

(19)日本国特許庁 ( J P )

(12) 公開特許公報 ( A )

(11)特許出願公開番号

特開2000 - 237942

( P 2 0 0 0 - 2 3 7 9 4 2 A )

(43)公開日 平成12年 9月 5日 (2000.9.5)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テ-マコード (参考)

B24B 13/00

B24B 13/00

A 3C049

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全11頁)

(21)出願番号

特願平11 - 40899

(22)出願日

平成11年 2月19日 (1999.2.19)

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町 4丁目 1番 8号

(72)発明者 鈴木 浩文

神奈川県横須賀市走水 2 - 26 - J 304

(72)発明者 樋口 俊郎

神奈川県横浜市都筑区荏田東 3 - 4 - 26

(74)代理人 100089635

弁理士 清水 守

Fターム(参考) 3C049 AA03 AA04 AA12 AA16 AB06

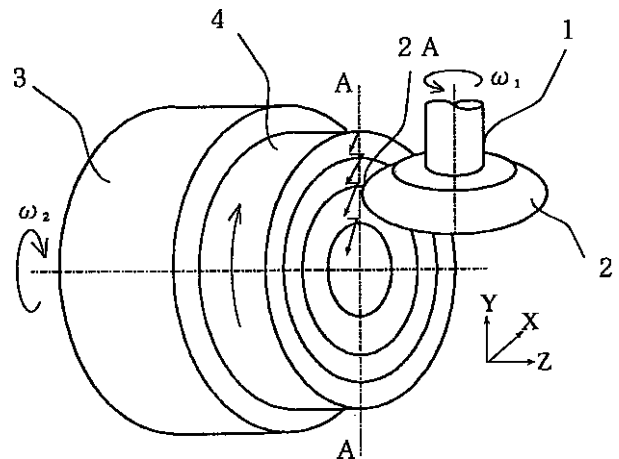
AC04 CA01 CB01

(54)【発明の名称】 研削加工方法及びその装置

(57)【要約】

【課題】 複数の不連続な曲面で構成される軸対称な非球面形状の部品の不連続部分でも、シャープなエッジを精密に加工することができる研削加工方法及びその装置を提供する。

【解決手段】 先端 2 A が尖った軸対称の円盤状の研削砥石 2 と、軸対称の工作物 4 の回転軸に対して前記研削砥石の砥石回転軸が直交し、さらに前記工作物 4 上で接する前記研削砥石 2 の回転方向が工作物 4 の回転方向と平行となるように配置された状態で、前記研削砥石 2 を工作物 4 の半径方向及び回転軸方向に駆動させ、複数の不連続な曲面で構成される軸対称な非球面形状の部品を製造する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 先端が尖った軸対称の円盤状の研削砥石と、軸対称の工作物の回転軸に対して前記研削砥石の砥石回転軸が直交し、さらに前記工作物上で接する前記研削砥石の回転方向が工作物の回転方向と平行となるように配置された状態で、前記研削砥石を工作物の半径方向及び回転軸方向に駆動させ、複数の不連続な曲面で構成される軸対称な非球面形状の部品を製造することを特徴とする研削加工方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の研削加工方法において、前記非球面形状の部品は硬質のフレネル形状の光学部品である研削加工方法。

【請求項 3】 請求項 2 記載の研削加工方法において、前記非球面形状の部品はガラス製マイクロフレネルレンズである研削加工方法。

【請求項 4】 請求項 1 記載の研削加工方法において、前記研削砥石の送り速度を制御可能にする研削加工方法。

【請求項 5】 空気静圧軸受による縦型の研削砥石スピンドルと横型の主軸を備え、分解能 nm オーダーのリニアスケールフィードバックシステムによる 4 軸 ( X , Y , Z , C ) 制御の研削加工装置であって、( a ) 先端がナイフエッジ状に尖った軸対称の円盤状の研削砥石と、( b ) 該研削砥石の砥石回転軸 Y と直交する回転軸 Z を有する軸対称の工作物とを備え、( c ) 前記 Y - Z 軸の同時 2 軸制御手段と、( d ) 研削砥石送り速度制御手段とを具備することを特徴とする研削加工装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、研削加工方法及びその装置に係り、特に、ホログラフィー光学素子等のマイクロフレネルレンズの研削加工方法及びその装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、このような分野の技術としては、以下に示すようなものがあった。

( 1 ) 山崎雄司、中村和人、橋本洋：フレネルレンズの内蔵 LED の開発，精密工学会誌，59，4 ( 1993 ) 123 .

( 2 ) 春原正明，梅谷誠，清水義之，白藤芳則：ホログラム非球面レンズを成形 - DVD・CD 併用可能にした金型技術 - ，日経メカニカル，458，( 1995 ) 40 .

( 3 ) 山形豊，樋口俊郎，上田勝宣，高島譲，大野元治：精密切削によるブレース化された自由曲面回折格子の製作，1996 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，( 1996 ) 533 .

( 4 ) 森田晋也，山形豊，樋口俊郎：ホログラム光学素子の切削条件に関する研究，1997 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，( 1997 ) 21 .

( 5 ) H. Suzuki, S. Koderu, T. Nakasuji, T. Ohta and K. Syoji: Precision Grinding of Spherical CVD-SiC Molding Die, Int. J. JSPE, 32, ( 1998 ) 25 .

( 6 ) 鈴木浩文，小寺直，前川茂樹，森田訓子，桜井英一，田中克敏，武田弘，厨川常元，庄司克雄：マイクロ非球面の超精密研削に関する研究 - 斜軸研削法によるマイクロ非球面の鏡面研削の可能性検証 - ，精密工学会誌，64，4 ( 1998 ) 541 .

