



## Multicore fiber, and multicore fiber tape using same

Sasaki, Yusuke; Takenaga, Katsuhiro; Saitoh, Kunimasa; Morioka, Toshio; Nooruzzaman, Md

*Publication date:*  
2018

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Sasaki, Y., Takenaga, K., Saitoh, K., Morioka, T., & Nooruzzaman, M. (2018). IPC No. G02B6/04. Multicore fiber, and multicore fiber tape using same (Patent No. WO2018150867 .)

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2018年8月23日 (23.08.2018)



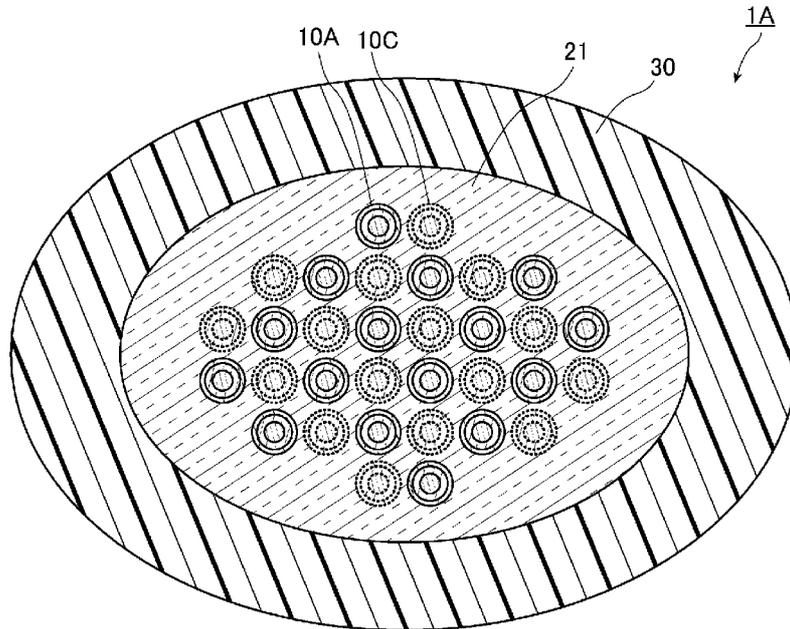
(10) 国際公開番号

WO 2018/150867 A 1

- (51) 国際特許分類 : G02B 6/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号 : PCT/JP20 18/003039
- (22) 国際出願日 : 2018年1月30日 (30.01.2018)
- (25) 国際出願の言語 : 日本語
- (26) 国際公開の言語 : 日本語
- (30) 優先権データ : 特願 2017-026661 2017年2月16日 (16.02.2017) JP
- (71) 出願人 : 株式会社フジクラ (FUJIKURA LTD.) [JP/JP] ; 〒13585 12 東京都江東区木場一丁目5番1号 Tokyo (JP). 国立大学法人北海道大学 (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION HOKKAIDO UNIVERSITY) [JP/JP] ; 〒0600808
- 北海道札幌市北区北8条西5丁目 Hokkaido (JP). テクニカル・ユニヴァーシティ・オブ・デンマーク (TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK) [DK/DK] ; 2800 コンゲンス・リユニビュー、アンケル・エンゲルドヴァイ、1、ビルディング - 1 01 エイ Kgs. Lyngby (DK).
- (72) 発明者 : 佐々木 雄佑 (SAKAKI Yusuke) ; 〒2858550 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP). 竹永 勝宏 (TAKENAGA Katsuhiko) ; 〒2858550 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP). 齊藤 晋聖 (SAITOH Kunimasa); 〒0600808 北海道札幌市北区北8条西5丁目 国立大学法人北海道

(54) Title: MULTICORE FIBER, AND MULTICORE FIBER TAPE USING SAME

(54) 発明の名称 : マルチコアファイバ、及び、これを用いたマルチコアファイバテープ



(57) Abstract: A multicore fiber (1A) includes a plurality of cores (11A, 11B) arranged in a matrix, and single cladding (21) surrounding the cores (11A, 11B). An outer shape of a cross-section perpendicular to the longitudinal direction of the cladding (21) is formed into a noncircular shape having the smallest diameter in a prescribed direction and having no recess. Two or more cores (11A, 11B) are arranged in a prescribed direction while a number of cores (11A, 11B) outnumbering the number of the cores arranged in the prescribed direction are arranged in a direction perpendicular to the



WO 20 / 1 08 A1

大学内 Hokkaido (JP), 盛岡 敏夫 (MORIOKA Toshio); 2800 コンゲンス・リユニビュー、アンケル・エンゲルンドヴァイ、1、ビルディング・101エイ Kgs. Lyngby (DK). ノールズザマン エムデイ (NOORUZZAMAN Md.); 2800 コンゲンス・リユニビュー、アンケル・エンゲルンドヴァイ、1、ビルディング・101エイ Kgs. Lyngby (DK).

(74) 代理人 : 森村 靖男, 外 (MORIMURA Yasuo et al.); 〒1010032 東京都千代田区岩本町三丁目10番9号 秋葉原花岡ビル6階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

prescribed direction. The multicore fiber (1A) is bent in a prescribed direction for use.

(57) 要約 : マルチコアファイバ (1A) は、マトリックス状に配置される複数のコア (11A), (11B) と、それぞれのコア (11A), (11B) を囲む単一のクラッド (21) と、を備え、クラッド (21) の長手方向に垂直な断面における外形は、所定方向において直径が最も小さくなると共に凹部を有さない非円形の形状とされ、所定方向に沿って2以上のコア (11A), (11B) が配置されると共に、所定方向に垂直な方向に沿って、所定方向に沿って配置されるコアの数よりも多い数のコア (11A), (11B) が配置され、所定方向に曲げられて使用される。

## 明 細 書

発明の名称 :

マルチコアファイバ、及び、これを用いたマルチコアファイバテープ

### 技術分野

[000 1] 本発明は、長期信頼性が悪化することを抑制しつつ、多くのコアを配置し得るマルチコアファイバに関する。

### 背景技術

[0002] 一般に普及している光ファイバ通信システムに用いられる光ファイバは、1本のコアの外周面がクラッドにより囲まれた構造をしており、このコア内を光信号が伝搬することで情報が伝送される。

[0003] 近年、光ファイバ通信システムの普及に伴い、伝送される情報量が飛躍的に増大している。こうした光ファイバ通信システムの伝送容量増大を実現するためのものとして、複数のコアの外周面が1つのクラッドにより囲まれたマルチコアファイバが知られている。マルチコアファイバによれば、複数のコアを伝搬するそれぞれの光によって信号を伝送させることができるので、1つの光ファイバによって伝送できる情報量を増大させることができる。

[0004] 下記特許文献1には、このようなマルチコアファイバが記載されている。このマルチコアファイバにおいては、1つのクラッド内に複数のコアが配置されている。この特許文献1にも記載されているように、マルチコアファイバでは、互いに隣り合うコアを伝搬する光の一部同士が重なり、当該コア間にクロストークが生じる場合がある。クロストークを抑制する方法として、例えば、互いに隣り合うコアの間隔を大きくすることが考えられる。クロストークは互いに隣り合うコアを伝搬する光同士の重なりの積分で決まるため、コア間距離を大きくしてこの重なりを小さくすることにより、クロストークを抑制することができる。また、コアやクラッドより屈折率が低いガラスや空孔によつて形成される低屈折率層によつてそれぞれのコアが囲まれるトレンチ構造によつても、クロストークを抑制することができる。コアが低屈

折率層によって囲われることにより、コアを伝搬する光の径方向への広がりを小さくすることができるため、互いに隣り合うコアを伝搬する光同士の重なりが小さくなり、クロストークが抑制される。

