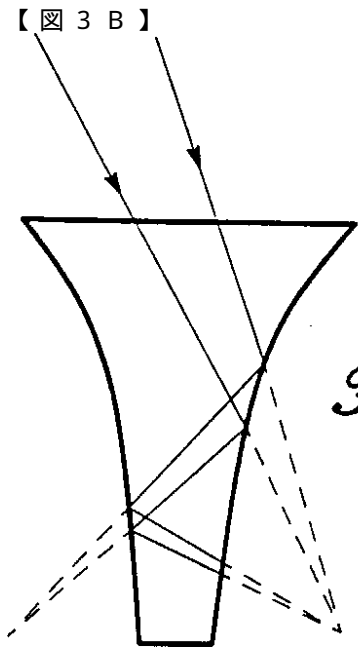
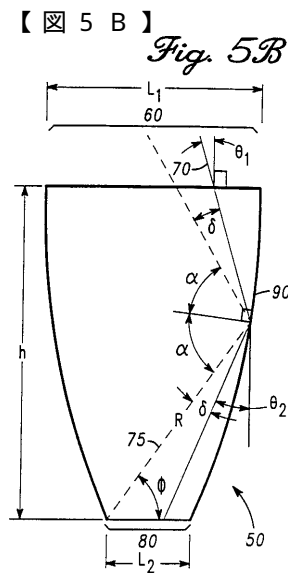
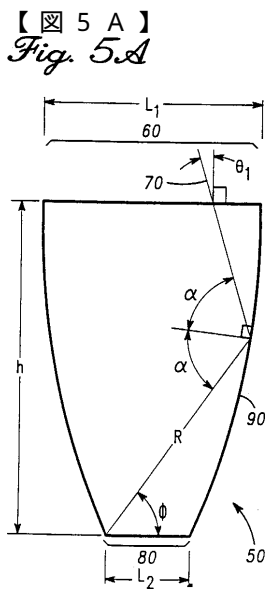
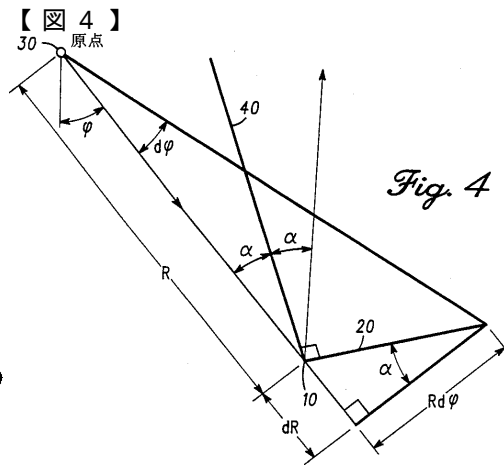


Fig. 3B

-従来技術-



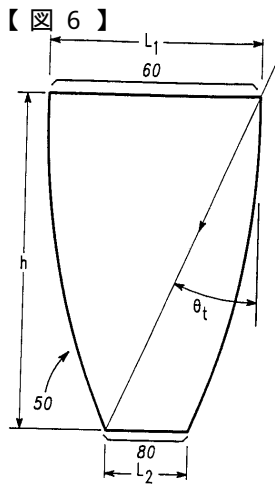


Fig. 6

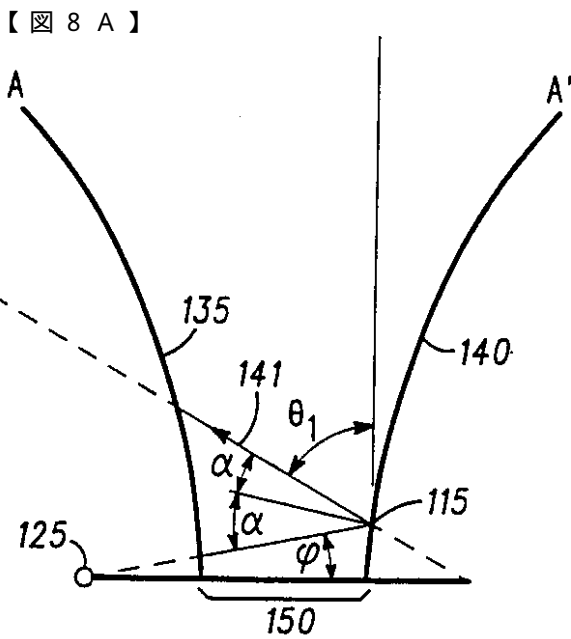
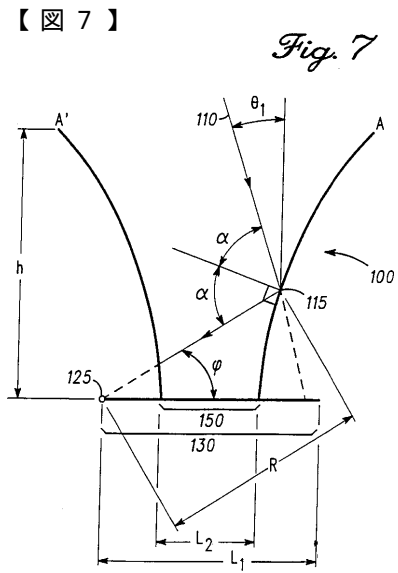


