

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5635404号
(P5635404)

(45) 発行日 平成26年12月3日(2014. 12. 3)

(24) 登録日 平成26年10月24日(2014. 10. 24)

(51) Int. Cl.

F 1

G O 2 B 15/14 (2006. 01)

G O 2 B 15/14

G O 2 B 13/18 (2006. 01)

G O 2 B 13/18

請求項の数 7 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2010-528925 (P2010-528925)	(73) 特許権者	510098065
(86) (22) 出願日	平成20年9月19日 (2008. 9. 19)		ブラックアイ オプティクス, エルエルシー
(65) 公表番号	特表2010-541024 (P2010-541024A)		アメリカ合衆国 ワシントン 98245
(43) 公表日	平成22年12月24日 (2010. 12. 24)		イーストサウンド スペイデン アイランド ビー. オー. ボックス 1389
(86) 国際出願番号	PCT/US2008/077086	(74) 代理人	100096873
(87) 国際公開番号	W02009/048725		弁理士 金井 廣泰
(87) 国際公開日	平成21年4月16日 (2009. 4. 16)	(74) 代理人	100123098
審査請求日	平成23年9月20日 (2011. 9. 20)		弁理士 今堀 克彦
(31) 優先権主張番号	60/978, 338	(72) 発明者	ジャーナード, ジェイムス エイチ.
(32) 優先日	平成19年10月8日 (2007. 10. 8)		アメリカ合衆国 ネバダ 89135 ラ
(33) 優先権主張国	米国 (US)		ス ベガス ワイルド リッジ 15
前置審査			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 液体光学ズームレンズ及び撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ズームレンズ系であって、

軸方向に可動な、負の度数を有するズームレンズ群と、

少なくとも1つの液体レンズセルを含む軸方向に固定されたレンズ群であって、該少なくとも1つの液体レンズセルは、第1及び第2の接触液体を含み、該接触液体間の接触光学表面は、可変な形状を有する、軸方向に固定されたレンズ群と、

軸方向に固定された、正の度数を有する対物レンズ群と、

前記接触光学表面の形状と前記ズームレンズ群の軸方向の位置を制御するように構成された電子回路系を有する制御モジュールと、を備え、

前記軸方向に可動なズームレンズ群、前記ズームレンズ群及び前記軸方向に固定されたレンズ群は、共通の光軸上に並べられ、中間像を形成することなく前記ズームレンズ系の物体側空間から発せられる放射を集めて該放射を像側空間に送るように配置構成され、液体レンズセルは、前記軸方向に可動なズームレンズ群と前記像側空間との間に前記共通の光軸上に配置され、

ルックアップテーブルは、前記制御モジュールが前記ズームレンズ群が倍率変化の大半を提供するとともに、前記軸方向に固定されたレンズ群がピンぼけに対する補償の大半を提供し、像面の位置を一定に維持しつつズームを提供するように、焦点設定に対応する第1のインデックス値とズーム設定に対応する第2のインデックス値を前記制御モジュールに提供して、前記接触光学表面の前記形状と前記ズームレンズ群の前記軸方向の位置を電

10

20

子的に制御する、
ズームレンズ系。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のズームレンズ系であって、
前記ルックアップテーブル内のインデックスは、熱的効果に関連した変数に対応する、
ズームレンズ系。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のズームレンズ系であって、更に、
軸方向に固定された可調整アイリスを備えるズームレンズ系。

【請求項 4】

請求項 1 に記載のズームレンズ系であって、
前記物体側空間は、実物体又は虚物体のいずれかを含む、ズームレンズ系。

【請求項 5】

請求項 1 に記載のズームレンズ系であって、
前記像側空間は、実物像又は虚像のいずれかを含む、ズームレンズ系。

【請求項 6】

請求項 1 に記載のズームレンズ系であって、
前記ズームレンズ系は、2 倍より大きいズーム比を有する、ズームレンズ系。

【請求項 7】

請求項 1 に記載のズームレンズ系であって、
前記ズームレンズ系は、3 倍より大きいズーム比を有する、ズームレンズ系。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

本発明は、液体光学を用いる光学ズームレンズ系に関する。

< 背景技術 >

【0002】

撮像応用は、従来より、ズーム及び異なる焦点距離を提供するために、2 つ又は 3 つ以上の可動ズームレンズ群を使用してきた。また、ピント合わせ用に、更なるレンズ群が必要なこともある。

【0003】

しかしながら、移動レンズ群を伴うズーム及びフォーカスレンズ系の使用には、それに関連して固有な不利な点がある。特に、移動ズームレンズ群を有することは、機械的に移動する複雑な部分が必要とされることを意味する。各可動レンズ群は、カムやモータなどの支持機構及び駆動機構を、そして場合によっては動きを円滑にするために制御エレクトロニクスを必要とする。このレンズ系の複雑性は、サイズ、重量、及びコストを増加させ、時間の経過とともにレンズ系の動作を信頼性のないものにする可能性がある。これらの不利な点は、焦点距離の範囲に限られる、焦点距離範囲全体にわたって適切にピント合わせを行うことができない、近い物体に対してピント合わせを行うことができない、焦点距離範囲全体及び合焦距離全体にわたる適切な光学性能が欠如しているなどの、望ましくない制限とともに、少なくとも 2 つの移動ズームレンズ群を有するこれまで市販されてきたズームレンズに存在している。より機械的に単純で尚且つ高性能なズームレンズ系が必要とされている。

< 発明の概要 >

【0004】

ズームレンズは、像として見える物体の倍率を調整するために、移動レンズ群を使用する。レンズボディは、レンズ群の動きに適応できるように、十分な大きさでなければならない。移動レンズ群の 1 つ又は 2 つ以上は、可変な表面形状を有する液体レンズセルで置き換えることができる。

【0005】

10

20

30

40

50

一実施形態では、ズームレンズ系は、軸方向に可動なズームレンズ群と、少なくとも1つの液体レンズセルを含む軸方向に固定された後方レンズ群とを有する。別の実施形態では、ズームレンズは、少なくとも1つの液体レンズセルを含む軸方向に固定されたレンズ群と、軸方向に可動な後方レンズ群とを有する。液体レンズセルは、第1及び第2の接触液体を有し、接触液体間の接触光学表面は、可変な形状を有する。ズームレンズ群及び軸方向に固定されたレンズ群は、共通の光軸上に並べられ、物体空間から発せられる放射を集めてその放射を軸方向に固定された像空間に実像として送るように配置構成される。ズームレンズは、また、軸方向に固定された対物レンズ群も有してよく、対物レンズ群、ズームレンズ群、及び軸方向に固定された液体セルレンズ群は、共通の光軸上に並べられる。後方レンズ群は、可調整アイリスを含んでよい。ズームレンズ群の軸方向調整及び接触液体間の形状の変化は、ズーム及びピント合わせを提供する。