近年、ホログラフィー光学素子などのマイクロフレネルレンズのニーズが増大している。このようなフレネルレンズは、その利用目的上多数の不連続な曲面で構成されている微細な型を用いた成形法により量産加工しなければならない。

【0003】図 19 は従来のガラス製フレネルレンズの成形工程の一例を示す図である。

【0004】まず、図 19 ( a ) に示すように、下型 51 と上型 52 間にガラス材料 53 をセットし、図 19 ( b ) に示すように、ガラス材料 53 を加熱するとともに、上型 52 でプレスする。次に、図 19 ( c ) に示すように、上型 52 をアンロードする。

【0005】一方、これまでは型の加工は微小な単結晶ダイヤモンドバイトによる切削加工が中心であり、型材としては、無酸素銅、黄銅、無電解 Ni などの軟質金属に限られていた。その結果、レンズ材質は成形温度が低いプラスチックレンズが中心となっていた。しかし、DVD ( Digital Video Disc ) や CD ( Compact Disc ) 用などのデバイスでは、その性能の向上のため、ガラスレンズ化による光学特性および耐熱強度の向上が不可欠であり、このような微細な形状を有するセラミック型の超精密・微細加工技術の開発が必要である。

【0006】図 20 はかかる従来のセラミック型の研削加工装置を示す斜視図、図 21 はその研削加工装置による研削加工方法の説明図である。

【0007】これらの図において、101 は砥石軸、102 は研削砥石、103 は主軸、104 は工作物 ( フレネル形状の工作物 ) である。

【0008】この図に示すように、軸対称の円盤状の研削砥石 102 を用い、軸対称の工作物 104 上で接する研削砥石 102 の回転方向が工作物 104 の回転方向と直角に配置されている。

【0009】これらの図から明らかなように、これまでの軸対称非球面工作物の研削加工は X , Z 軸の同時 2 軸制御加工機により行われていた。

## 【0010】

【発明が解決しようとする課題】上記した従来の研削加工装置では、不連続な曲面で構成される軸対称な非球面

10

20

30

40

50

形状の光学部品（フレネルレンズ）を研削加工すると、  
 図 2 0 及び図 2 1 に示すように、加工点における工作物  
 1 0 4 の回転方向と研削砥石 1 0 2 の回転方向が直交し  
 ており、研削砥石 1 0 2 の円弧形状が段差部に転写さ  
 れ、鋭利な段差で構成されるフレネル形状の精密加工は  
 困難であるといった問題があった。

【 0 0 1 1 】本発明は、上記問題点を除去し、複数の不  
 連続な曲面で構成される軸対称な非球面形状の部品の不  
 連続部分でも、シャープなエッジを精密に加工すること  
 ができる研削加工方法及びその装置を提供することを目  
 的とする。

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達  
 成するために、

〔 1 〕研削加工方法において、先端が尖った軸対称の円  
 盤状の研削砥石と、軸対称の工作物の回転軸に対して前  
 記研削砥石の砥石回転軸が直交し、さらに前記工作物上  
 で接する前記研削砥石の回転方向が工作物の回転方向と  
 平行となるように配置された状態で、前記研削砥石を工  
 作物の半径方向及び回転軸方向に駆動させ、複数の不連  
 続な曲面で構成される軸対称な非球面形状の部品を製造  
 するようにしたものである。

【 0 0 1 3 〕〔 2 〕上記〔 1 〕記載の研削加工方法にお  
 いて、前記非球面形状の部品は硬質のフレネル形状の光  
 学部品である。

【 0 0 1 4 〕〔 3 〕上記〔 2 〕記載の研削加工方法にお  
 いて、前記非球面形状の部品はガラス製マイクロフレネ  
 ルレンズである。

【 0 0 1 5 〕〔 4 〕上記〔 1 〕記載の研削加工方法にお  
 いて、前記研削砥石の送り速度を制御可能にする。

【 0 0 1 6 〕〔 5 〕空気静圧軸受による縦型の研削砥石

$$\left. \begin{aligned} Y_0 &= Y_w - R \cdot \sin \theta \\ Z_0 &= Z_w - R \cdot (1 - \cos \theta) \end{aligned} \right\}$$

【 0 0 2 4 〕ここで、 $( Y_w , Z_w )$  は工作物の座標、  
 $( Y_0 , Z_0 )$  は研削砥石の刃先円の中心座標であり、  
 $R$  は研削砥石の刃先円の曲率半径、 $\theta$  は加工点における  
 接線方向角である。

【 0 0 2 5 〕本発明の研削方法では、図 1 及び図 2 に示  
 すように、先端 2 A が鋭利な研削砥石 2 でフレネル形状  
 を創成するため、上記式 ( 1 ) において、 $R = 0$  として  
 計算した。

$$F_c = 2 \cdot r \cdot \omega_2 / \omega_1$$

研削砥石送り速度を  $F_v$  ( mm / min ) とすると、工  
 作物 4 の 1 回転あたりに研削砥石 2 が工作物 4 の半径方  
 向に移動する距離  $F_r$  ( mm / rev ) は次式のように

$$F_r = F_v / \omega_2$$

次に、工作物 4 と接触可能領域における作用砥粒数を  
 $N$  , 1 砥粒による平均研削痕の長さを  $l_w$  とすると、工  
 作物 4 上の円周方向における砥粒引掻き痕のピッチ  $P$  は

$$P = F_c \cdot F_r / N \cdot l_w$$

スピンドルと横型の主軸を備え、分解能 nm オーダーの  
 リニアスケールフィードバックシステムによる 4 軸  
 $( X , Y , Z , C )$  制御の研削加工装置であって、先端  
 がナイフエッジ状に尖った軸対称の円盤状の研削砥石  
 と、この研削砥石の砥石回転軸  $Y$  と直交する回転軸  $Z$  を  
 有する軸対称の工作物とを備え、前記  $Y - Z$  軸の同時 2  
 軸制御手段と、研削砥石送り速度制御手段とを具備する  
 ようにしたものである。

【 0 0 1 7 〕

10 【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態につい  
 て詳細に説明する。

【 0 0 1 8 〕図 1 は本発明の実施例を示す研削加工装置  
 の要部斜視図、図 2 はその研削加工装置による研削加工  
 方法の説明図である。

【 0 0 1 9 〕これらの図に示すように、砥石軸 1 を有  
 し、先端 2 A が鋭利なナイフエッジ形状の研削砥石 2 を  
 用い、研削点における工作物 4 の回転方向と研削砥石 2  
 の回転方向が平行関係にあるような砥石軌跡で研削す  
 る。なお、3 は工作物 4 が装着される主軸である。