Fig. 8A

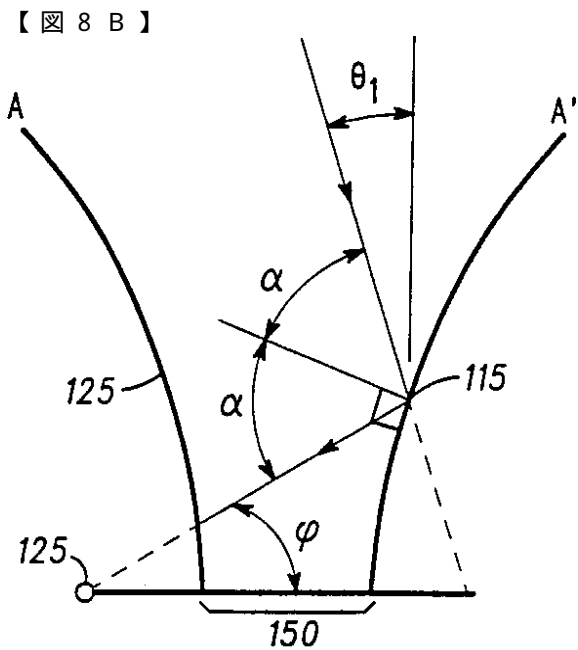
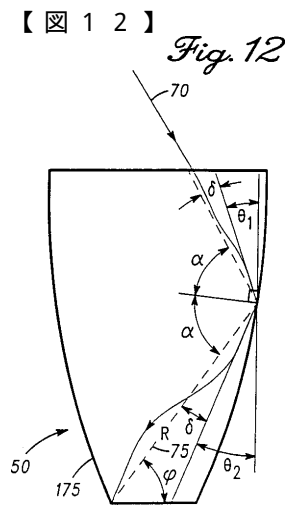
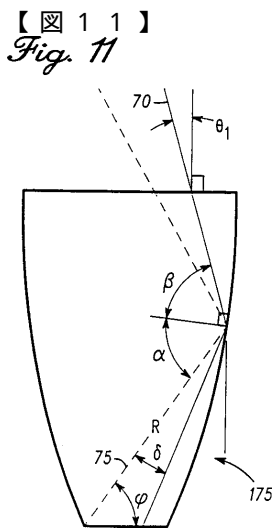
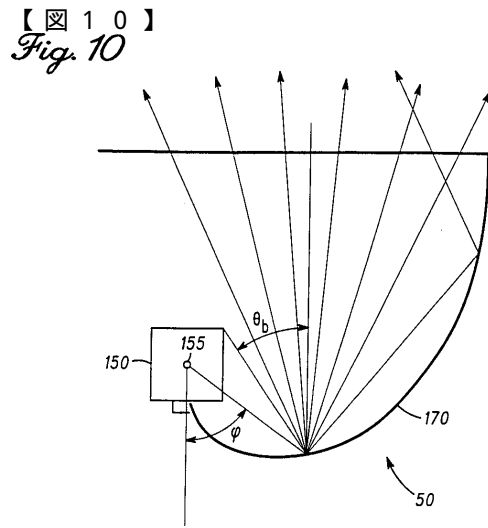
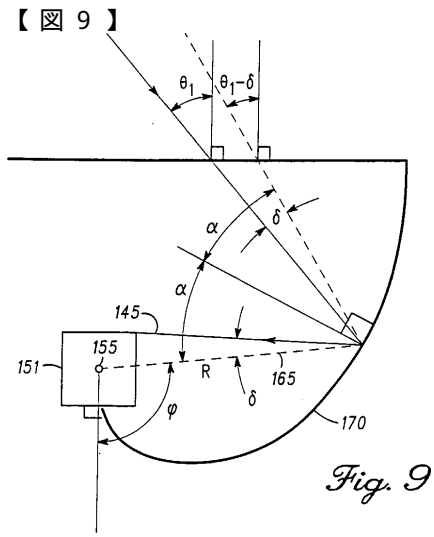
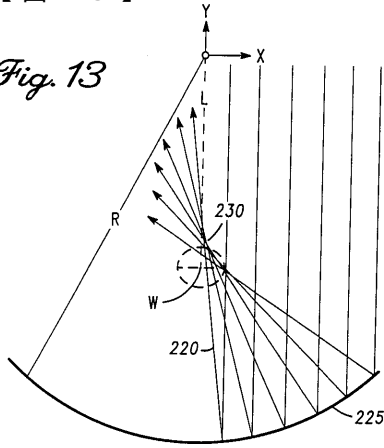