10

【0006】

接触液体間の接触光学表面の形状は、電子的に制御されてよい。接触光学表面の形状の電子的制御には、ルックアップテーブルが使用されてよい。ルックアップテーブル内のインデックスの1つは、焦点設定に対応してよい。ルックアップテーブル内の別のインデックスは、ズーム設定に対応してよい。ルックアップテーブル内の更に別のインデックスは、熱値に対応してよい。接触液体間の接触光学表面の形状及びズームレンズ群の軸方向調整は、あわせて制御されてよい。

【0007】

一実施形態において、ズームレンズ系は、可動レンズ群と、液体セルレンズ群とを含む。可動レンズ群及び液体セルレンズ群は、共通の光軸上に並べられてよい。可動レンズ群及び液体セルレンズ群は、ズーム及びピント合わせを実現するために、あわせて制御される。ズームは、(i)液体セルレンズ群、(ii)可動レンズ群、又は(iii)液体セルレンズ群及び可動レンズ群のうち、少なくとも1つを制御することによって達成されてよい。同様に、ピント合わせは、(i)液体セルレンズ群、(ii)可動レンズ群、又は(iii)液体セルレンズ群及び可動レンズ群のうち、少なくとも1つを制御することによって達成されてよい。

20

【0008】

一実施形態において、カメラシステムは、可動レンズ群及び液体セルレンズ群を有するズームレンズと、ズームレンズ系の合焦場所に配置された像取り込み素子とを含む。像取り込み素子は、CCDなどの電子取り込みデバイスであってよく、又はフィルムであってよい。

30

【0009】

一実施形態において、レンズをズームする方法は、光軸に沿ってレンズ群を移動させるステップと、光軸に沿って並べられた液体レンズセル群内の接触表面の形状を変化させるステップとを含む。接触表面の形状を変化させることは、ピント合わせを提供する。

【0010】

一実施形態において、液体光学は、近距離から無限遠までの物体距離において、約7.5倍のズーム焦点距離範囲を可能にする。対物ズームレンズ系は、物体空間からの放射を集めてその放射をレンズのすぐ後ろに位置する像面において結像させる。

40

【0011】

一実施形態において、液体光学を用いる対物ズームレンズ系は、およそ5.9mmから45.0mmまでの焦点距離ズーム領域を有する。この実施形態は、妥当に長い焦点距離を有する妥当に広角のレンズを提供しつつ尚も妥当な距離において妥当な口径のレンズを維持するものとして選択された。また、光の要求量が少ないゆえに光感受性が高い電荷結合素子(CCD: Charged-Coupled Device)及び相補型金属酸化膜半導体(CMOS: Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)検出器に使用されるものとして、 $F/2.8$ から $F/4.0$ までの絞りが許容される。

【0012】

恩恵は、1つの可動ズームレンズ群及び1つ又は2つ以上の液体レンズセルだけでズーム

50

ムが提供され、機械的複雑性、サイズ、及び重量が低減されることにある。また、より長期間にわたって使用された場合の信頼性を向上させることも可能である。

【0013】

ズームレンズ群の軸方向位置の調整及び1つ又は2つ以上の液体レンズセルの液体間の表面形状の変化によって、ズームが提供される。ズームレンズ群の軸方向調整又は液体レンズセル内の形状の変化(又はそれらの両方)は、ピント合わせと、もし補償されなければ画質の低下をもたらす恐れがある像のピンぼけ及び収差の変動などの温度によって誘起される効果に対する補償とを提供する。

【0014】

本明細書において説明される実施形態が本発明の説明目的であること、及び本発明の範

10

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】カメラのブロック図である。

【図2】液体を用いるズームレンズ系の光学図である。

【図3A】図2のズームレンズ系の液体セルの光学図であり、液体間の表面形状を示している。

【図3B】図2のズームレンズ系の液体セルの光学図であり、液体間の表面形状を示している。

【図4A】図1のズームレンズ系の光学図であり、異なる焦点距離及び合焦距離を作るための異なるズームレンズ群位置及び液体間表面形状を例示している。

20

【図4B】図1のズームレンズ系の光学図であり、異なる焦点距離及び合焦距離を作るための異なるズームレンズ群位置及び液体間表面形状を例示している。

【図4C】図1のズームレンズ系の光学図であり、異なる焦点距離及び合焦距離を作るための異なるズームレンズ群位置及び液体間表面形状を例示している。

【図5A】図4A、図4B、及び図4Cのズームレンズ系の変調伝達関数性能図である。

【図5B】図4A、図4B、及び図4Cのズームレンズ系の変調伝達関数性能図である。

【図5C】図4A、図4B、及び図4Cのズームレンズ系の変調伝達関数性能図である。

【0016】

< 発明を実施するための形態 >

30

好ましい実施形態の以下の説明では、その一部を構成する添付の図面が参照され、図には、本発明が実施され得る具体的な実施形態が例として示されている。その他の実施形態が用いられてよいこと、及び本発明の範囲から逸脱することなく構造的な変更が加えられてよいことが、理解されるべきである。

【0017】

図1は、ズームレンズ102を伴うカメラ100のブロック図を例示している。ズームレンズは、焦点距離を変化させる能力を備えたレンズ素子の集合体である。個々のレンズ素子は、適所に固定されてよく、又はレンズボディに沿って軸方向に滑動してよい。レンズ群は、1つ又は2つ以上のレンズ素子で構成されてよい。個々のレンズ素子は、ガラス材料、プラスチック材料、結晶質材料、若しくは半導体材料などの、固相材料で構成されてよく、又は水もしくは油などの、液体材料若しくは気体材料を使用して構成されてよい。少なくとも1つの可動レンズ群が、物体の倍率の変化を提供する。少なくとも1つのレンズ群が、倍率を達成するために移動するにつれ、焦点面の位置もまた、移動するであろう。焦点面の位置を一定に維持するために、少なくとも1つのその他の可動レンズ群が、焦点面の移動を補償するように移動されてよい。焦点面の移動に対する補償は、レンズの倍率の変化とともにレンズの集合体全体を移動させることによって、機械的に実現されてもよい。