[0005] また、下記非特許文献 1 には、曲げ直径が 30 ～ 60 mm あるいはプルーフレベル 1 ～ 2 % というマルチコアファイバの実使用環境において、曲げ直径が 30 mm かつプルーフレベル 1 % というクラッドの直径が 125  $\mu$ m のシングルモードファイバの破断確率と等しくなるマルチコアファイバのクラッドの直径の上限は 250  $\mu$ m と記載されている。

[0006] なお、光ファイバの曲げ部における破断確率の計算方法については、下記非特許文献 2 に記載されている。この非特許文献 2 には、最大曲げ歪というパラメータが出るが、このパラメータは、下記非特許文献 3 , 4 に記載されている。

[0007] 特許文献 1 :特開 2012 \_ 211964 号公報

[0008] 非特許文献 1 :T. Sakamoto, "Low-loss and low-DMD few-mode multi-core fiber with highest core multiplicity factor, " OFC2016, Th5A. 2, 2016

非特許文献 2 :六蔵正男著 「厳しい環境での光ファイバ曲がり部の機械的信頼性計算方法」電子情報通信学会論文誌 B Vol. J94-B, No. 6 pp. 738-746(2011)

非特許文献 3 :K. Nagano et al., "Change of the refractive index in an optical fiber due to external forces" , Applied Optics, vol. 17, no. 13, pp. 2081-2085 (1978)

非特許文献 4 :R. Ulrich et al., "Bending-induced birefringence in single-mode fibers" , Optical Letters, vol. 5, no. 6, pp. 273-275 (1980)

## 発明の概要

[0009] 上記のように、クロストークを抑制するためコア間距離を大きくする場合、多数のコアをクラッド内に配置しようとする、クラッドの直径が大きくなる。しかし、光ファイバは曲げられた状態で敷設されることが多く、クラッドの直径が大きくなると破断確率が高くなり、長期信頼性が悪化するとい

う懸念がある。また、シングルモードファイバの破断確率に合わせようとすると、上記非特許文献 1 のように、クラッドの直径は制限される。

[001 0] そこで、本発明は、長期信頼性が悪化することを抑制しつつ、多くのコアを配置し得るマルチコアファイバ、及び、これを用いたマルチコアファイバテープを提供することを目的とする。

[001 1] かかる課題を解決するため本発明のマルチコアファイバは、マトリックス状に配置される複数のコアと、それぞれの前記コアを囲む単一のクラッドと、を備え、前記クラッドの長手方向に垂直な断面における外形は、所定方向において直径が最も小さくなると共に凹部を有さない非円形の形状とされ、前記所定方向に沿って 2 以上の前記コアが配置されると共に、前記所定方向に垂直な方向に沿って、前記所定方向に沿って配置される前記コアの数よりも多い数の前記コアが配置され、前記所定方向に曲げられることを特徴とするものである。

[001 2] クラッドの断面の外形が円形である従来のマルチコアファイバの場合、所定方向に配置可能なコアの数の上限と、当該所定方向に垂直な方向に配置可能なコアの数の上限とは互いに等しい。しかし、本発明のマルチコアファイバによれば、例えば、クラッドの直径が本発明のマルチコアファイバのクラッドの所定方向の直径と等しい直径の従来のマルチコアファイバよりも、クラッドの断面積を大きくすることができる。しかも、所定方向に沿って配置されるコアの数よりも、所定方向に垂直な方向に沿って配置されるコアの数が多くされる。このため、本発明のマルチコアファイバによれば、上記従来のマルチコアファイバよりも多くのコアを配置することができる。また、本発明のマルチコアファイバは、所定方向に曲げられる。つまり、本発明のマルチコアファイバは、所定方向に曲げて使用される。この場合、クラッドに最も大きな応力がかかる位置は、曲げた状態におけるクラッドの最も外周側の位置であるため、クラッドにかかる最も大きな応力は、本発明のマルチコアファイバと本発明のマルチコアファイバのクラッドの所定方向の直径と等しい直径の従来のマルチコアファイバとで概ね同じ大きさとなる。従って、

本発明のマルチコアファイバを上記のように曲げる場合、その破断確率は、上記従来のマルチコアファイバの破断確率と概ね同等となる。従って、本発明のマルチコアファイバによれば、長期信頼性が悪化することを抑制し得る。

[001 3] また、上記マルチコアファイバにおいて、前記クラッドの前記外形はD型とされることとしても良い。

[0014] また、かかる課題を解決するため本発明のマルチコアファイバテープは、互いに並列された複数の上記のマルチコアファイバと、それぞれのマルチコアファイバを被覆する単一のテープ層と、を備え、それぞれの前記マルチコアファイバは、前記マルチコアファイバの並列方向に垂直な方向に前記所定方向が向くように配置されることを特徴とするものである。

[001 5] このようなマルチコアファイバテープでは、テープを曲げると、それぞれのマルチコアファイバが所定方向に曲がる。従って、それぞれのマルチコアファイバの破断確率が悪化することを抑制することができる。また、マルチコアファイバが複数並列されることでより多くのコアを配置することができる。

[001 6] また、上記課題を解決するため本発明のマルチコアファイバは、マトリックス状に配置される複数のコアと、それぞれの前記コアを囲む単一のクラッドと、を備え、前記クラッドの長手方向に垂直な断面における外形は楕円率が2.5以下の楕円形状とされ、楕円の短径方向に沿って2以上の前記コアが配置されると共に、楕円の長径方向に沿って、前記短径方向に沿って配置される前記コアの数よりも多い数の前記コアが配置され、前記短径方向に対して30度以下の方向に曲げられることを特徴とするものである。

[001 7] 本発明者等は、クラッドの外形が円形のマルチコアファイバの破断確率と、クラッドの外形が楕円であるマルチコアファイバの破断確率とを比較し、クラッドの外形が円形のマルチコアファイバとクラッドの外形が楕円であるマルチコアファイバとで同じ破断確率になる条件を測定した。その結果、クラッドの外形が楕円であるマルチコアファイバが短径方向に対して30度以

下で曲げられる場合には、それぞれのマルチコアファイバのクラッドの外形が円形のマルチコアファイバよりもクラッドの外形が楕円であるマルチコアファイバの方が断面積を大きく出来ることを見出された。従って、このようなマルチコアファイバであれば、長期信頼性が悪化することを抑制しつつより多くのコアを配置することができる。

[001 8] また、かかる課題を解決するため本発明のマルチコアファイバテープは、互いに並列された上記のクラッドの外形が楕円形状のマルチコアファイバと、それぞれのマルチコアファイバを被覆する単一のテープ層と、を備え、それぞれの前記マルチコアファイバは、前記マルチコアファイバの並列方向に垂直な方向に対して前記短径方向が30度以下となるように配置されることを特徴とするものである。

[001 9] このようなマルチコアファイバテープでは、テープを曲げると、それぞれのマルチコアファイバが短径方向に対して30度以下の方向に曲がる。従って、それぞれのマルチコアファイバの破断確率が悪化することを抑制することができる。また、マルチコアファイバが複数並列されることでより多くのコアを配置することができる。

[0020] また、上記課題を解決するため本発明のマルチコアファイバは、マトリックス状に配置される複数のコアと、それぞれの前記コアを囲む単一のクラッドと、を備え、前記クラッドの長手方向に垂直な断面における外形は、互いに平行な一組の直線が半円状の曲線で結ばれた短径と長径との比が2.5以下のレーストラック形状とされ、前記レーストラック形状の短径方向に沿って2以上の前記コアが配置されると共に、前記レーストラック形状の長径方向に沿って前記短径方向に沿って配置される前記コアの数よりも多い数の前記コアが配置され、前記短径方向に対して45度未満の方向に曲げられることを特徴とするものである。