20 【 0 0 2 0 〕ここで、この実施例では、研削砥石 2 の回  
 転軸である  $Y$  軸 ( 縦軸 ) と、工作物 4 の回転軸である  $Z$   
 軸 ( 横軸 ) の同時 2 軸制御による研削方法を用いた。

【 0 0 2 1 〕以下、詳細に説明する。

【 0 0 2 2 〕( 1 ) 研削砥石の位置決め  
 刃先が円弧形状になった研削砥石による軸対称非球面の  
 切削加工では、次式に示すように、研削砥石の位置決め  
 の基点となる円弧中心の座標を計算し、NC 制御しなが  
 ら加工を行う。

【 0 0 2 3 〕

30 【数 1 〕

$$\dots ( 1 )$$

【 0 0 2 6 〕( 2 ) 送り速度制御  
 図 3 に示すように、軸対称の工作物 4 を回転させながら  
 研削砥石 2 を  $Y$  方向に送る場合、工作物 4 の半径方向位  
 置を  $r$  ( mm )、研削砥石 2 および工作物 4 の回転数を  
 各々  $\omega_1$  ,  $\omega_2$  ( rpm ) とすると、研削砥石 2 の 1 回  
 転当たりの工作物 4 の円周方向の送り量  $F_c$  ( mm / m  
 in ) は次式で表される。

【 0 0 2 7 〕

$$\dots ( 2 )$$

表せる。

【 0 0 2 8 〕

$$\dots ( 3 )$$

次式で表される。

【 0 0 2 9 〕

$$\dots ( 4 )$$

5

6

上記式 ( 2 ) , 式 ( 3 ) , 式 ( 4 ) より次式が得られる。

$$P = 2 \cdot F_v \cdot r / N \cdot l_w \cdot \dots ( 5 )$$

ここで、砥粒切削数 N は、研削砥石表面の作用砥粒密度 ( / mm<sup>2</sup> )、

とすると、次式で表される。

$$N = \cdot A \dots ( 6 )$$

ここで、 は研削砥石の硬度、集中度等により決定され、 と A が加工中は一定とすると、 N も一定となる。

するならば、図 4 より工作物の表面粗さ ( R<sub>y</sub> ) は次式のように表現できる。

【 0 0 3 2 】また、研削砥石の表面に突出した砥粒の刃先の平均頂角を とし、砥粒の形状が転写されると仮定 10

$$R_y = ( P / 2 ) \cot ( / 2 ) \dots ( 7 )$$

上記式 ( 5 ) 及び式 ( 7 ) より次式が得られる。

$$R_y = ( \cdot F_v \cdot r / N \cdot l_w \cdot ) \cot ( / 2 ) \dots ( 8 )$$

すなわち、この式から、従来のように砥石送り速度 F<sub>v</sub> が固定されている場合、工作物 4 の表面粗さは工作物の半径方向位置に比例して悪化することがわかる。そこ

で、本発明の方法では、研削砥石 2 の送り速度 F<sub>v</sub> を次式のように変化させた。

$$F_v ( r ) = k \cdot P \cdot N \cdot l_w \cdot / 2 \cdot r \dots ( 9 )$$

ここで、 k は比例定数である。

方向の長さ L ( r ) は次式のように表される。

【 0 0 3 6 】さらに、図 3 に示すように、研削砥石 2 が 1 回転する間に加工面上において加工点が移動する円周 20

$$L ( r ) = 2 \cdot r \cdot / \dots ( 1 0 )$$

ここで、研削砥石 2 が 1 回転する間の工作物との干渉面積を A ( r ) とすると、その間の工作物 4 の除去量 V

( r ) は次式のようになる。

$$V ( r ) = L ( r ) \cdot A ( r ) \dots ( 1 1 )$$

上記式 ( 1 0 ) 及び式 ( 1 1 ) より次式が得られる。

$$V ( r ) = 2 \cdot r \cdot ( / ) \cdot A ( r ) \dots ( 1 2 )$$

工作物 4 の形状が平面の場合、切込みを とすると、次式の関係が成り立つ。

$$A ( r ) = F_v ( r ) \cdot \dots ( 1 3 )$$

上記式 ( 1 2 ) 及び式 ( 1 3 ) より次式が得られる。 30

$$V ( r ) = 2 \cdot r \cdot ( / ) \cdot F_v ( r ) \cdot \dots ( 1 4 )$$

上記式 ( 9 ) 及び式 ( 1 4 ) より次式が得られる。

$$V ( r ) = k \cdot \cdot P \cdot N \cdot l_w = \text{const} \dots ( 1 5 )$$

すなわち、この場合 V ( r ) が一定となるため、研削抵抗が工作物と研削砥石の干渉体積 ( 除去速度 ) に比例するものと仮定すると、形状精度も向上することを意味する。

ある。

【 0 0 4 3 】なお、半径方向位置 r が小さい場合、 F<sub>v</sub> ( r ) の値は大きくなるが、本発明では、送り量 F<sub>v</sub> ( r ) / が大きくなりすぎないように上限を設けた、ここでは、上限値を 0 . 4 mm / min ( 1 . 3 μ m / rev ) に設定した。

【 0 0 4 6 】研削装置としては、図 5 に示すような、同時 4 軸 ( X , Y , Z , C ) 制御加工機 ( 東芝機械 ( 株 ) 製 U L G 1 0 0 A ( H 3 ) ) を用いた。 Z 軸案内テーブル上に主軸 3 が横向きに取り付けられ、自由曲面の加工が可能である。