40

【0018】

ズームレンズは、ズーム機能及びピント合わせ機能を実現するために、3つ又は4つ以上の移動レンズ群を有することが多い。ズームを実施するために、機械的カムによって2

50

つの可動レンズ群がリンクされてよく、ピント合わせには、第3の可動レンズ群が使用されてよい。

【0019】

ズーム範囲は、一部には、可動レンズ素子の移動範囲によって決定される。ズーム範囲が広いほど、レンズ素子の移動のために更なる空間が必要となる。可動レンズ群の1つ又は2つ以上は、液体セル技術を採用入れたレンズ群に置き換えられてよい。液体セルは、軸方向移動のための空間を必要としないので、可動レンズ群を含むレンズ設計の長さは、短くされてよい。あるいは、可動レンズ群の軸方向移動のために使用されてきたであろう空間を、更なる光学素子を含ませるために使用することができる。液体セルは、移動のための空間を必要としないが、可動レンズ群の一部であってよい。

10

【0020】

液体セルは、ズーム及びピント合わせの両方に使用されてよい。一実施形態では、液体セル技術を採用入れたレンズ群とともに、可動レンズ群が使用される。可動レンズ群が1つである場合は、機械的カムは必要とされない。カムがないことは、更なる移動を可能にする。

【0021】

ズーム及びピント合わせを実現するために、1つ又は2つ以上の液体セルとともに、1つ又は2つ以上の可動レンズ群が使用される。1つの可動レンズ群及び1つの液体セルによって、ズーム及びピント合わせの両方を実施することができる。一実装形態では、ズーム系は、少なくとも第1及び第2のレンズ群を有する。第1のレンズ群は、比較的高度数であり、第2のレンズ群は、比較的低度数であり、レンズの度数は、レンズの焦点距離の逆数に相当する。第1のレンズ群は、従来のガラスレンズ又はその他の固体レンズを含み、第2のレンズ群は、少なくとも1つの液体レンズを含む。

20

【0022】

液体セルは、レンズを形成するために、2つ又は3つ以上の液体を使用する。レンズの焦点距離は、一部には、液体間の接触の角度、及び液体の屈折率の差によって決定される。度数変化の範囲は、用いられる液体の屈折率の差、及び空間的制約ゆえに液体間の接触表面における曲率半径の範囲が有限であることによって制限される。参照によって本明細書に組み込まれる米国特許出願公開第2006/0126190号は、エレクトロウェッティングを通じた液滴の変形を用いるレンズを開示している。

30

【0023】

現在考えられる液体レンズ系は、少なくとも約0.2の、好ましくは少なくとも約0.3の、そして一部の実施形態では少なくとも約0.4の、屈折率の差を有する。水は、約1.3の屈折率を有し、塩の追加は、屈折率を約1.48に変化させることができる。適切な光学オイルは、少なくとも約1.5の屈折率を有するであろう。たとえ、例えばより高屈折率のオイルなど、より高屈折率の液体、より低屈折率の液体、又はより高屈折率の液体及びより低屈折率の液体を用いる場合でも、度数変化の範囲は、依然として有限である。この有限な度数変化の範囲は、通常、提供できる倍率変化が可動レンズ群よりも小さい。したがって、単純なズームレンズ系では、像面の位置を一定に維持しつつズームを提供するために、倍率変化の大半が1つの可動レンズ群によって提供され、像面におけるピンぼけに対する補償の大半が1つの液体セルによって提供されるようにしてよい。ただし、より多くの可動レンズ群、又は液体セル、又はそれらの両方が用いられてよいことに、留意すべきである。

40

【0024】

可動レンズ群は、正又は負の度数を有することができる。液体セルは、度数が常に正である、度数が常に負である、又は度数が正から負に若しくは負から正に移行するような、一定範囲の可変度数を有することができる。可動レンズ群及び液体セルの適切な配置構成は、ズーム範囲全体にわたって優れた画質を提供しつつ、2倍より大きい、好ましくは3倍より大きい拡張されたズーム比を提供する。この配置構成は、液体セル、可動レンズ群、又はそれらの両方によって更に可能になる度数の変化を用いることによって、ズームだ

50

けでなく、拡張された合焦範囲にわたって異なる物体距離におけるピント合わせを提供してもよい。液体セル、又は可動レンズ群、又はそれらの両方によって提供される、ピント合わせのためのこの更なる度数の変化は、容易に可能である。可動レンズ群が1つである場合は、移動軌道を固定されたカムが必ずしも必要とされないので、可動ズームレンズ群の位置は、ズーム及びピント合わせのために調整することができる。ズーム及びピント合わせのために、可動ズームレンズ群及び液体セルの両方を用いることによって、高性能の撮像が実現される。

【0025】

また、可動ズームレンズ群を、少なくとも1つの液体セルで置き換えることも可能である。これは、光学系の複雑性を増加させ、光透過の減少などのその他の不利な点をもたらす恐れがある。

10

【0026】

図1は、レンズ102内のレンズ群の移動及び動作を制御するレンズ制御モジュール104も例示している。制御モジュール104は、液体レンズセル内の曲率半径を制御する電子回路系を含む。電子回路系は、可動レンズ群の位置も制御してよい。様々な合焦位置及びズーム位置に対応する適切な電子信号レベルを事前に決定し、ルックアップテーブルに配することができる。あるいは、アナログ回路系によって、又は回路系とルックアップテーブルとの組み合わせによって、適切な信号レベルを生成することができる。一実施形態では、適切な電子信号レベルを決定するために、多項式が使用される。多項式に沿った点をルックアップテーブルに保存することができる、又は回路系によって多項式を実行す

20

【0027】

表面21の曲率半径、又は可動レンズ群G2の位置、又はそれらの両方を制御するにあたり、熱的效果も考慮されてよい。多項式又はルックアップテーブルは、熱的效果に関連した更なる変数を含んでいてよい。

【0028】

制御モジュール104は、特定のズーム設定又は焦点距離に対する事前制御を含んでいてよい。これらの設定は、ユーザ又はカメラのメーカーによって保存されてよい。

【0029】

図1は、更に、外部物体に対応する光学像を受信する像取り込みモジュール106を例示している。像は、光軸に沿ってレンズ102を通して像取り込みモジュール106に送られる。像取り込みモジュール106は、フィルム（例えばフィルムストック若しくは静止画フィルム）、又は電子的像検出技術（例えばCCDアレイ若しくはビデオピックアップ回路）などの、様々なフォーマットを使用してよい。光軸は、直線であってよい、又は折り返しを含んでよい。

30

【0030】

像保存モジュール108は、取り込まれた像を、例えば、オンボードメモリに、又はフィルム若しくはテープに保持する。一実施形態では、保存媒体は、取り外し式（例えばフラッシュメモリ、フィルム容器、又はテープカートリッジ）である。

【0031】

像転送モジュール110は、取り込まれた像を、その他のデバイスに転送する。例えば、像転送モジュール110は、USBポート、IEEE 1394マルチメディア接続、Ethernet（登録商標）ポート、Bluetooth（登録商標）ワイヤレス接続、IEEE 802.11ワイヤレス接続、ビデオコンポーネント接続、又はS-Video接続などの、様々な接続の1つを使用してよい。