[0021] このようなレーストラック形状では、それぞれの直線の長さは互いに等しく、それぞれの直線に垂直な方向である短径方向において最も直径が小さくなる。本発明者等は、クラッドの外形が円形のマルチコアファイバの破断確

率と、クラッドの外形が上記レーストラック形状であるマルチコアファイバの破断確率とを比較し、クラッドの外形が円形のマルチコアファイバとクラッドの外形が上記レーストラック形状であるマルチコアファイバとで同じ破断確率になる条件を測定した。その結果、クラッドの外形が上記レーストラック形状であるマルチコアファイバが短径方向に対して45度未満で曲げられる場合には、クラッドの外形が円形のマルチコアファイバよりもクラッドの外形が上記レーストラック形状であるマルチコアファイバの方が断面積を大きく出来ることを見出された。従って、このようなマルチコアファイバであれば、長期信頼性が悪化することを抑制しつつより多くのコアを配置することができる。

[0022] また、かかる課題を解決するため本発明のマルチコアファイバテープは、互いに並列された上記のクラッドの外形がトラック形状のマルチコアファイバと、それぞれのマルチコアファイバを被覆する単一のテープ層と、を備え、それぞれの前記マルチコアファイバは、前記マルチコアファイバの並列方向に垂直な方向に対して前記短径方向が45度未満で配置されることを特徴とするものである。

[0023] このようなマルチコアファイバテープでは、テープを曲げると、それぞれのマルチコアファイバが短径方向に対して45度未満の方向に曲がる。従って、それぞれのマルチコアファイバの破断確率が悪化することを抑制することができる。また、マルチコアファイバが複数並列されることでより多くのコアを配置することができる。

[0024] また、前記複数のコアの数が37よりも多いこととしても良い。

[0025] 上記非特許文献1のように、外形が円形のクラッドを有するマルチコアファイバにおいてクラッドの直径の限界を250 $\mu$ mとすると、一般的に、コアの数は37個が限界となる。従って、上記のマルチコアファイバは、コアの数が37より多い場合に、より有用である。

[0026] 以上のように本発明によれば、長期信頼性が悪化することを抑制しつつ、多くのコアを配置し得るマルチコアファイバ、及び、これを用いたマルチコ

ファイバテープを提供することができる。

#### 図面の簡単な説明

[0027] [図1] 本発明の第1実施形態におけるマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面におけるクラッドの外形の様子を示す図である。

[図2] 図1に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、楕円率が1.5で曲げブルーフが1%で曲げ直径が60mmの場合のマルチコアファイバの断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図3] 図1に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、楕円率が2.0で曲げブルーフが1%で曲げ直径が60mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図4] 図1に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、楕円率が2.5で曲げブルーフが1%で曲げ直径が60mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図5] 図1に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、楕円率が1.5で曲げブルーフが2%で曲げ直径が30mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図6] 図1に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、楕円率が2.0で曲げブルーフが2%で曲げ直径が30mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図7] 図1に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、楕円率が2.5で曲げブルーフが2%で曲げ直径が30mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図8] 図1に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、楕円率が1.5で曲げブルーフが2%で曲げ直径が60mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図9] 図1に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、楕円率が2.0で曲げブルーフが2%で曲げ直径が60mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図10] 図1に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、楕円率が2.5で曲げプルーフが2%で曲げ直径が60mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図11] 図1に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、楕円率が1.5で曲げプルーフが1%で曲げ直径が30mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図12] 図1に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、楕円率が2.0で曲げプルーフが1%で曲げ直径が30mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図13] 図1に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、楕円率が2.5で曲げプルーフが1%で曲げ直径が30mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図14] コア要素を示す図である。

[図15] 第1実施形態におけるマルチコアファイバの第1の例を示す図である。

[図16] 第1実施形態におけるマルチコアファイバの第2の例を示す図である。

[図17] 第1実施形態におけるマルチコアファイバの第3の例を示す図である。

[図18] 第1実施形態におけるマルチコアファイバの第4の例を示す図である。

[図19] 第1実施形態におけるマルチコアファイバの第5の例を示す図である。

[図20] 角度 $\theta$ が0度の場合に第1実施形態におけるマルチコアファイバにおいてコアを多く配置できることを示す第1の形態の図である。

[図21] 角度 $\theta$ が0度の場合に第1実施形態におけるマルチコアファイバにおいてコアを多く配置できることを示す第2の形態の図である。

[図22] 本発明の第2実施形態におけるマルチコアファイバの長手方向に垂直

な断面におけるクラッドの外形の様子を示す図である。

[図23] 図22に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、直線間の距離と直線の長さとの比が1.5で曲げプルーフが1%で曲げ直径が60mmの場合のマルチコアファイバの断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図24] 図22に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、直線間の距離と直線の長さとの比が2.0で曲げプルーフが1%で曲げ直径が60mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図25] 図22に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、直線間の距離と直線の長さとの比が2.5で曲げプルーフが1%で曲げ直径が60mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図26] 図22に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、直線間の距離と直線の長さとの比が1.5で曲げプルーフが2%で曲げ直径が30mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図27] 図22に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、直線間の距離と直線の長さとの比が2.0で曲げプルーフが2%で曲げ直径が30mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図28] 図22に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、直線間の距離と直線の長さとの比が2.5で曲げプルーフが2%で曲げ直径が30mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図29] 図22に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、直線間の距離と直線の長さとの比が1.5で曲げプルーフが2%で曲げ直径が60mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図30] 図22に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、直線間の距離と直線の長さとの比が2.0で曲げプルーフが2%で曲げ直径が60mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図31] 図22に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、直線間の距離と直線の長さとの比が2.5で曲げプルーフが2%で曲げ直径

が 60 mm の場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図32] 図22に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、直線間の距離と直線の長さとの比が1.5で曲げプルーフが1%で曲げ直径が30 mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図33] 図22に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、直線間の距離と直線の長さとの比が2.0で曲げプルーフが1%で曲げ直径が30 mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図34] 図22に示すクラッドの外形を有するマルチコアファイバにおいて、直線間の距離と直線の長さとの比が2.5で曲げプルーフが1%で曲げ直径が30 mmの場合の断面積と破断確率との関係を示す図である。

[図35] クラッドの形状がレーストラック形状とされるマルチコアファイバにおいて、直線間の距離と直線の長さとの比と、配置可能なコア数との関係を示す図である。

[図36] 第2実施形態におけるマルチコアファイバの第1の例を示す図である。

[図37] 第2実施形態におけるマルチコアファイバの第2の例を示す図である。

[図38] 第2実施形態におけるマルチコアファイバの第3の例を示す図である。

[図39] 第2実施形態におけるマルチコアファイバの第4の例を示す図である。

[図40] 第2実施形態におけるマルチコアファイバの第5の例を示す図である。

[図41] 角度 $\theta$ が0度の場合に第2実施形態におけるマルチコアファイバにおいてコアを多く配置できることを示す第1の形態の図である。

[図42] 角度 $\theta$ が0度の場合に第2実施形態におけるマルチコアファイバにおいてコアを多く配置できることを示す第2の形態の図である。

[図43] 第3実施形態におけるマルチコアファイバテープを示す図である。

[ 図44] 第4 実施形態におけるマルチコアファイバテープを示す図である。

[ 図45] クラッドの他の形状を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0028] 以下、本発明に係るマルチコアファイバの好適な実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、理解の容易のため、それぞれの図に記載のスケールと、以下の説明に記載のスケールとが異なる場合がある。