【 0 0 4 4 】 ( 3 ) 研削装置および研削システム

図 5 は本発明の実施例を示す研削加工装置の斜視図である。なお、上記した図 1 ~ 図 4 に示したと同様の部分には同じ番号を付してそれらの説明は省略する。

【 0 0 4 7 】ここで、 X , Y , Z 軸テーブルは、 V - V 溝面にニードルを配置した転がり案内であり、位置決めは温度変化による変動を抑えるためにリニア ( ガラス ) スケールフィードバック制御により行い、その位置決め分解能は 1 nm である。 X - Z 軸案内テーブル 1 4 上には、 Y 軸案内テーブル 1 5 が取り付けられ、その Y 軸案内テーブル 1 5 に高速回転の研削スピンドルを設置した。主軸 3 は最大回転数 3 0 0 0 r p m の空気静圧軸受であり、研削スピンドルは最大回転数 4 × 1 0<sup>4</sup> r p m の空気静圧軸受である。

【 0 0 4 5 】この図において、 1 1 は主軸を回転させるモータ、 1 2 は真空チャック、 1 3 はジグ、 1 4 は X - Z 軸案内テーブル、 1 5 は Y 軸案内テーブル、 1 6 は砥石軸 1 を回転させるモータ、 1 7 はクーラントノズルで 50

【 0 0 4 8 】軸対称の工作物 4 はジグ 1 3 を介して真空

チャック 1 2 により主軸 3 に取り付けられた。この際、電気マイクロメータにより計測しながら、± 0 . 5 μ m 以下の同軸度が得られるように調整した。さらに、主軸 3 および砥石軸 1 に設けられたネジ穴にバランス重りを取り付けて、主軸 3 および研削砥石 2 のアンバランスがそれぞれ 0 . 1 μ m および 0 . 0 1 μ m 以下になるように調整した。同装置を用いて、Y 軸（縦軸）と Z 軸の同時 2 軸制御を行いながら試作を行った。なお、X 軸と C 軸は研削砥石 2 の原点調整時のみに用いた。

【 0 0 4 9 】（ 4 ）ダイヤモンドホイール（砥石）およびそのツルレーイング法

本発明の実施例では、図 6 に示すような、研削砥石 2 として円盤状のダイヤモンドホイール（砥石）を用いた。先端 2 A が（例えば、4 5 °）とナイフエッジ状に尖らせ、このホイール先端 2 A により、微小な段差で構成されるフレネル形状を創成する。なお、図 6 において、

L<sub>1</sub> は 7 0 mm、L<sub>2</sub> は 3 mm、L<sub>3</sub> は 3 mm、 L

ツルア 粒径 回転数	レジノイドボンドダイヤモンド砥石 #200 300 rpm
砥石 粒径 回転数	レジノイドボンドダイヤモンド砥石 #1200 2×10 <sup>4</sup> rpm
切り込み	1 μ m
送り速度	10 mm/min
クーラント	ソリューションタイプ

【 0 0 5 4 】ツルア 5 には、ストレート形状の # 2 0 0 のレジノイドボンドダイヤモンドホイールを用いて湿式で行った。ツルア 5 はジグを介して真空チャックにより主軸 3 に取り付け、外周を電気マイクロメータにより測定しながら、1 μ m 以下の同軸度が得られるように調整した。ホイール 2 のエッジ部（先端部）2 A は鋭利に成形され、このエッジ部 2 A で研削を行った。

【 0 0 5 5 】（ 5 ）研削条件

$$Z(Y) = \text{mod} \{ g(Y), b \} \quad \dots (16)$$

ここで、Y は工作物の半径方向の位置、Z は工作物の回転軸方向の位置、g ( Y ) は非球面関数（多項式）、b はフレネルレンズの溝の段差である。

【 0 0 5 8 】また、g ( Y ) は一般の軸対称の非球面多

$$g(Y) = \frac{C_v \cdot Y^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1) \cdot C_v^2 \cdot Y^2}} + \sum_{i=1}^n C_i \cdot Y^i \quad \dots (17)$$

【 0 0 6 0 】ここで、C<sub>v</sub> , K , C<sub>i</sub> ( i = n ) は非球面定数である。

【 0 0 6 1 】また、ここでは、g ( Y ) を約 5 0 mm の近似曲率半径の非球面（有効径：約 4 mm）とし、段差 b = 0 . 0 0 5 mm ( 5 μ m ) に設定した。ガラスブ

4 は 1 0 mm である。研削加工のみで仕上げるために、また、工作物の形状誤差に影響を与える砥石磨耗を極力抑制するために、砥粒径 # 1 2 0 0 と比較的粗粒のレジノイドダイヤモンドホイール 2 B を用いた。2 C はホイールのスチール台座である。

【 0 0 5 0 】図 7 はダイヤモンドホイールのツルレーイングの説明図であり、図 7 ( a ) は砥石側面のツルレーイング概念図、図 7 ( b ) は端砥石面のツルレーイング概念図をそれぞれを示している。

【 0 0 5 1 】ダイヤモンドホイール 2 のツルレーイングは、これらの図に示すように、機上でツルア 5 を主軸 3 に取り付け、ダイヤモンドホイール 2 の下面と上面（4 5 °テーパ部）をトラバースさせて行った。

【 0 0 5 2 】ここで、ツルレーイング条件を表 1 に示す。

【 0 0 5 3 】

【表 1】

型材料としてはガラス成形を行うことを想定し、微粒子超硬合金 WC を用いた。ここでは、始めに平面形状の工作物の研削加工を行い、上記した（ 2 ）〔送り速度制御〕の効果を検討した。最後に、図 8 のフレネル形状の型を試作し、検証を行った。

【 0 0 5 6 】本実施例では、図 8 に示すように、次式で表される軸対称のフレネル形状の型を試作した。

【 0 0 5 7 】

項式関数と同様に次式で表される。

【 0 0 5 9 】

【数 2】

レスを行うことを前提にし、型材に微粒子超硬合金を用いた。

【 0 0 6 2 】研削条件を表 2 に示す。

【 0 0 6 3 】

【表 2】

砥石 粒径 外径 回転数 周速	レジノイドボンドダイヤモンド砥石 #1200 $\phi 70$ mm $2 \times 10^4$ rpm 73 m/s
工作物 回転数	超硬合金 300 rpm
切り込み	2 $\mu$ m
送り速度	0.025 ~ 0.4 mm/min
クーラント	ソリューションタイプ