40

【0032】

カメラ100は、ビデオカメラ、携帯電話カメラ、デジタル写真用カメラ、又はフィルムカメラなどの、様々な形態で実装されてよい。

【0033】

次に、設計例によって、ズームレンズの一実施形態が説明される。先ず、図2を参照す

50

ると、各レンズ素子は、文字「E」に1から20までの数字を付して特定され、図では、各レンズ素子の一般的構成が示されているが、各レンズ表面の実際の半径は、以下において、テーブル1に定められている。レンズ、物体、絞り又はアイリス、及び像表面は、1から36までの数字によって特定される。3つのレンズ群は、図2において、文字「G」に1から3までの数字を付して特定され、液体レンズセルは、文字「LC」によって特定され、19から23までの光学表面を含む。光軸は、図2において、数字50によって特定される。

【0034】

各レンズ素子は、その相対する表面を、別々の、しかしながら連続した表面番号によって特定され、例えば、図2に示されるように、レンズ素子E1は、レンズ表面2、3を有し、レンズ素子E9は、レンズ表面17、18を有し、以下同様である。撮像対象物体の場所は、特にそれが合焦距離に関連するゆえに、光軸50上の縦線及び数字1によって特定され、実像表面は、数字36によって特定される。レンズ表面4、8を除く全てのレンズ表面は、球面又は平面であり、レンズ表面4、8は、球面でも平面でもないが、光軸まわりに回転対称な非球面である。

【0035】

レンズ素子の詳細な特性を説明する前に、ズームレンズ系60について、レンズ群とそれらの軸方向の位置及び移動、並びに液体レンズセルとその接触液体の表面形状の変化が大まかに説明される。

【0036】

各レンズ群の正又は負の度数は、焦点距離の逆数として定義される。結果得られる各レンズ群の光学的度数は、以下の通りである。すなわち、対物レンズ群G1は正であり、ズームレンズ群G2は負であり、後方レンズ群G3は正であって、液体セル内の表面形状の変化に伴って低い正の値から高い正の値まで変化する。図2の上方部分にある双頭の水平矢印は、ズームレンズ群G2が両方の軸方向に可動であることを示している。

【0037】

図2には、レンズ素子のみが物理的に示されているが、レンズケース内又は鏡筒内においてレンズ素子を支えるため及び可動ズームレンズ群を軸方向に移動させるために、機械的なデバイス及びメカニズムが提供されることが、理解されるべきである。また、電子回路系が、液体レンズセル内の可変的に形成された光学表面のプロフィールを変化させることが、理解されるべきである。

【0038】

上述されたズームレンズ系60のレンズの構成データ及び製造データが、以下において、テーブル1に定められている。テーブル1のデータは、摂氏25度（華氏77度）の温度及び標準大気圧（760 mmHg）で与えられる。この明細書全体を通して、測定値は、波長がナノメートル（nm）で表されることを除き、ミリメートル（mm）で表されるものとする。テーブル1において、第1の欄「項目」は、各光学素子、及び対物面や像面などの各場所を、図2において使用されたのと同じ数字又は標識で特定している。第2の欄は、光学素子（レンズ）が所属する「群」を、図2において使用されたのと同じ数字で特定している。第3の欄「表面」は、図2に示された、物体（図2における線「1」及びテーブル1における「物体」）の表面番号、絞り（アイリス）13、並びにレンズの各実表面を挙げたものである。第4の欄「合焦位置」は、ズームレンズ系60における3つの代表的合焦位置（F1、F2、及びF3）を特定しており、より詳しく後ほど説明されるように、第3の欄に列挙された一部の表面の間の距離（間隔）及び第3の欄に挙げられた表面21の曲率半径には変化が生じる。第5の欄「間隔」は、その表面（第3の欄）と次の表面との間の軸方向距離である。例えば、表面S2と表面S3との間の距離は、1.725 mmである。

【0039】

「曲率半径」という見出しを付けられた第6の欄は、各表面について光学表面の曲率半径を挙げたものであり、マイナス符号（-）は、曲率半径の中心が図2で見て表面の左で

10

20

30

40

50

あることを意味し、「無限遠」は、光学的に平坦な表面を意味する。表面 4、8 に対する星印(*)は、これらが、「曲率半径」を底面半径とする非球面であることを示している。非球面の使用は、全体サイズの小型化及び構成の単純化を可能にしつつ、ズームレンズにおける収差の補正を提供する。非球面 4、8 の表面プロフィールについての式及び係数は、以下の方程式に支配される。

【数 1】

$$z = \frac{cy^2}{1 + [1 - (1 + \kappa)c^2 y^2]^{1/2}} + Ay^4 + By^6 + Cy^8 + Dy^{10} + Ey^{12} + Fy^{14}$$

ここで、

c = 表面曲率 ($c = 1/r$ で、 r は曲率半径である) であり、

y = X 軸及び Y 軸から測定された表面の半径方向開口高さであって、

$y = (X^2 + Y^2)^{1/2}$ であり、

= 円錐係数であり、

A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F = それぞれ 4 次、6 次、8 次、10 次、12 次、及び 14 次の変形係数であり、

z = 所定の y 値の場合の表面プロフィールの位置、又は表面の極(すなわち軸方向頂点)から光軸に沿って測定された表面プロフィールの位置である。

表面 4 についての係数は、

= - 0 . 6 3 7 2

$A = 0 . 9 0 3 8 \times 10^{-6}$

$B = 0 . 2 6 5 7 \times 10^{-8}$

$C = - 0 . 1 1 0 5 \times 10^{-10}$

$D = + 0 . 4 3 0 1 \times 10^{-13}$

$E = - 0 . 8 2 3 6 \times 10^{-16}$

$F = 0 . 6 3 6 8 \times 10^{-19}$ である。

表面 8 についての係数は、

= 0 . 0 0 0 0

$A = 0 . 5 8 8 6 \times 10^{-4}$

$B = - 0 . 5 8 9 9 \times 10^{-6}$

$C = 0 . 8 6 3 5 \times 10^{-8}$

$D = - 0 . 5 1 8 9 \times 10^{-10}$

$E = - 0 . 1 1 8 6 \times 10^{-11}$

$F = 0 . 1 6 3 1 \times 10^{-13}$ である。

【0040】

テーブル 1 の第 7 欄から第 9 欄までは、その表面(第 3 の欄)と、図 2 において右隣の次の表面との間の「材料」に関するものであり、「タイプ」欄は、これらの 2 つの表面間にあるのがレンズ(ガラス)であるか、又は何も無い空間(空気)であるか、又は液体レンズ(液体)であるかを示している。ガラスレンズ及び液体レンズは、「コード」欄の光学ガラスによって特定される。便宜上、全てのレンズガラスは、株式会社オハラ(Ohara Corporation)より入手可能なガラスから選択され、「名前」欄には、オハラによる各ガラスタイプの識別番号が挙げられている。ただし、等価な、類似の、又は適切な任意のガラスが使用されてよいことが、理解されるべきである。また、オイルのレンズ液は、カーギル研究所(Cargille Laboratories, Inc.)より入手可能な液体から選択され、水は、様々なソースより手近に入手可能である。ただし、等価な、類似の、又は適切な任意の液体が使用されてよいことが、理解されるべきである。表面 20 における液体である水は、656.27 nm、589.29 nm、546.07 nm、及び 486.13 nm の波長において、それぞれ 1.331152、1.332987、1.334468、及び 1.337129 の屈折率を有する。表面 21 における液体であるオイルは、656.27 nm、589.29 nm、546.07 nm、及び 486.13 nm の波長において、そ