[0029] (第1 実施形態)

図1 は、本発明の第1 実施形態におけるマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面におけるクラッドの外形の様子を示す図である。なお、本図では、クラッドの外形を示し、コアや被覆層については記載していない。また、本実施形態のマルチコアファイバは通信に用いられる通信系マルチコアファイバとされる。

[0030] 本実施形態のマルチコアファイバのクラッド2 1 は、長手方向に垂直な断面の形状が楕円形状とされる。このクラッド2 1 は、当該断面において、所定方向が短径方向とされ、短径方向に垂直な方向が長径方向とされる。従つて、クラッド2 1 の外形は、所定方向において直径が最も小さくなると共に凹部を有さない非円形の形状とされる。ここで、図1 に示すように、短径の大きさをa とし、長径の大きさをb とする。この場合、楕円は、下記式1 で定義される。

$$\frac{x^2}{(a/2)^2} + \frac{y^2}{(b/2)^2} = 1 \quad \dots 1$$

[0031] また、楕円率をe とすると、楕円率e はb / a で定義され、クラッド2 1 の面積である楕円の面積をS とすると、面積S は、下記式2 で定義される。

$$S = \frac{ab \pi}{4} \quad \dots 2$$

[0032] 更に、上記非特許文献2 によれば、破断確率をF とすると、破断確率F は下記式3 で示される。

$$F = 1 - \exp \left[ N_p L \left( 1 - \left\{ 1 + \left( \frac{\sigma}{\sigma_p} \right) \frac{t}{t_p} \right\}^{\frac{m}{n-2}} \right) \right] \quad \dots 3$$

なお、 $N_p$  はプルーフ時の平均破断回数であり、 $L$  は曲げターン数が 10 回となる実効的な光ファイバの長さであり、 $n$  は疲労係数であり 20 とされ、 $m$  はワイブルパラメータ (形状指数) であり、 $t_p$  はプルーフ時間であり 1 秒とされ、 $t$  は使用年数であり 20 年とされ、 $\sigma_p$  はプルーフレベルであり 1% または 2% とされ、 $\sigma$  は最大曲げ歪とされる。

[0033] 上記非特許文献 3, 4 によれば、最大曲げ歪  $\sigma$  は、下記式 4 で近似できる。

$$\sigma = \frac{E}{R_b} r \quad \dots 4$$

なお、 $E$  はガラスのヤング率であり、 $R_b$  は曲げ半径であり、 $r$  は破断確率を求めるマルチコアファイバの座標である。本実施形態では、マルチコアファイバを曲げた場合に最もストレスがかかる部位について求めれば良いので、マルチコアファイバを曲げた際にクラッド 2-1 の最も外側になる位置とした。例えば、マルチコアファイバを短径方向に曲げる場合、座標  $r$  は  $(0, a/2)$  となる。

[0034] そこで、図 1 に示すクラッド 2-1 の外形を有するマルチコアファイバにおいて、図 1 に示す短径方向からの角度  $\theta$  の方向にマルチコアファイバを曲げる場合の断面積と破断確率との関係を求めた。なお、シングルモードファイバは、アクセス径で曲げ直径が 30 mm で使用される条件で破断確率が求められる。また、高空間多重度のマルチコアファイバは、長距離通信用として幹線系での使用が想定されており、曲げ直径を 60 mm とし破断確率を下げたり、プルーフレベルを 2% とし破断確率を下げるができる。

[0035] これらを考慮して図 2 ~ 図 4 に示す断面積と破断確率との関係では、曲げプルーフを 1% とし、曲げ直径を 60 mm とし、図 2 では楕円率  $e$  を 1.5 とし、図 3 では楕円率  $e$  を 2.0 とし、図 4 では楕円率  $e$  を 2.5 とし計算を行った。また、図 5 ~ 図 7 に示す断面積と破断確率との関係では、曲げ

プルーフを2%とし、曲げ直径を30mmとし、図5では楕円率 $e$ を1.5とし、図6では楕円率 $e$ を2.0とし、図7では楕円率 $e$ を2.5として計算を行った。また、図8～図10に示す断面積と破断確率との関係では、曲げプルーフを2%とし、曲げ直径を60mmとし、図8では楕円率 $e$ を1.5とし、図9では楕円率 $e$ を2.0とし、図10では楕円率 $e$ を2.5として計算を行った。また、図11～図13に示す断面積と破断確率との関係では、曲げプルーフを1%とし、曲げ直径を30mmとし、図11では楕円率 $e$ を1.5とし、図12では楕円率 $e$ を2.0し、図13では楕円率 $e$ を2.5として計算を行った。なお、各図において、クラッドの外形が円形のマルチコアファイバの当該条件における断面積と破断確率との関係を実線で示す。また、各図に示す横線は、クラッドの直径が $125\mu\text{m}$ の標準シングルモードファイバが曲げ直径30mmで曲げられた場合の破断確率であり、その値は $3.2 \times 10^{-6}$ とされる。

[0036] 図2から図13に示す通り、曲げ方向の短径方向からの角度 $\theta$ が30度以下であれば、楕円率 $e$ が2.5以下において、同じ破断確率の場合にクラッドの形状が楕円形状のマルチコアファイバの方が、クラッドの形状が円形のマルチコアファイバよりも断面積を大きくすることができるという結果になった。

[0037] 次に、図2から図4に示すそれぞれの計算結果に基づいて、各図における角度 $\theta$ が0度及び30度のそれぞれにおいて、破断確率が上記の $3.2 \times 10^{-6}$ となる場合における、クラッドの断面積、断面の形状が円形のクラッドに対する断面の形状が楕円形状のクラッドの断面積比、クラッドの短径を表1に示す。ただし、表1においてクラッドの断面の形状が円の場合の短径は当該円の直径を示す。

表 1

形状	円	e=1.5		e=2.0		e=2.5	
		$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$
断面積 [ $10^{-9}\text{m}^2$ ]	42.7	64.1	48.8	85.5	48.8	107	46.2
断面積比	1	1.50	1.14	2.00	1.14	2.51	1.08
短径 [ $\mu\text{m}$ ]	233.3	233.3	203.5	233.3	176.3	233.3	153.4

曲げプルーフ 1%、曲げ直径 60mm

[0038] また、図 5 から図 7 に示すそれぞれの計算結果に基づいて、上記表 1 に示す項目と同様の項目を表 2 に示す。

表 2

形状	円	e=1.5		e=2.0		e=2.5	
		$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$
断面積 [ $10^{-9}\text{m}^2$ ]	49.1	73.6	56.1	98.2	56.1	123	53.1
断面積比	1	1.50	1.14	2.00	1.14	2.51	1.08
短径 [ $\mu\text{m}$ ]	250.0	250.0	218.2	250.0	189.0	250.3	164.4

曲げプルーフ 2%、曲げ直径 30mm

[0039] 更に、図 8 から図 10 に示すそれぞれの計算結果に基づいて、上記表 1 に示す項目と同様の項目を表 3 に示す。

表 3

形状	円	e=1.5		e=2.0		e=2.5	
		$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$
断面積 [ $10^{-9}\text{m}^2$ ]	170.9	255	195	342	195	429	185
断面積比	1	1.49	1.14	2.00	1.14	2.51	1.08
短径 [ $\mu\text{m}$ ]	466.5	465.2	406.8	466.6	352.3	467.4	307.0