【0064】仕上げ加工用の研削砥石としては#1200のレジノイドボンドダイヤモンドホイールを用いた。切り込みは2  $\mu$ mとし、送り速度を0.025 ~ 0.4 mm/minと変化させた。

#### 【0065】(6) 平面研削

砥石送り速度制御による表面粗さと形状精度の改善の効果について検証する。以下では、工作物に平面形状の超硬合金を用いた場合の結果を示す。

#### 【0066】(a) 表面粗さ

表2に示した条件で平面研削したときの表面粗さの変化を図9に示す。非接触表面粗さ計(ZYGO社製Max i n N T)を用いて工作物の半径方向位置において測定したものである。評価面積は約180  $\mu$ m  $\times$  160  $\mu$ mであった。横軸は工作物の半径方向の位置で、縦軸はP - V値で最大高さ $R_y$ に相当する。印は砥石送り速度を式(9)により、0.025 ~ 0.4 mm/minと変化させたもの、印は砥石送り速度を0.2  $\mu$ m/minに固定したものである。砥石送り速度を制御することにより、表面粗さが改善され、均一化しているのがわかる。

#### 【0067】(b) 形状精度

先端に2  $\mu$ mのダイヤモンドスタイラスをもつ形状測定機〔松下電器(株)製UA3P〕により、同工作物を測定して得られた形状誤差曲線を図10に示す。上の曲線aが研削砥石の送り速度を一定としたもので、下の曲線bが式(9)により変化させたものである。送り速度が一定の場合、式(14)より工作物の除去量 $V(r)$ は外周部で大きく内周部で小さくなり、その結果、研削抵抗も変動し形状誤差が大きくなっている。一方、送り速度を式(15)に従って制御する場合、 $V(r)$ は外周部と内周部で一定となるため、その結果、研削抵抗が一定化し、形状誤差も小さくなっているものと考えられる。

#### 【0068】(7) フレネル形状の研削実験

本発明の研削方法により、図8のフレネルレンズの成型型の超精密研削を行い、研削加工の可能性検証を行った。表1の条件でダイヤモンドホイールのツルイーグを行った後、表2の条件で図11に示すように研削加工を行った。

#### 【0069】(a) 形状精度

上記実験において、1次加工を行った後に測定した断面形状を図12に示す。形状誤差曲線は、表2の条件で3回切り込みを与えて研削した後に工作物を主軸から取り外し、先端の曲率半径2  $\mu$ m、頂角60°のダイヤモンドスタイラスを備えた接触式形状測定装置〔松下電器(株)製UA3P〕により測定したものである。いずれの段差部においても設計形状通りに約5  $\mu$ mの段差がある。

20

【0070】この結果を基に段差部近傍を除去して計算した目標形状との差、すなわち形状誤差曲線を図13に示す。形状精度は約2.41  $\mu$ m P - Vであった。これは研削砥石の原点位置の誤差によるものである。

【0071】この測定結果を基にダイヤモンドホイールの原点位置をY方向に補正して研削加工を行い、同様の測定方法により得られた結果を図14に示す。約0.11  $\mu$ m P - Vの形状精度が得られている。

30

【0072】また、非接触形状測定装置〔三鷹光器(株)製NH-3〕により測定した3次元形状を図15に示す。比較的鋭利なエッジが得られていることが分かる。

40

【0073】最後に、研削後のフレネル形状の段差部のみを上述の接触式形状測定装置により測定し、拡大して表示した断面曲線を図16に示す。鋭利に見える段差部の横に約25  $\mu$ mの幅の形状誤差領域が存在している。これはダイヤモンドホイール先端が円弧形状になっているためであると考えられる。この形状誤差領域をさらに減少させるためには、ダイヤモンドホイールのツルイーグ法を改善して先端の形状をさらに鋭利にする必要がある。

#### 【0074】(b) 表面粗さ

この研削後の工作物の中心付近において測定した表面粗さを図17に示す。非接触表面粗さ計(ZYGO社製Max i n N T)を用いて工作物の中心付近において測定したものである。評価面積は、約180  $\mu$ m  $\times$  160  $\mu$ mであった。約10 nm  $R_y$ の表面粗さが得られ、高い鏡面性が得られている。

50

【0075】最後に、研削面のノマルスキー顕微鏡写真(図示なし)で見たとおり、表面に非常に微細な砥粒引

っつき痕が見られるが、延性モードの加工面が得られていることがわかる。加工点における研削砥石の回転方向が従来の非球面研削方式では工作物の回転方向に対して直交しているが、本発明の研削方法では工作物の回転方向に対して研削砥石は平行な位置関係にある。そのため表面粗さは従来法に比べ悪化しやすい傾向にあると考えられる。しかし、研削砥石の送り速度を工作物の半径位置に対応して変化させることにより、良好な表面粗さが得られることが明らかとなった。

【0076】以上の結果から、セラミックスなどの硬質ぜい性材料製のフレネル形状の加工において、本発明の研削法が有効であることが明らかとなった。

【0077】(8)結果

上記したように、多数の不連続な曲面で構成されている微細なフレネル形状の研削加工を実現し、ガラス製マイクロフレネルレンズを量産(プレス成形)するのを可能にするため、本発明では以下の特徴をもつ研削システムを開発した。

【0078】(a)空気静圧軸受け方式の縦型の砥石スピンドルと横型の主軸を備え、分解能1nmのリニアスケールフィードバックシステムによる同時4軸(X、Y、Z、C)制御が可能である。

【0079】(b)先端がナイフエッジ状で鋭利な円盤状の研削砥石をY軸(縦軸)とZ軸(横軸)の同時2軸制御しながら駆動することにより、不連続な非球面形状の創成が可能である。

【0080】(c)軸対称の非球面工作物において半径方向の位置に対応した研削砥石の送り速度制御が可能である。

【0081】以上の研削システムにより微粒子超硬合金製フレネル形状の研削を行い、研削加工の可能性について検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