れぞれ 1.511501、1.515000、1.518002、及び 1.523796 の屈折率を有する。

【0041】

「口径」という見出しを付されたテーブル 1 の最後の欄は、各表面について、光線が通り抜ける最大直径を提供している。絞り表面 13 を除き、全ての最大口径は、全てのズーム位置及び合焦位置において、像面における最大像直径が 6 mm で且つ F 値が $F/2.8$ から $F/4.0$ である場合に 546.1 nm の波長で与えられる。テーブル 1 において、絞り表面 13 の最大口径は、ズーム位置 Z1 及び合焦位置 F1 において、像面における F 値が $F/2.8$ である場合に 546.1 nm の波長で与えられる。像面 36 では、最大口径は、近似値として与えられる。

【0042】

【表 1】

テーブル 1									
光学的规定									
項目	群	表面	合焦位置	間隔	曲率半径 (mm)	タイプ	材料 名称	コード	口径 (mm)
物体		1	F1	無限遠	無限遠	空気			
			F2	1016.2500					
			F3	378.7500					
E1	G1	2	全て	1.7250	59.1716	ガラス	SLAM66	801350	37.161
		3	全て	0.0750	34.5954	空気			35.567
E2	G1	4	全て	6.7565	*33.0488	ガラス	SFPL51	497816	35.618
		5	全て	0.0750	2758.9929	空気			35.182
E3	G1	6	全て	5.8657	32.7151	ガラス	SFPL53	439950	33.680
		7	F1	テーブル 2	-2981.4301	空気			33.034
			F2	テーブル 2					
			F3	テーブル 2					
E4	G2	8	全て	0.7652	*461.6464	ガラス	SLAH64	788474	14.273
		9	全て	3.8333	8.3339	空気			11.605
E5	G2	10	全て	2.6582	-12.6370	ガラス	SFPL53	439950	11.587
E6	G2	11	全て	3.2165	18.1883	ガラス	SLAM66	801350	12.383
		12	F1	テーブル 3	-55.4718	空気			12.337
			F2	テーブル 3					
			F3	テーブル 3					
絞り/ アイリス	G3	13	全て	0.6371	無限遠				6.708
E7	G3	14	全て	5.7168	-26.3844	ガラス	SLAH65	804466	6.757
E8	G3	15	全て	2.6250	9.3177	ガラス	STIH53	847238	8.304
		16	全て	0.8432	-16.3366	空気			8.533
E9	G3	17	全て	2.5647	-9.2859	ガラス	SLAH58	883408	8.508
		18	全て	2.2767	-11.1961	空気			9.665
E10	G3	19	全て	0.4500	無限遠	ガラス	SBSL7	516641	10.151
E11	G3	20	全て	1.5000	無限遠	液体	WATER		10.201
E12	G3	21	F1	1.5000	テーブル 4	液体	OIL	T300	10.367
								04091-AB	
			F2	テーブル 4					
			F3	テーブル 4					
E13	G3	22	全て	0.4500	無限遠	ガラス	SBSL7	516641	10.584
		23	全て	0.0750	無限遠	空気			10.642
E14	G3	24	全て	3.1583	120.2680	ガラス	SLAH65	804466	10.680
E15	G3	25	全て	0.6000	-7.2241	ガラス	STIH10	728285	10.724
		26	全て	0.0750	13.8153	空気			10.634
E16	G3	27	全て	3.0844	13.7118	ガラス	SBSM10	623570	10.696
		28	全て	0.3424	-11.1618	空気			10.713
E17	G3	29	全て	0.6000	-9.5071	ガラス	STIH13	741278	10.652
		30	全て	0.0750	68.8748	空気			11.180
E18	G3	31	全て	1.7063	18.2078	ガラス	SLAL13	694532	11.589
		32	全て	26.6908	-115.6915	空気			11.592
E19	G3	33	全て	3.1085	10.2784	ガラス	SNPH1	808228	9.888
E20	G3	34	全て	2.7193	-9.9003	ガラス	SLAH58	883408	9.581
		35	全て	2.6192	58.0014	空気			7.805
像		36	全て	0.0000	無限遠	空気			6.008

【0043】

ズームレンズ系 60 は、表面 13 に、光線が通り抜けるその地点における開口の直径を制御する光絞りを提供される。光絞りは、物理的なアイリスを配される場所である。アイリスは、後方レンズ群 G3 の前に配され、そのレンズ群に対して軸方向に固定される。なお、図 4A においては、ズームレンズ系が、いかなる視野位置、ズーム位置、及び合焦位置においても光ビームのけられを有することがないように、縁の光線は、光絞り表面 13 の目盛りマークよりも軸側を通り抜ける。ただし、F 値がズーム位置及び合焦位置を通して変化すること、並びにそれに応じてアイリスが開いたり閉じたりすることに留意せよ。合焦位置 F1 の場合、ズーム位置 Z1 ~ Z8 におけるアイリスの直径は、6.71、6.39、5.96、5.53、5.18、4.84、4.63、及び 4.61 である。

これは、13に配されたアイリスが、焦点距離が長くなるほど絞られることを示している。合焦位置F1と比較すると、合焦位置F2及びF3の場合のズーム位置Z1～Z8におけるアイリスの直径は、合焦位置F1の場合と同じF値を維持するために、直径0.3mm未満の少量だけ変化する。

【0044】

テーブル1を参照すると、設計の範囲及び汎用性を示するために、8つの異なるズーム位置Z1、Z2、Z3、Z4、Z5、Z6、Z7、及びZ8と、3つの異なる合焦位置F1、F2、及びF3とがデータとして定められ、これは、実際、可動ズームレンズ群G2及び可変形状光学表面21の24(3×8=24)の異なる位置組み合わせについて、具体的なデータを提供している。