曲げプルーフ 1%、曲げ直径 60mm

[0040] 更に、図 11 から図 13 に示すそれぞれの計算結果に基づいて、上記表 1 に示す項目と同様の項目を表 4 に示す。

表4

形状	円	e=1.5		e=2.0		e=2.5	
		$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$
断面積 [ $10^{-9}\text{m}^2$ ]	12.3	17.9	13.4	23.9	13.5	29.8	13.3
断面積比	1	1.46	1.10	1.95	1.10	2.43	1.08
短径 [ $\mu\text{m}$ ]	124	151.1	130.8	174.4	131.3	194.9	130.0

曲げプルーフ 1% 曲げ直径 30mm

[0041] 上記のように、楕円率  $e$  が 2.5 以下では、曲げ方向の短径方向からの角度  $\theta$  が 30 度以下であれば、クラッドの形状が楕円形状のマルチコアファイバの方が、クラッドの形状が円形のマルチコアファイバよりも断面積を大きくすることができる。ただし、表 1～表 4 より、楕円率  $e$  が 1.5 以上 2.0 以下であれば、曲げ方向の短径方向からの角度  $\theta$  が 0 度以上 30 度以下において、断面積比を 1.10 以上とすることができる。また、楕円率  $e$  が 2.0 を超えると、この断面積比が 1.10 よりも小さくなる傾向がある。従って、楕円率  $e$  は、1.5 以上 2.5 以下であることが好ましく、1.5 以上 2.0 以下であることがより好ましい。

[0042] なお、曲げ方向の短径方向からの角度  $\theta$  が 0 度の場合、楕円率  $e$  が 1.5 以上 2.5 以下であれば、断面積比は 1.46 以上から 2.43 以下となる。この場合において、断面積比を 2 以上とするためには、楕円率  $e$  が 2.0 以上とされることが好ましい。

[0043] 次に、上記クラッド 21 を有する本実施形態のマルチコアファイバの例について説明する。

[0044] 図 14 は、コア要素を示す図であり、図 15～図 19 は、本実施形態のマルチコアファイバの第 1 の例～第 5 の例を示す図である。これらの例のマルチコアファイバ 1A～1E は、マトリックス状に配置される複数のコア要素 10A, 10B, 10C のうち少なくとも 2 種類のコア要素と、それぞれのコア要素を囲む楕円形状の単一のクラッド 21 と、被覆層 30 とを備え、それぞれの例において、複数のコア要素は隣り合うコア要素が互いに異なる種類とされる。なお、図が煩雑となることを避けるため、以下の図において、

コア要素 10A を実線で示し、コア要素 10B を破線で示し、コア要素 10C を点線で示す。

[0045] 図 14 に示すように、コア要素 10A は、コア 11A と、コア 11A を囲む内側クラッド 12A と、内側クラッド 12A を囲みクラッド 21 に囲まれる低屈折率層 13A とを有する。同様に、コア要素 10B は、コア 11B と、コア 11B を囲む内側クラッド 12B と、内側クラッド 12B を囲みクラッド 21 に囲まれる低屈折率層 13B とを有し、コア要素 10C は、コア 11C と、コア 11C を囲む内側クラッド 12C と、内側クラッド 12C を囲みクラッド 21 に囲まれる低屈折率層 13C とを有する。上記のようにマルチコアファイバ 1A～1E はマトリックス状に配置される複数のコア要素 10A, 10B, 10C のうち少なくとも 2 種類のコア要素を有するため、上記のようにマルチコアファイバ 1A～1E は、マトリックス状に配置される複数のコア 11A, 11B, 11C のうち少なくとも 2 種類のコアを有する。

[0046] コア 11A～11C は、クラッド 21 よりも高い屈折率とされ、低屈折率層 13A～13C は、クラッド 21 よりも低い屈折率とされ、内側クラッド 12A はコア 11A と低屈折率層 13A との間の屈折率とされ、内側クラッド 12B はコア 11B と低屈折率層 13B との間の屈折率とされ、内側クラッド 12C はコア 11C と低屈折率層 13C との間の屈折率とされる。例えば、図 14 の例では、内側クラッド 12A～12C は、クラッド 21 と同じ屈折率とされる。こうして、それぞれのコア要素 10A～10C は、トレンチ型の屈折率分布を有する。また、本実施形態では、コア要素 10A のコア 11A のクラッド 21 の屈折率に対する屈折率差が最も大きく高屈折率差コアとされ、コア要素 10C のコア 11C のクラッド 21 の屈折率に対する屈折率差が最も小さく低屈折率差コアとされ、コア要素 10B のコア 11B のクラッド 21 の屈折率に対する屈折率差がコア 11A とコア 11B との間とされ中屈折率差コアとされる。

[0047] また、本実施形態において、以下に示すマルチコアファイバは、楕円の短

径方向に沿って2以上のコアが配置されると共に、楕円の長径方向に沿って短径方向に沿って配置されるコアの数よりも多い数のコアが配置される。また、本実施形態では、長径の中心を通り短径方向に沿った軸を短径軸とすると、短径軸に近い位置において短径軸に沿って配置されるコアの数は、短径軸から遠い位置において短径軸に沿って配置されるコアの数よりも多くされる。

[0048] なお、本実施形態では、コア11A～11Cは、コア要素10A～10Cの一部として示され、クラッド21は、内側クラッド12A～12C及び低屈折率層13A～13Cを介してそれぞれのコア11A～11Cを間接的に囲む。しかし、本実施形態において、内側クラッド12A～12C及び低屈折率層13A～13Cが省略され、クラッド21がそれぞれのコア11A～11Cを直接囲んでも良い。

[0049] 図15に示す第1の例のマルチコアファイバ1Aは、楕円率 $e$ が1.5のクラッド21を有し、当該クラッド21内にコア要素10A, 10Cの2種類のコア要素が配置されている。これらコア要素10A, 10Cは互いに隣り合うコア要素が異なる種類となるように正方格子状に配置される。また、本例では、長径方向に沿って配列されたコア要素の数を、短径方向に沿って順に数えると、2—6—8—8—6—2という配列になり、コア要素10A, 10Cの合計の数は32となる。

[0050] 本例のマルチコアファイバ1Aにおいて、プルーフ2%、曲げ直径30mm、マルチコアファイバを曲げる方向の上記角度 $\theta$ を30度とすると、上記標準シングルモードファイバが曲げ直径30mmで曲げられた場合のプルーフ1%での破断確率 $3.2 \times 10^{-6}$ と同じ破断確率となる場合の断面積は、図5より、概ね $56.1 \times 10^{-8}$ 斗 $m^2$ となる。従って、短径は概ね $218 \mu m$ となり、長径は概ね $327 \mu m$ となる。この場合、コア間距離を $28.8 \mu m$ とすることができる。また、クラッド21の外周で囲まれた面積に対するコア要素10A, 10Bの占める面積の割合をコア専有面積割合とすると、コア専有面積割合は37.8%となる。