Fig. 8B



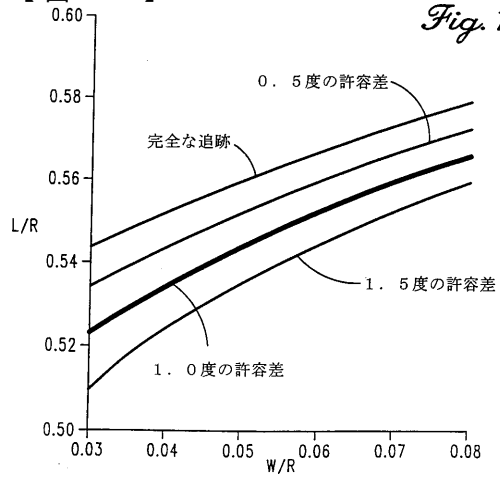
【 図 1 3 】

Fig. 13

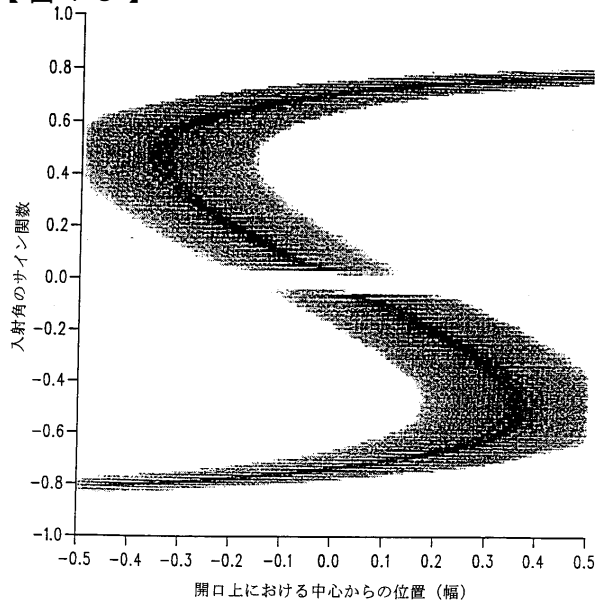


【 図 1 4 】

Fig. 14



【 図 1 5 】

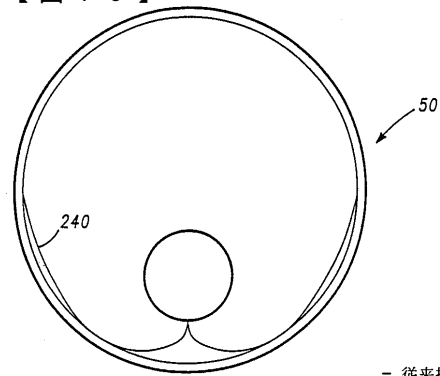


グレースケール



Fig. 15

【 図 1 6 】



- 従来技術 -

Fig. 16

【 図 1 7 】

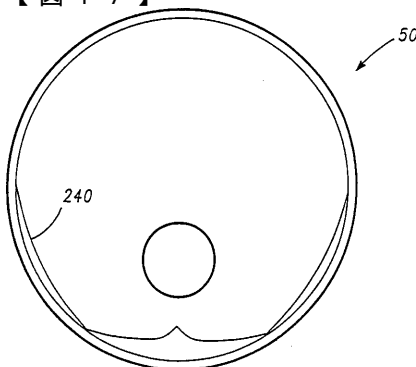


Fig. 17

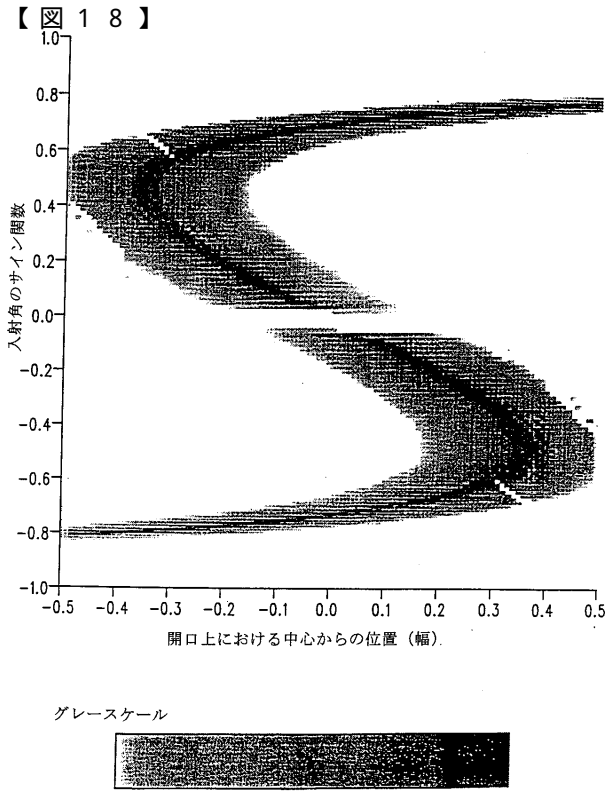


Fig. 18

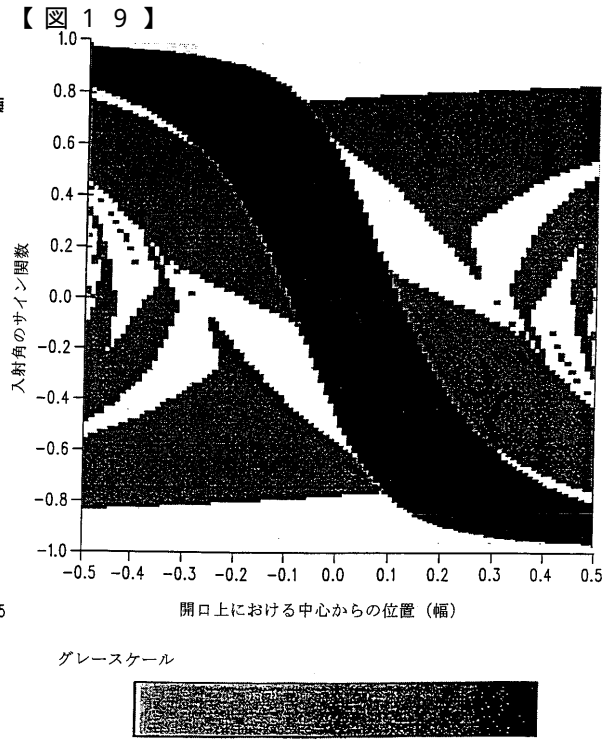