10

【0045】

合焦位置F1において、ズーム位置Z1～Z8の場合のズームレンズ系60の焦点距離は、波長546.1nmにおいて、それぞれ5.89mm、7.50mm、11.25mm、15.00mm、18.75mm、30.00mm、41.25mm、及び45.00mmである。データ位置Z1～Z8の場合の焦点距離に対応するF値は、波長546.1nmにおいて、それぞれ2.80、2.90、3.05、3.25、3.45、3.70、3.95、及び4.00である。

【0046】

合焦位置F1の場合は、対物面1は、無限遠にあると想定され、合焦位置F2の場合は、対物面1は、約1016.25mmの中間距離にあり、合焦位置F3の場合は、対物面1は、約378.75mmの近距離にある(すなわち像面から378.75mm離れている)。これら3つの合焦位置F1、F2、及びF3のそれぞれにおいて、レンズ群G1及びG3は、ズームレンズ群G2の移動範囲全体を通して同じ位置にとどまる。テーブル2及びテーブル3は、表面7及び12の隔離値を提供しており、テーブル4は、ズーム位置Z1～Z8及び合焦位置F1～F3の場合の表面21の曲率半径を提供している。

20

【0047】

【表2】

テーブル2

表面	焦点	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
7	F1	0.0832	5.7132	13.7126	18.4633	21.6974	27.4007	30.5400	31.3096
7	F2	0.0902	5.7486	13.6468	18.3289	21.5154	27.0776	30.0174	30.7361
7	F3	0.0750	5.6942	13.4674	18.1217	21.3355	26.7467	29.5798	30.2701

30

【0048】

【表3】

テーブル3

表面	焦点	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
12	F1	31.5294	25.8992	17.8996	13.1486	9.9140	4.2101	1.0701	0.3000
12	F2	31.5178	25.8581	17.9590	13.2762	10.0892	4.5268	1.5870	0.8729
12	F3	31.5324	25.9120	18.1380	13.4831	10.2689	4.8577	2.0248	1.3384

40

【0049】

【表 4】

テーブル 4

表 焦	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
面 点								
21 F1	-33.9902	-40.9700	-60.9667	-84.8892	-106.7630	-101.7297	-58.3998	-48.6792
21 F2	-34.3890	-42.0587	-65.5384	-101.1799	-154.9184	-370.2777	-263.5374	-212.3139
21 F3	-35.0134	-43.6001	-72.6330	-133.7178	-351.2333	214.4454	125.5481	115.8049

10

【0050】

もちろん、両極の合焦位置 F 1 と F 3 の間において連続的なピント合わせが可能であること、両極のズーム位置 Z 1 と Z 8 との間において連続的なズームが可能であること、そしてレンズ系 6 0 によって、説明された合焦範囲内及びズーム範囲内において連続的なピント合わせと連続的なズームとを任意に組み合わせ提供可能であることが理解される。

【0051】

図 2 に示されテーブル 1 に規定されたズームレンズ系 6 0 は、レンズ群 G 1 及び G 2 について、それぞれ 54 . 30 mm 及び - 12 . 25 mm の焦点距離を有する。また、レンズ群 G 3 は、液体間の光学表面 2 1 の形状が可変であるゆえに、ズーム位置 Z 1 及び合焦位置 F 1 における最小値 + 30 . 18 mm と、ズーム位置 Z 8 及び合焦位置 F 3 における最大値 + 38 . 97 mm とを有する可変焦点距離を有する。ズームレンズ系 6 0 の液体セル LC は、図 3 A 及び図 3 B に図示されており、これらの図は、テーブル 1 をもとに、形状が可変である液体間光学表面 2 1 の 2 つの両極端な曲率半径を示している。図 3 A 及び図 3 B において、表面 2 1 の 2 つの曲率半径は、それぞれ - 33 . 99 mm 及び + 115 . 80 mm である。図 3 A 及び図 3 B において、液体セル LC の 2 つの両極端な焦点距離は、それぞれ - 185 . 20 mm 及び 630 . 97 mm である。この差は、ズーム位置 Z 1 及び合焦位置 F 1 と、ズーム位置 Z 8 及び合焦位置 F 3 とで生じる。この実施形態では、表面 2 0 と 2 1 との間及び表面 2 1 と 2 2 との間の 2 つの液体の体積は、可変表面の形状が変化するにつれて変わっていく。しかしながら、表面 2 0 と 2 1 との間及び表面 2 1 と 2 2 との間の軸方向間隔に、等しいが方向が反対の小さな変化を加えることによって、各液体を一定の体積に維持することも可能である。

20

30

【0052】

次に、図 4 A、図 4 B、及び図 4 C を参照すると、様々な位置にあるズームレンズ群と、様々な位置にある液体セル内可変表面形状とを伴うズームレンズ系 6 0 が、それらの位置における光線の軌跡とともに図示されている。図 4 A は、テーブル 1 にデータを定められた、無限遠焦点及び約 5 . 9 mm の短焦点距離を伴う合焦位置 F 1 及びズーム位置 Z 1 を表している。図 4 B は、テーブル 1 により、中間焦点及び約 11 . 3 mm の焦点距離を伴う合焦位置 F 2 及びズーム位置 Z 3 を表している。図 4 C は、テーブル 1 により、近距離焦点及び約 44 . 8 mm の焦点距離を伴う合焦位置 F 3 及びズーム位置 Z 8 を表している。

40

【0053】

図 4 A、図 4 B、及び図 4 C は、それぞれのズーム位置及び合焦位置である Z 1 及び F 1、Z 3 及び F 2、Z 8 及び F 3 について、ズームレンズ群 G 2 の 3 つの軸方向場所を、対応する 3 つの可変光学表面 2 1 表面形状とともに示している。

【0054】

ズームレンズ系 6 0 の光学性能が、図 5 A、図 5 B、及び図 5 C に与えられており、テーブル 1 に定められた 3 つの異なる代表的組み合わせ例のズーム位置及び合焦位置、すなわち Z 1 及び F 1、Z 3 及び F 2、Z 8 及び F 3 における、5 つの異なる視野位置について、回折ベースの多色変調伝達関数 (「MTF: Modulation Transfer Function」) データ (変調対空間周波数) がパーセント (%) で表示されている。視野位置は、正規化され