- [0051] 図16は、本実施形態のマルチコアファイバの第2の例を示す図である。本例では、マルチコアファイバ1Bは、楕円率 $e$ が1.5のクラッド21を有し、当該クラッド21内にコア要素10A, 10B, 10Cの3種類のコア要素が配置されている。これらコア要素10A, 10B, 10Cは互いに隣り合うコア要素が異なる種類となるように三角格子状に配置される。このようにコア要素10A, 10B, 10Cが三角格子状に配置されることで、コア要素10A, 10B, 10Cは最密充填状に配置される。また、本例では、長径方向に沿って配列されたコア要素の数を、短径方向に沿って順に数えると、6\_9\_10\_9\_6という配列になり、コア要素10A, 10B, 10Cの合計の数は40となる。
- [0052] 本例のマルチコアファイバ1Bは、上記マルチコアファイバ1Aと楕円率 $e$ が同じであるため、プルーフ2%、曲げ直径30mm、マルチコアファイバを曲げる方向の上記角度 $\theta$ を30度とすると、破断確率 $3.2 \times 10^{-6}$ となる場合の断面積は、図5より、概ね $56.0 \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$ となる。従って、短径は概ね $218 \mu\text{m}$ となり、長径は概ね $327 \mu\text{m}$ となる。また、コア間距離を $28.8 \mu\text{m}$ とすることができる。また、コア専有面積割合は47.2%となる。
- [0053] 図17は、本実施形態のマルチコアファイバの第3の例を示す図である。本例では、マルチコアファイバ1Cは、楕円率 $e$ が2.0のクラッド21を有し、当該クラッド21内にコア要素10A, 10B, 10Cの3種類のコア要素が配置されている。これらコア要素10A, 10B, 10Cは互いに隣り合うコア要素が異なる種類となるように三角格子状に配置される。また、本例では、長径方向に沿って配列されたコア要素の数を、短径方向に沿って順に数えると、7\_10\_11\_10\_7という配列になり、コア要素10A, 10B, 10Cの合計の数は41となる。
- [0054] 本例のマルチコアファイバ1Cにおいて、プルーフ2%、曲げ直径30mm、マルチコアファイバを曲げる方向の上記角度 $\theta$ を30度とすると、破断確率 $3.2 \times 10^{-6}$ となる場合の断面積は、図6より、概ね $56.1 \times 10^{-8}$

$8 \mu\text{m}^2$ となる。従って、概ね短径は  $189 \mu\text{m}$  となり、概ね長径は  $378 \mu\text{m}$  となる。また、コア間距離を  $28.8 \mu\text{m}$  とすることができる。また、コア専有面積割合は  $48.3\%$  となる。

[0055] ここで、上記マルチコアファイバ 1A～マルチコアファイバ 1C の構成を表 5 に纏める。

表 5

	図 15	図 16	図 17
楕円率 $e$	1.5	1.5	2.0
短径 [ $\mu\text{m}$ ]	218	218	189
長径 [ $\mu\text{m}$ ]	327	327	378
コア数	32	40	41
コア間距離 [ $\mu\text{m}$ ]	28.8	28.8	28.8
コア割合 [%]	37.8	47.2	48.3
構造	正方格子	最密構造	最密構造

[0056] 更に、上記マルチコアファイバ 1A～マルチコアファイバ 1C のコア要素 10A～10C において、コア 11A～11C のクラッド 2 1 に対する屈折率差を  $\Delta_1$  とし、低屈折率層 13A～13C のクラッド 2 1 に対する屈折率差を  $\Delta_2$  とし、コア 11A～11C の半径を  $r_1$  とし、内側クラッド 12A～12C の外周の半径を  $r_2$  とし、低屈折率層 13A～13C の厚さを  $W$  とすると、コア要素 10A～10C のパラメータは、例えば、下記表 6 の様にすることができる。

表6

	Item	Unit	図 15	図 16,17
10A	$\Delta_1$	%	0.35	0.344
	$\Delta_2$	%	-0.7	-0.7
	$r_1$	$\mu\text{m}$	4.80	4.78
	$r_2/r_1$	-	1.7	1.7
	$W/r_1$	-	0.45	0.70
10B	$\Delta_1$	%	-	0.305
	$\Delta_2$	%	-	-0.7
	$r_1$	$\mu\text{m}$	-	4.61
	$r_2/r_1$	-	-	1.7
	$W/r_1$	-	-	0.79
10C	$\Delta_1$	%	0.31	0.273
	$\Delta_2$	%	-0.7	-0.7
	$r_1$	$\mu\text{m}$	4.65	4.47
	$r_2/r_1$	-	1.7	1.7
	$W/r_1$	-	1.00	1.20

[0057] このようなマルチコアファイバ 1 A ~マルチコアファイバ 1 C によれば、短径方向からの角度  $\theta$  が 30 度以下の方向で曲げられて使用される場合に、シングルモードファイバと概ね同等の信頼性を有して光通信を行うことができる。

[0058] 図 18 は、本実施形態のマルチコアファイバの第 4 の例を示す図である。本例では、マルチコアファイバ 1 D は、楕円率  $e$  が 1.5 のクラッド 2 1 を有し、当該クラッド 2 1 内にコア要素 10 A , 10 B , 10 C の 3 種類のコア要素が配置されている。これらコア要素 10 A , 10 B , 10 C は互いに隣り合うコア要素が異なる種類となるように三角格子状に配置される。また、本例では、長径方向に沿って配列されたコア要素の数を、短径方向に沿って順に数えると、6 \_ 7 \_ 8 \_ 7 \_ 6 という配列になり、コア要素 10 A , 10 B , 10 C の合計の数は 34 となる。

[0059] 本例のマルチコアファイバ 1 D において、プルーフ 1%、曲げ直径 60 m

m、マルチコアファイバを曲げる方向の上記角度 $\theta$ を30度とすると、破断確率 $3.2 \times 10^{-6}$ となる場合の断面積は、図2より、概ね $48.8 \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$ となる。従って、短径は概ね $204 \mu\text{m}$ となり、長径は概ね $305 \mu\text{m}$ となる。また、コア間距離を $28.8 \mu\text{m}$ とすることができる。また、コア専有面積割合は52.7%となる。なお、本例の各コア要素のパラメータは、上記第2の例、第3の例の各コア要素のパラメータと同様とされる。

[0060] 図19は、本実施形態のマルチコアファイバの第5の例を示す図である。本例では、マルチコアファイバ1Eは、楕円率が2.0のクラッド21を有し、当該クラッド21内にコア要素10A, 10B, 10Cの3種類のコア要素が配置されている。これらコア要素10A, 10B, 10Cは互いに隣り合うコア要素が異なる種類となるように三角格子状に配置される。また、本例では、長径方向に沿って配列されたコア要素の数を、短径方向に沿って順に数えると、6\_9\_10—9—6という配列になり、コア要素10A, 10B, 10Cの合計の数は40となる。

[0061] 本例のマルチコアファイバ1Eにおいて、プルーフ1%、曲げ直径60mm、マルチコアファイバを曲げる方向の上記角度 $\theta$ を30度とすると、破断確率 $3.2 \times 10^{-6}$ となる場合の断面積は、図3より、概ね $48.8 \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$ となる。従って、短径は概ね $176 \mu\text{m}$ となり、長径は概ね $353 \mu\text{m}$ となる。また、コア間距離を $28.8 \mu\text{m}$ とすることができる。また、コア専有面積割合は47.4%となる。なお、本例の各コア要素のパラメータは、上記第2の例、第3の例の各コア要素のパラメータと同様とされる。

[0062] ここで、上記マルチコアファイバ1D〜マルチコアファイバ1Eの構成を表7に纏める。

表7

	図 18	図 19
楕円率 $e$	1.5	2.0
短径 [ $\mu\text{m}$ ]	204	176
長径 [ $\mu\text{m}$ ]	305	353
コア数	34	40
コア間距離 [ $\mu\text{m}$ ]	28.8	28.8
コア割合 [%]	52.7	47.4
構造	最密構造	最密構造

[0063] このようなマルチコアファイバ 1D～マルチコアファイバ 1Eによっても、短径方向からの角度 $\theta$ が30度以下の方向で曲げられて使用される場合に、シングルモードファイバと同等の信頼性を有して光通信を行うことができる。

[0064] なお、上記例で示した、クラッド21の楕円率 $e$ や、コア要素10A～10Cの配置は例示に過ぎず、楕円率 $e$ やコア要素10A～10Cの配置は適宜変更可能である。