【0082】(1)送り速度を制御した場合、工作物の表面粗さは良好になり、全面において均一化し、形状精度も同様に良好になる。

【0083】(2)超硬合金製フレネル形状の型を試作した結果、約0.1μmの形状精度と約10nm<sub>Ry</sub>の表面粗さが得られ、本発明の研削方法は、フレネル形状の研削に有効である。

【0084】また、図1において、鋭利なナイフエッジ形状の研削砥石を図18のように駆動するようにしてもよい。すなわち、Y、Z軸のみならず、X軸も複合させてもよく、要はフレネル段差部の加工において砥石回転軸と工作物回転軸が平行となるようにすればよい。

【0085】なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

【0086】

【発明の効果】本発明によれば、以下のような効果を奏することができる。

【0087】(A)複数の不連続な曲面で構成される軸対称な非球面形状の部品の不連続部分でも、シャープなエッジを精密に加工することができる。

【0088】(B)送り速度を制御した場合、工作物の表面粗さは良好になり、全面において均一化し、形状精度も同様に良好になる。

【0089】超硬合金製フレネル形状の型を試作した結果、約0.1μmの形状精度と約10nm<sub>Ry</sub>の表面粗さが得られた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例を示す研削加工装置を示す要部斜視図である。

【図2】本発明の実施例を示す研削加工装置を用いた研削加工方法の説明図である。

【図3】本発明の実施例を示す研削加工装置の研削砥石の送り速度制御方法の説明図である。

【図4】本発明の実施例を示す研削加工装置の研削砥石の送り速度と表面粗さプロファイルの関係を示す図である。

【図5】本発明の実施例を示す研削加工装置の斜視図である。

【図6】本発明の実施例を示す研削加工装置の研削砥石の構成図である。

【図7】本発明の実施例を示すダイヤモンドホイールのツルイーイングの説明図である。

【図8】本発明の実施例を示すフレネル形状の型の断面図である。

【図9】本発明の実施例を示す種々の径方向位置における平面状表面の表面粗さを示す図である。

【図10】本発明の実施例を示す種々の径方向位置における平面状表面の表面粗さを示す図である。

【図11】本発明の実施例を示す非球面研削装置の斜視図である。

【図12】本発明の実施例を示す1次加工を行った後のフレネル表面の計測断面を示す図である。

【図13】本発明の実施例を示す1次研削後の偏差プロファイルを示す図である。

【図14】本発明の実施例を示す2次研削後の偏差プロファイルを示す図である。

【図15】本発明の実施例を示すフレネル表面の3次元トポグラフィである。

【図16】本発明の実施例を示すスタイラス装置(接触式形状測定装置)を用いて計測されたフレネルの深さプロファイルである。

【図17】本発明の実施例による研削加工後の表面粗さプロファイルである。

【図18】本発明における他の実施例を示す研削加工装置を示す要部斜視図である。

【図19】従来のガラス製フレネルレンズの成形工程の一例を示す図である。

【図20】従来の研削加工装置を示す斜視図である。

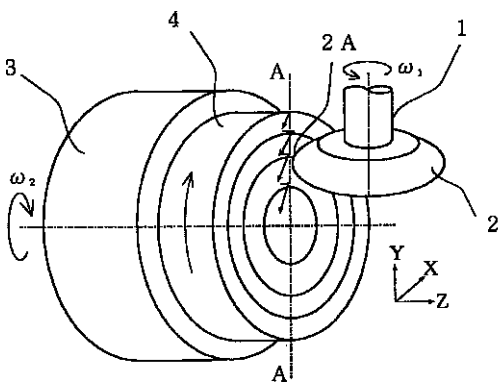
【図21】従来の研削加工装置による研削加工方法の説明図である。

【符号の説明】

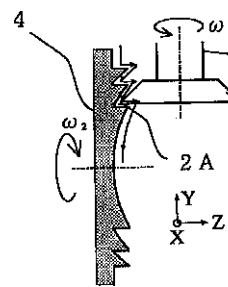
- 1 砥石軸
- 2 鋭利なナイフエッジ形状の研削砥石
- 2 A 先端
- 2 B ダイヤモンドホイール
- 2 C ホイールのスチール製台座

- 3 主轴
- 4 工作物
- 5 ツルア
- 11 主轴を回転させるモータ
- 12 真空チャック
- 13 ジグ
- 14 X-Z軸案内テーブル
- 15 Y軸案内テーブル
- 16 砥石軸を回転させるモータ
- 10 17 クーラントノズル