50

た像高さ (mm) 及び光軸からの実際の物体空間角度 (度) の両値として定められる。MTF パーセントは、図 5 A、図 5 B、及び図 5 C の右上隅に定められた波長及び重み付けにおけるものであり、像面 36 における接線 (T) 方向及び半径 (R) 方向の測定をグラフ表示されている。なお、接線方向の値及び半径方向の値が軸方向視野位置 (AXIS) では等しいこと、並びにそれゆえに 1 つの線だけで示されていることに留意せよ。示されている最大空間周波数は、90 サイクル/mm であり、これは、約 6 mm の像直径及び検出器画素サイズを選択を前提としたときに、少なくとも高精細度テレビ (HDTV: High Definition Television) の解像度すなわち横 1920 画素 × 縦 1080 画素で高品質の像を提供することができる。空間周波数における MTF は、比較的標準的な光学性能測定であり、「90 サイクル/mm」という値は、鮮明さを判断するもととなるチャート上における 1 mm あたり 90 対の黒線及び白線を意味している。最高 MTF 値は、ズーム位置 Z1 及び合焦位置 F2 の場合の全半径方向視野における約 89% である。最低 MTF 値は、ズーム位置 Z2 及び合焦位置 F3 の場合の全接線方向視野における約 58% である。最小相対照度は、ズーム位置 Z1 及び合焦位置 F1 における約 75% である。相対照度は、値が低いとその写真の隅で光が衰えることを意味するので、総じて高いほど優れている。全ての領域において光に対して一定の応答があり、ズーム中の像の変化に伴って像の隅に忠実に陰影を再現する最先端の検出器では、高い全視野相対照度が好ましいとされる。50% 未満の照度は、電子的検出器において陰影を生じるが、フィルム式の場合は許容可能である可能性がある。最も高い正のゆがみは、ズーム位置 Z3 及び合焦位置 F1 における +3.04% であり、最も低い負のゆがみは、ズーム位置 Z1 及び合焦位置 F3 における -2.98% である。長焦点から短焦点にかけて像のサイズが変化する一般的な (しかしながらズームレンズではもっとよく見られるであろう) いわゆるレンズの「ブリージング」の問題は、深い被写界深度ゆえに最も顕著である短焦点距離のズーム範囲にあるズームレンズ系 60 では事実上見られない。最も低いブリージングは、ズーム位置 Z1 及び合焦位置 F3 における -0.2% であり、最も高いブリージングは、ズーム位置 Z8 及び合焦位置 F3 における -19.5% である。なお、無限遠焦点 (F1) では、それが基準視野であるゆえにブリージングはゼロである。

【0055】

全ての性能データは、摂氏 25 度 (華氏 77 度) の温度、標準大気圧 (760 mmHg)、及びズームレンズ系 60 において可能な全開絞りで与えられる。しかしながら、ズームレンズ系 60 は、摂氏 0 度から摂氏 40 度 (華氏 32 度から華氏 104 度) の温度範囲にわたって実質的に一定の例えば MTF 値などの性能を提供するものであり、もし性能 (MTF) の僅かな低下が許容可能であるならば、動作可能な温度範囲を摂氏 -10 度から摂氏 50 度 (華氏 14 度から華氏 122 度) まで、又はそれを超えて拡張することができる。温度変化に対しては、ズームレンズ群 G2 の更なる軸方向調整によって、又は接触光学表面 21 の更なる形状変化によって、又はそれら両方の組み合わせによって、最適な性能が達成されてよい。これは、全てのズーム位置及び合焦位置において生じえる。摂氏約 0 度 (華氏 32 度) 又はそれ未満の低温では、凍結 (固形化) を回避するために、液体を加熱する、又は低温動作用に車のラジエータの水に不凍剤を加えるのと同様の方法で液体をドープ液で置き換える必要があると考えられる。ただし、これらの材料の温度変化は、液体の光学特性を大幅に変更するべきではないことが好ましい。

【0056】

ズームレンズ系 60 を使用している上述の実施形態は、6 mm の直径 (いわゆる 3 分の 1 インチチップセンサ) での使用に適した寸法であるが、このズームレンズ系の寸法は、様々な像フォーマットのフィルム及び電子的検出器での使用のために、適切に拡大又は縮小されてよい。

【0057】

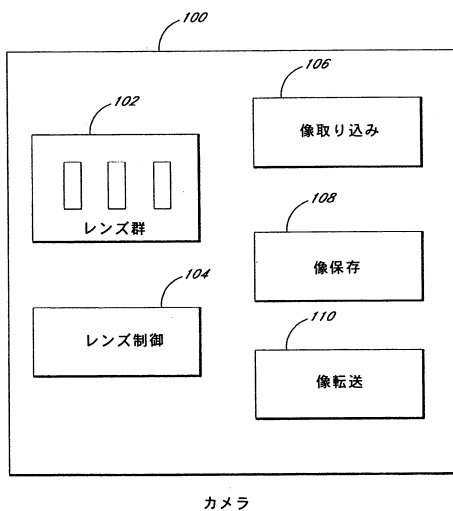
ズームレンズ系 60 の多くの利点のなかで特筆すべきは、軸方向に移動するズームレンズ群を 1 つ用いるだけで、広範囲の焦点距離にわたってズームを提供することにある。ズームレンズ系 60 の設計は、少なくとも 2 つの軸方向可動ズームレンズ群及びそれらに

対応する機構を必要とする大半の従来の高性能ズームレンズ系よりも機械的に単純な高性能なレンズ系を形成する。ズームレンズ系 60 の固有なレンズ設計は、更なる可動レンズ群及びそれに対応する機構を伴うことなく広範囲の合焦距離にわたってピント合わせを提供する。開示されたズームレンズ系 60 の設計は、例示的なものであり、その他の設計も、本発明の範囲内である。当業者ならば、以上の説明及び添付の図面から、ズームレンズ系 60 のその他の特徴及び利点を見てとることができる。

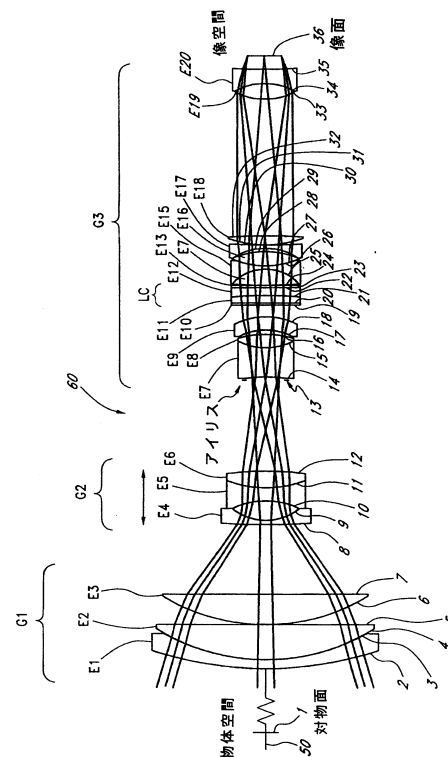
【 0 0 5 8 】

当業者になれば、様々な変更及び修正が明らかになる。このような変更及び修正は、添付の特許請求の範囲に定められた本発明の範囲内に含まれるものとして理解されるべきである。