[0065] 以上説明したように、本実施形態のマルチコアファイバ 1A～1Eは、マトリックス状に配置される複数のコア11A～11Cと、それぞれのコア11A～11Cを囲む単一のクラッド21と、を備える。このクラッド21の長手方向に垂直な断面における外形は楕円率 $e$ が2.5以下の楕円形状とされ、楕円の短径方向に沿って2以上のコアが配置されると共に、楕円の長径方向に沿って、短径方向に沿って配置されるコアの数よりも多い数のコアが配置される。そして、マルチコアファイバ 1A～1Eは、短径方向に対して30度以下の方向に曲げられて使用される。

[0066] したがって、クラッド21の外形が楕円であるマルチコアファイバ 1A～1Eが短径方向に対して30度以下で曲げられて使用されることで、上記説明のように、破断確率が同じ場合に、クラッドの外形が円形のマルチコアファイバよりもクラッドの外形が楕円であるマルチコアファイバ 1A～1Eの方が断面積を大きく出来る。従って、このようなマルチコアファイバ 1A～

1 Eであれば、長期信頼性が悪化することを抑制しつつより多くのコアを配置することができる。

[0067] 次にマルチコアファイバを曲げる方向の上記角度 $\theta$ を0度とする場合に、コアをより多く配置できることについて説明する。

[0068] 図20は、角度 $\theta$ が0度の場合に第1実施形態におけるマルチコアファイバにおいてコアを多く配置できることを示す第1の形態の図である。なお、図20では、被覆層30を省略している。図20では、クラッドの断面の形状が円形のマルチコアファイバ101と、クラッドの断面の形状が楕円形状で楕円率 $e$ が2.0のマルチコアファイバ1Fと、クラッドの断面の形状が楕円形状で楕円率 $e$ が2.5のマルチコアファイバ1Gとが重ねられて示されている。つまり、図20では、クラッドの形状が円形のマルチコアファイバ101と、短径の長さがマルチコアファイバ101のクラッドの直径と同じ大きさである楕円形状のクラッド21を有するマルチコアファイバ1F, 1Gとが示されている。

[0069] マルチコアファイバを曲げる場合、最も応力のかかる位置は、曲げた状態でのクラッドの最も外周側の位置となる。従って、このようなクラッドを有するマルチコアファイバ1F, 1Gが短径方向からの角度 $\theta$ が0度で曲げられる場合に、最も応力のかかる位置での当該応力の大きさは、同じ曲率で曲げられたマルチコアファイバ101における最も応力のかかる位置での当該応力の大きさと同じになる。従って、マルチコアファイバ1F, 1Gが上記のように角度 $\theta$ が0度で曲げられる場合、マルチコアファイバ1F, 1Gの破断確率は、同じ曲率で曲げられたマルチコアファイバ101の破断確率と等しくされる。このため、マルチコアファイバ1F, 1Gは、マルチコアファイバ101と比べて、長期信頼性の悪化を抑制できる。

[0070] また、図20に示すように、クラッドの断面の外形が円形のマルチコアファイバ101と比べて、上記のようにマルチコアファイバ1F, 1Gのクラッドの短径は、マルチコアファイバ101のクラッドの直径と同じ大きさとされる。従って、マルチコアファイバ1F, 1Gのクラッドの断面積はマル

チコアファイバ 101 のクラッドの断面積よりも大きくされる。また、マルチコアファイバ 1F, 1G では、楕円の長径方向に沿って、短径方向に沿って配置されるコア要素の数よりも多い数のコア要素が配置される。従って、マルチコアファイバ 1F, 1G は、直径がマルチコアファイバ 1F, 1G のクラッドの短径と同じ大きさであるマルチコアファイバ 101 よりも多くのコア要素を配置することができる。

[0071] 具体的に配置されるコア要素の数の例を示す。マルチコアファイバ 101 のクラッドに配置可能なコア要素は、図 20 において、破線と重なるコア要素及び破線の内側に配置されるコア要素である。従って、マルチコアファイバ 101 が有するコア要素の数は 37 とされる。また、マルチコアファイバ 1F のクラッドに配置可能なコア要素は、図 20 において、点線と重なるコア要素及び点線の内側に配置されるコア要素である。従って、マルチコアファイバ 1F が有するコア要素の数は 77 とされる。また、マルチコアファイバ 1G が有するコア要素の数は 89 とされる。

[0072] 図 21 は、図 20 と同様に、角度  $\theta$  が 0 度の場合に第 1 実施形態におけるマルチコアファイバにおいてコアを多く配置できることを示す第 2 の形態の図である。図 20 では、クラッドの断面の形状が円形のマルチコアファイバ 102 と、クラッドの断面の形状が楕円形状で楕円率  $e$  が 2.0 のマルチコアファイバ 1H と、クラッドの断面の形状が楕円形状で楕円率  $e$  が 2.5 のマルチコアファイバ 1I とが重ねられて示されている。つまり、図 20 では、クラッドの形状が円形のマルチコアファイバ 102 と、短径の長さがマルチコアファイバ 102 のクラッドの直径と同じ大きさである楕円形状のクラッド 21 を有するマルチコアファイバ 1H, 1I とが示されている。

[0073] 図 20 での説明と同様にして、マルチコアファイバ 1H, 1I が短径方向からの角度  $\theta$  が 0 度で曲げられる場合、マルチコアファイバ 1H, 1I の破断確率は、同じ曲率で曲げられたマルチコアファイバ 102 の破断確率と等しくされる。従って、マルチコアファイバ 1H, 1I は、マルチコアファイバ 102 と比べて、長期信頼性の悪化を抑制できる。

- [0074] また、図20での説明と同様にして、マルチコアファイバ1H、1Iのクラッドの断面積はマルチコアファイバ102のクラッドの断面積よりも大きくされ、マルチコアファイバ1H、1Iでは、楕円の長径方向に沿って、短径方向に沿って配置されるコア要素の数よりも多い数のコア要素が配置される。従って、マルチコアファイバ1H、1Iは、直径がマルチコアファイバ1H、1Iのクラッドの短径と同じ大きさであるマルチコアファイバ102よりも多くのコア要素を配置することができる。
- [0075] 具体的に配置されるコア要素の数の例を示す。マルチコアファイバ102のクラッドに配置可能なコア要素は、図21において、破線と重なるコア要素及び破線の内側に配置されるコア要素であり、マルチコアファイバ102が有するコア要素の数は37とされる。また、マルチコアファイバ1Hのクラッドに配置可能なコア要素は、図21において、点線と重なるコア要素及び点線の内側に配置されるコア要素であり、マルチコアファイバ1Hが有するコア要素の数は89とされる。また、マルチコアファイバ1Iが有するコア要素の数は105とされる。
- [0076] 以上説明したように、本実施形態のマルチコアファイバは、マトリックス状に配置される複数のコア11A～11Cと、それぞれのコア11A～11Cを囲む単一のクラッド21と、を備える。このクラッド21の長手方向に垂直な断面における外形は、所定方向において直径が最も小さくなると共に凹部を有さない非円形の形状とされる。そして、所定方向に沿って2以上のコア11A～11Cが配置されると共に、所定方向に垂直な方向に沿って、所定方向に沿って配置されるコアの数よりも多い数のコアが配置され、所定方向に曲げられて使用される。
- [0077] 図20、図21を用いて説明したように、クラッドの断面の外形が円形である従来のマルチコアファイバ101、102の場合、所定方向に配置可能なコアの数の上限と、所定方向に垂直な方向に配置可能なコアの数の上限とは互いに等しい。しかし、本実施形態のマルチコアファイバ1F～1Iによれば、例えば、本実施形態のマルチコアファイバ1F～1Iのクラッドの所