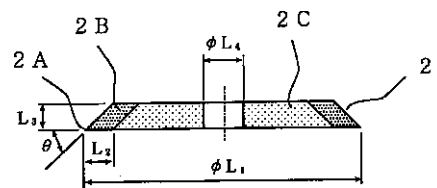
【図1】



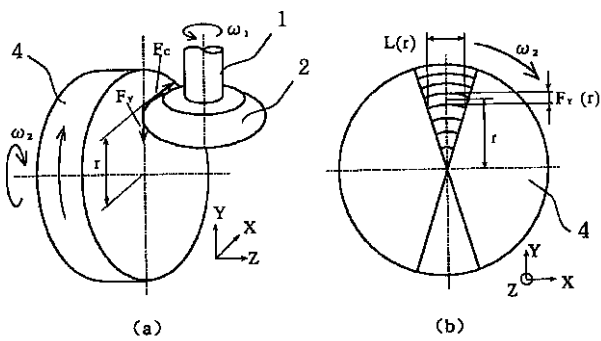
【図2】



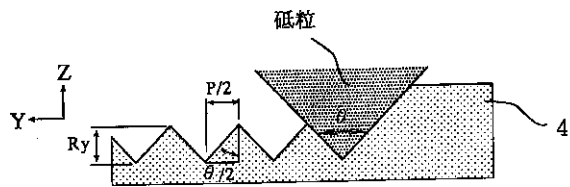
【図6】



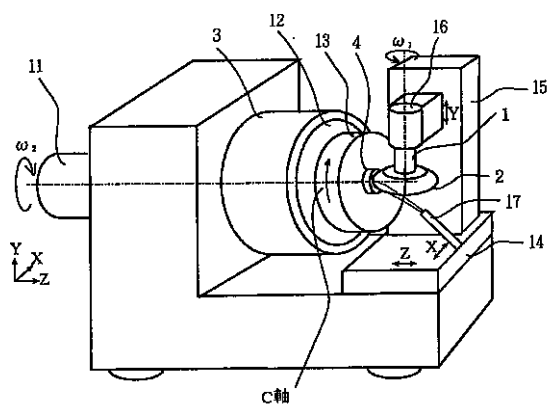
【図3】



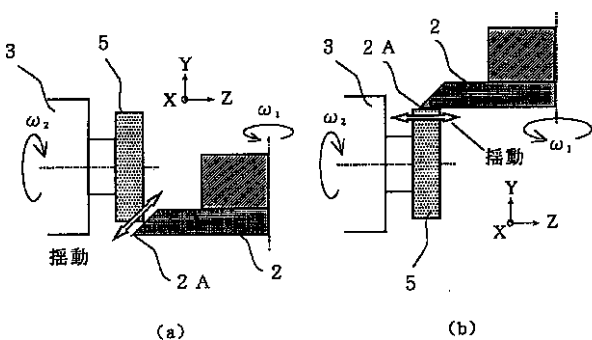
【図4】



【図5】

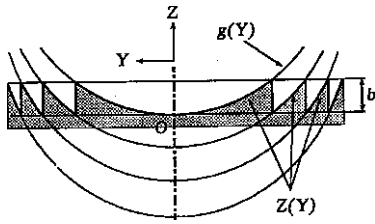


【図7】

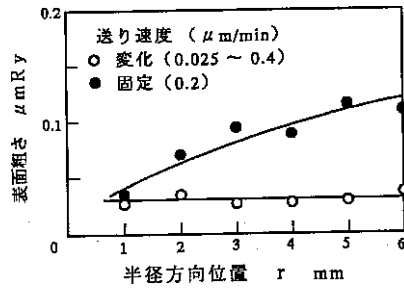




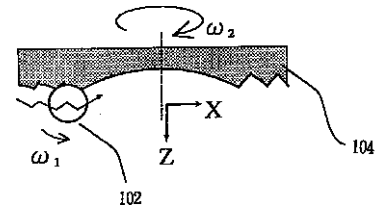
【図 8】



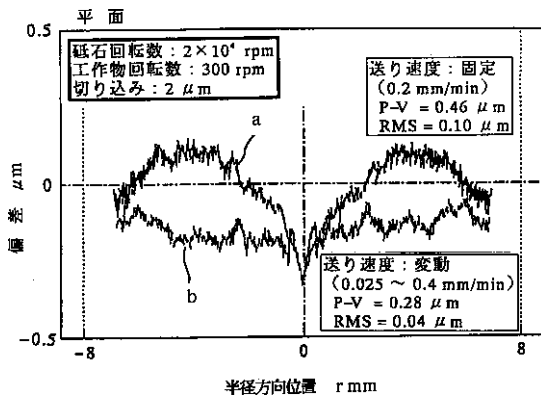
【図 9】



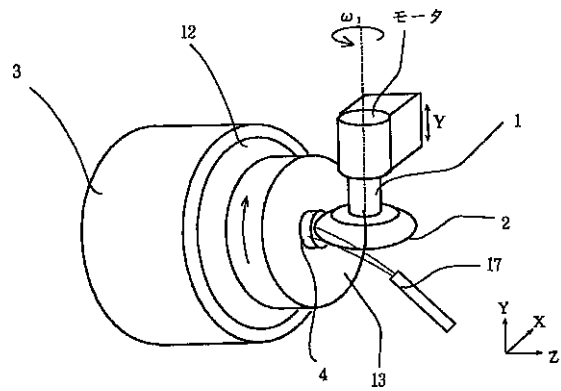