Fig. 19

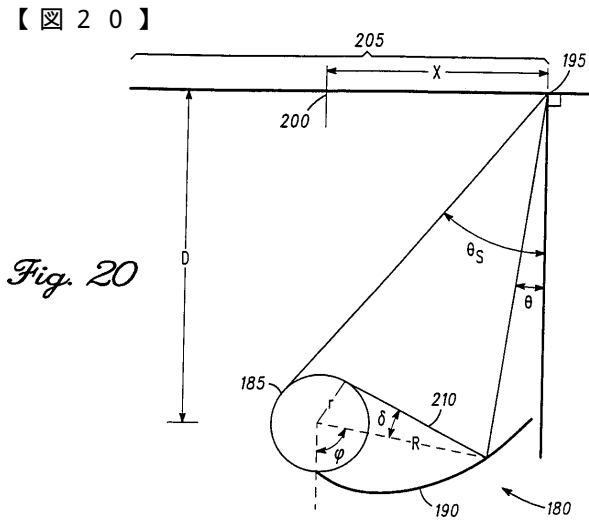


Fig. 20

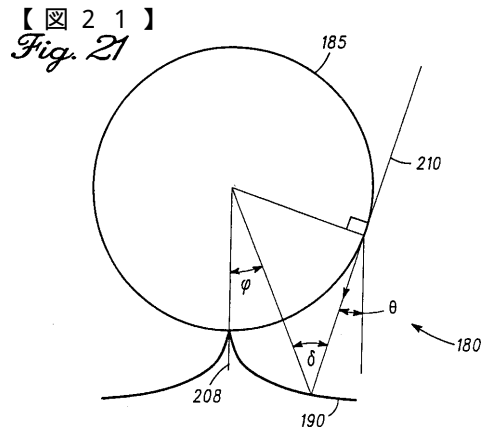


Fig. 21

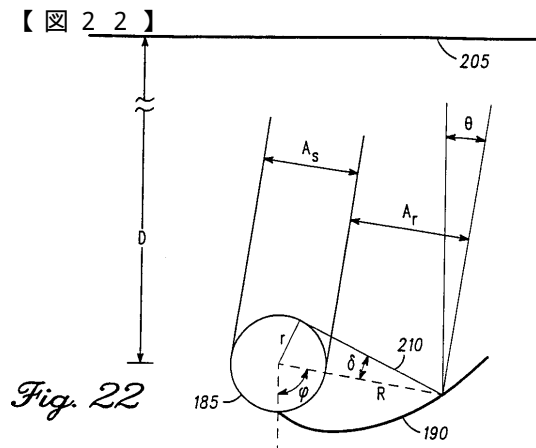
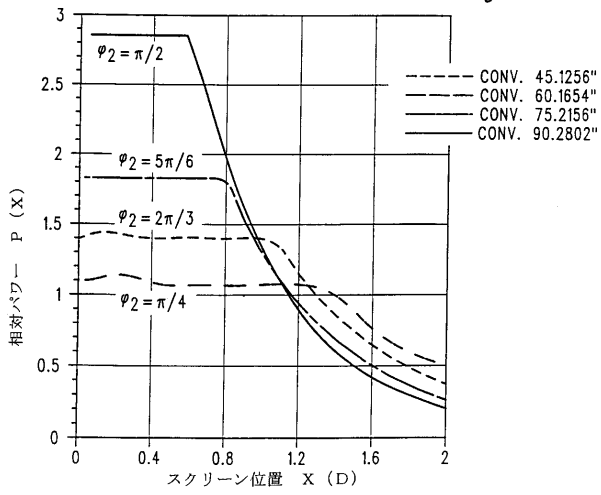
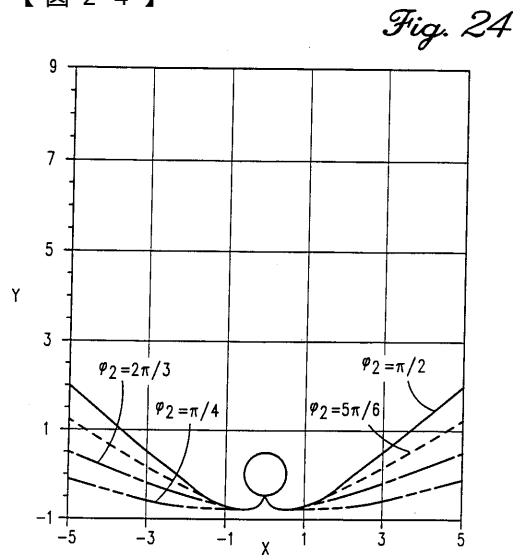


Fig. 22

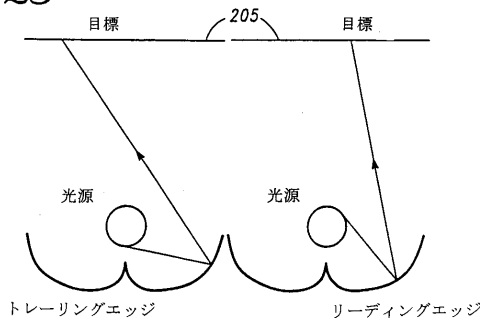
【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



【 図 2 5 】
Fig. 25



フロントページの続き

- (72)発明者 ウィンストン, ローランド
アメリカ合衆国、60615 イリノイ、シカゴ、サウス・ユニヴァーシティ・アヴェニュー 5
217シー
- (72)発明者 ジェンキンス, デイヴィッド・ジェラルド
アメリカ合衆国、60637 イリノイ、シカゴ、サウス・ドレクセル・アヴェニュー 6022
、#602

審査官 吉野 公夫

- (56)参考文献 特開昭50-115047(JP, A)
特開昭58-184141(JP, A)
特開昭61-213835(JP, A)
特開昭52-057525(JP, A)
実開昭55-181251(JP, U)
米国特許第03923381(US, A)
米国特許第03899672(US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G02B 5/10
G02B 17/00
G03B 27/54