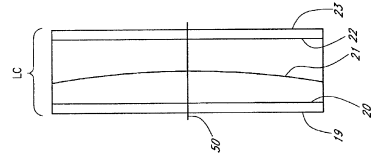
【 図 1 】



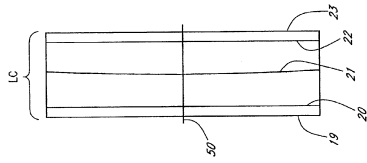
【 図 2 】



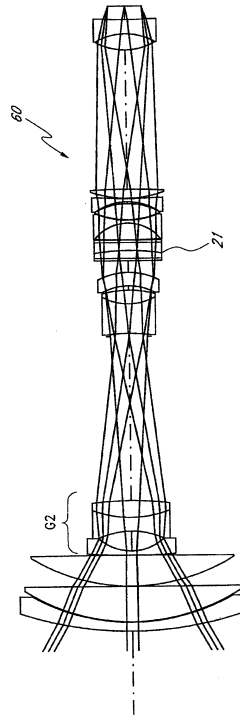
【図 3 A】



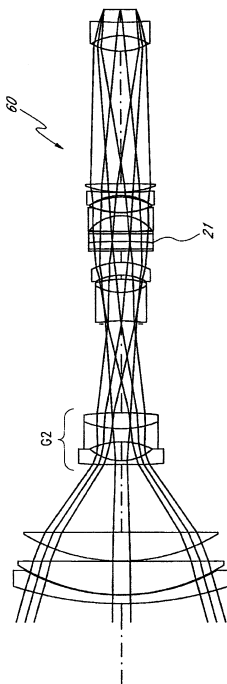
【図 3 B】



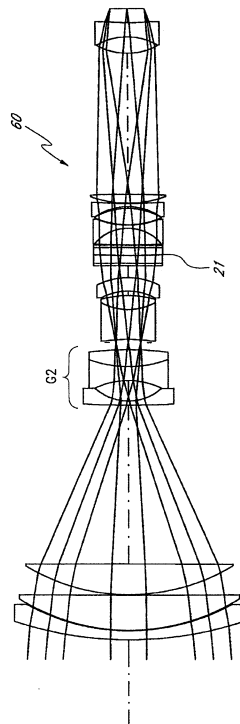
【図 4 A】



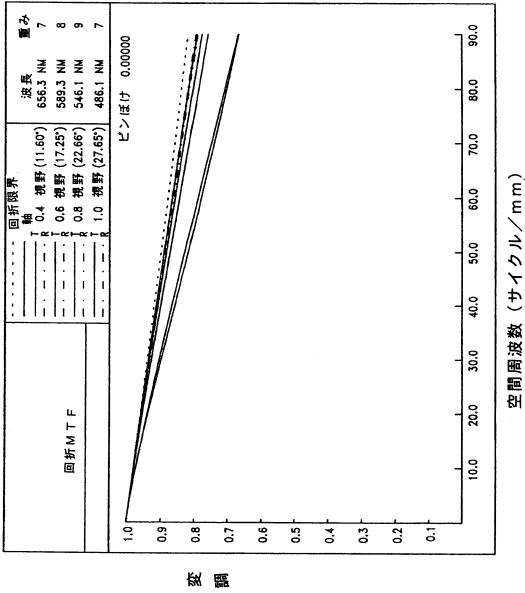
【図 4 B】



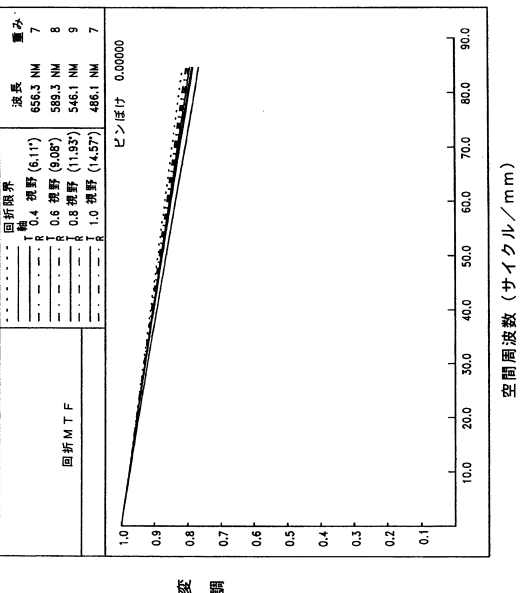
【図 4 C】



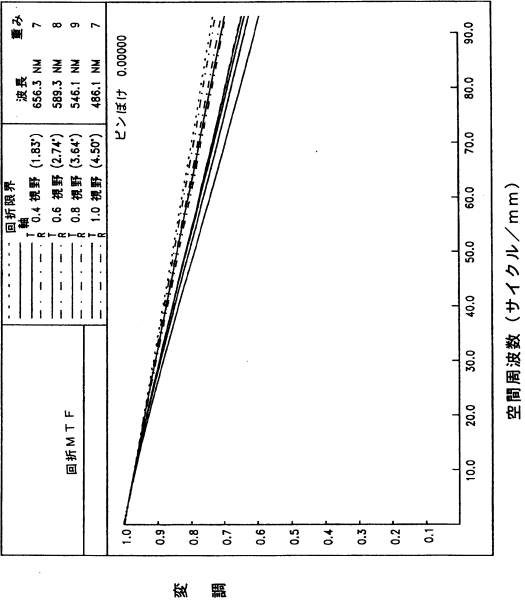
【図 5 A】



【図 5 B】



【図 5 C】



フロントページの続き

(72)発明者 ネイル, イエン エー.

スイス マッサニョ シーエイチ - 6 9 0 0 ヴィア ミラバーレ 2 5 エー

審査官 堀井 康司

(56)参考文献 特開 2 0 0 6 - 0 6 4 9 4 7 (J P , A)

特開 2 0 0 1 - 2 4 9 2 6 1 (J P , A)

特開 2 0 0 7 - 0 9 4 1 7 0 (J P , A)

特開昭 6 3 - 2 0 8 8 1 7 (J P , A)

特開昭 6 0 - 2 5 4 0 1 4 (J P , A)

特開 2 0 0 8 - 1 7 0 8 7 4 (J P , A)

特開平 0 9 - 1 3 8 3 4 5 (J P , A)

特開 2 0 0 4 - 3 1 2 2 3 9 (J P , A)

特開 2 0 0 4 - 3 5 6 1 7 5 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 2 B 1 5 / 1 4

G 0 2 B 1 3 / 1 8