【図 21】



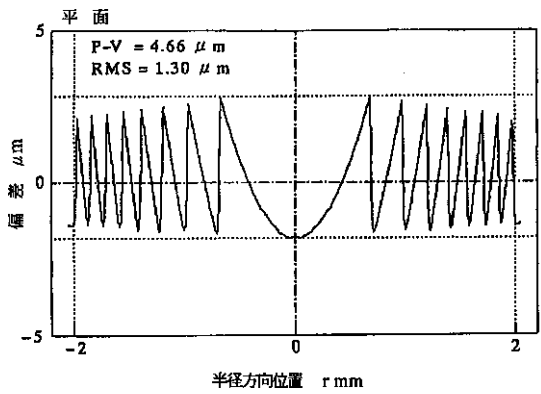
【図 10】



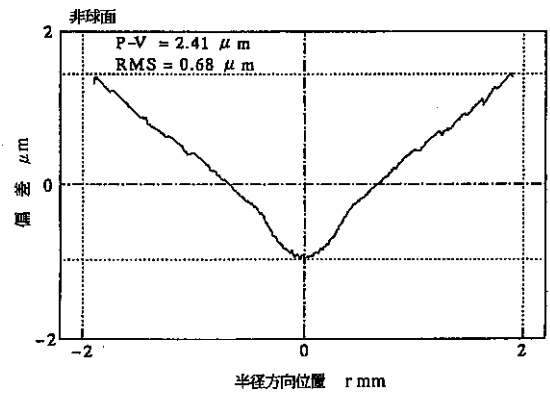
【図 11】



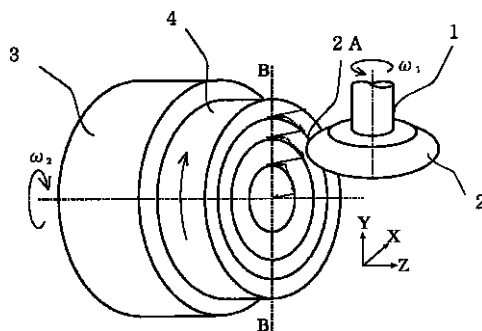
【図 12】



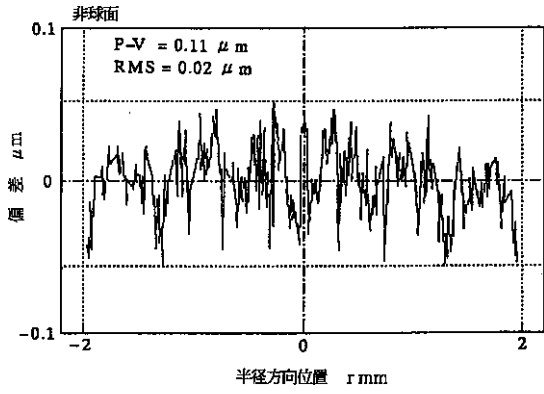
【図 13】



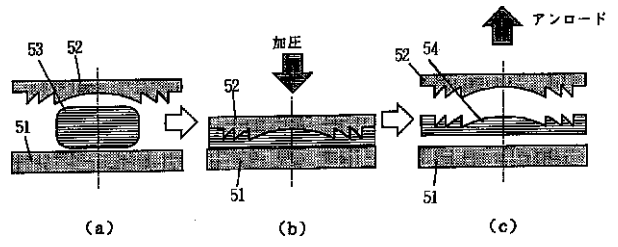
【図 18】



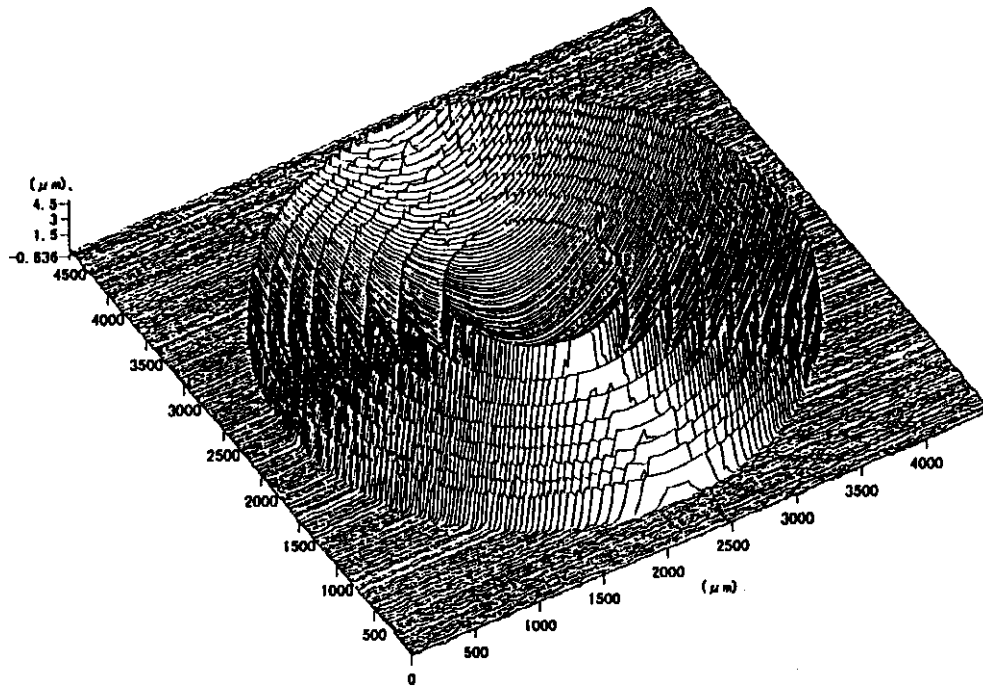
【 図 14 】



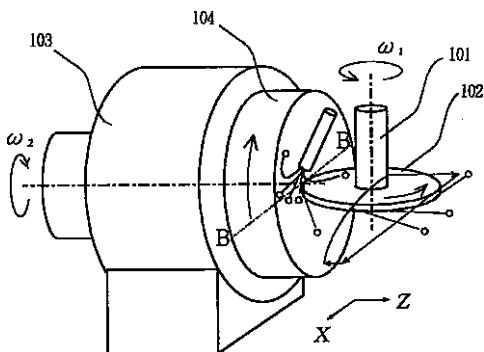
【 図 19 】



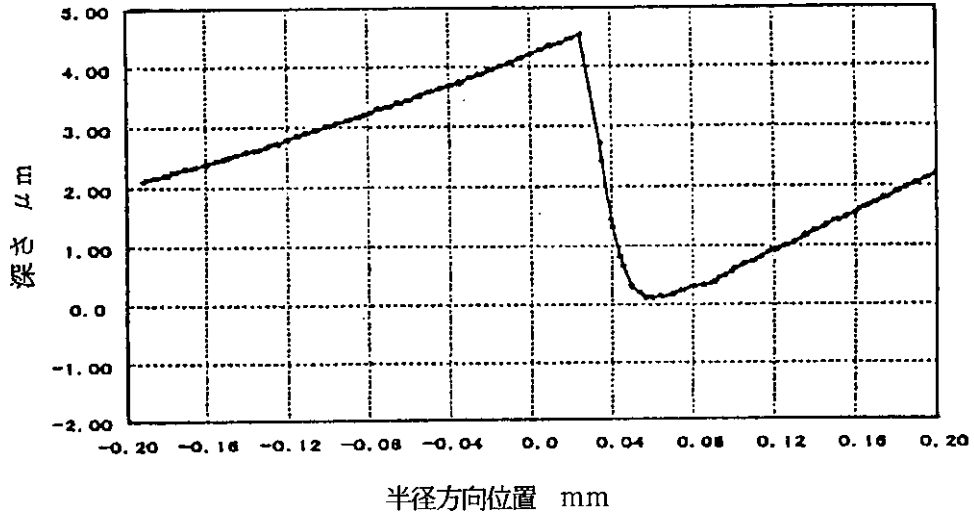
【 図 15 】



【 図 20 】



【図16】



【図17】