定方向である短径方向の直径と等しい直径の従来マルチコアファイバ 101, 102 よりも、クラッドの断面積を大きくすることができる。しかも、所定方向に沿って配置されるコア 11A ~ 11C の数よりも、所定方向に垂直な方向に沿って配置されるコア 11A ~ 11C の数が多くされる。このため、本実施形態のマルチコアファイバ 1F ~ 1I によれば、上記従来マルチコアファイバ 101, 102 よりも多くのコアを配置することができる。また、本実施形態のマルチコアファイバ 1F ~ 1I は、所定方向に曲げて使用される。この場合、クラッドに最も大きな応力がかかる位置は、曲げた状態におけるクラッド 21 の最も外周側の位置であるため、クラッドにかかる最も大きな応力は、本実施形態のマルチコアファイバ 1F ~ 1I と従来マルチコアファイバ 101, 102 とで概ね同じ大きさとなる。従って、本発明のマルチコアファイバ 1F ~ 1I を上記のように曲げる場合、その破断確率は、上記従来マルチコアファイバ 101, 102 の破断確率と概ね同等となる。従って、本発明のマルチコアファイバ 1F ~ 1I によれば、長期信頼性が悪化することを抑制し得る。

[0078] (第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態について図22 ~ 図42を参照して詳細に説明する。なお、第1実施形態と同一又は同等の構成要素については、特に説明する場合を除き、同一の参照符号を付して重複する説明は省略する。

[0079] 図22は、本発明の第2実施形態におけるマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面におけるクラッドの外形の様子を示す図である。なお、本図では、クラッドの外形を示し、コアや被覆層については記載していない。また、本実施形態のマルチコアファイバは第1実施形態のマルチコアファイバと同様に通信に用いられる通信系マルチコアファイバとされる。

[0080] 本実施形態のマルチコアファイバのクラッド22は、長手方向に垂直な断面の形状が、互いに平行な一組の直線22Lが半円状の曲線22Cで結ばれたレーストラック形状とされる。それぞれの直線22Lは互いに平行移動した関係とされる。また、このクラッド22は、当該断面において、直線22

Lに垂直な方向が短径方向とされ、直線22Lに沿った方向が長径方向とされる。この短径方向を所定の方向とすると、クラッド22の外形は、所定方向において直径が最も小さくなると共に凹部を有さない非円形の形状とされる。ここで、図22に示すように、直線22L間の距離である短径をaとし、長径の大きさをbとする。ここで、本実施形態では、この短径aと長径bとの比( $b/a$ )をeとする。

[0081] また、本実施形態のクラッド22の場合においても、マルチコアファイバの破断確率は、式3で示される。そこで、図22に示すクラッド22の外形を有するマルチコアファイバにおいて、図22に示す短径方向からの角度 $\theta$ の方向にマルチコアファイバを曲げる場合の断面積と破断確率との関係を第1実施形態において破断確率を求めた際と同様のことを考慮して求めた。

[0082] 図23～図25に示す断面積と破断確率との関係では、曲げプルーフを1%とし、曲げ直径を60mmとし、図23では比eを1.5とし、図24では比eを2.0とし、図25では比eを2.5として計算を行った。また、図26～図28に示す断面積と破断確率との関係では、曲げプルーフを2%とし、曲げ直径を30mmとし、図26では比eを1.5とし、図27では比eを2.0とし、図28では比eを2.5として計算を行った。また、図29～図31に示す断面積と破断確率との関係では、曲げプルーフを2%とし、曲げ直径を60mmとし、図29では比eを1.5とし、図30では比eを2.0とし、図31では比eを2.5として計算を行った。また、図32～図34に示す断面積と破断確率との関係では、曲げプルーフを1%とし、曲げ直径を30mmとし、図32では比eを1.5とし、図33では比eを2.0とし、図34では比eを2.5として計算を行った。なお、第1実施形態の図2から図13と同様に各図において、クラッドの外形が円形のマルチコアファイバの当該条件における断面積と破断確率との関係を実線で示す。また、第1実施形態の図2から図13と同様に、各図に示す横線は、クラッドの直径が $125\mu\text{m}$ の標準シングルモードファイバが曲げ直径30mmで曲げられた場合の破断確率であり、その値は $3.2 \times 10^{-6}$ とされる。

[0083] 図 2 3 から図 3 4 に示す通り、曲げ方向の短径方向からの角度  $\theta$  が 4 5 度未満であれば、短径 a と長径 b との比 e が 2 . 5 以下において、同じ破断確率の場合にクラッドの形状がレーストラック形状のマルチコアファイバの方が、クラッドの形状が円形のマルチコアファイバよりも断面積を大きくすることができるといった結果になった。

[0084] 次に、図 2 3 から図 2 5 に示すそれぞれの計算結果に基づいて、各図における角度  $\theta$  が 0 度、3 0 度及び 4 5 度のそれぞれにおいて、破断確率が上記の 3 . 2 x 1 0 . 6 となる場合における、クラッドの断面積、断面の形状が円形のクラッドに対する断面の形状がレーストラック形状のクラッドの断面積比、クラッドの短径を表 8 に示す。ただし、表 8 においてクラッドの断面の形状が円の場合の短径は当該円の直径を示す。

表 8

形状	円	e=1.5			e=2.0			e=2.5		
		$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$
断面積 [ $10^{-9}m^2$ ]	42.7	69.9	52.8	42.1	97.1	72.9	48.6	124.3	93.3	62.2
断面積比	1	1.64	1.24	0.99	2.27	1.71	1.14	2.91	2.18	1.46
短径 [ $\mu m$ ]	233.3	233.2	202.7	181.0	233.2	202.1	165.0	233.2	202.1	165.0

曲げブルーフ 1%、曲げ直径 60mm

[0085] また、図 2 6 から図 2 8 に示すそれぞれの計算結果に基づいて、上記表 8 に示す項目と同様の項目を表 9 に示す。

表 9

形状	円	e=1.5			e=2.0			e=2.5		
		$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$
断面積 [ $10^{-9}m^2$ ]	49.1	80.3	60.6	48.4	111.6	83.7	55.8	142.8	107.1	71.4
断面積比	1	1.64	1.23	0.99	2.27	1.70	1.14	2.91	2.18	1.45
短径 [ $\mu m$ ]	250.0	249.9	217.1	194.0	250.0	216.5	176.8	250.0	216.5	176.8

曲げブルーフ 2%、曲げ直径 30mm

[0086] 更に、図 2 9 から図 3 1 に示すそれぞれの計算結果に基づいて、上記表 8 に示す項目と同様の項目を表 1 0 に示す。

表 10

形状	円	e=1.5			e=2.0			e=2.5		
		$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$
断面積 [ $10^{-9}\text{m}^2$ ]	170.9	279.8	211.0	168.4	378.9	291.4	194.3	497.3	372.6	247.8
断面積比	1	1.64	1.23	0.99	2.27	1.71	1.14	2.91	2.18	1.45
短径 [ $\mu\text{m}$ ]	466.5	466.6	405.2	362.0	460.7	404.0	329.9	466.5	403.8	329.3

曲げブルーフ 2%、曲げ直径 60mm

[0087] 更に、図 3 2 から図 3 4 に示すそれぞれの計算結果に基づいて、上記表 8 に示す項目と同様の項目を表 1 1 に示す。

表 1 1

形状	円	e=1.5			e=2.0			e=2.5		
		$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$
断面積 [ $10^{-9}\text{m}^2$ ]	12.3	20.1	15.1	12.3	27.9	20.9	13.9	35.7	26.8	17.9
断面積比	1	1.63	1.23	1.00	2.27	1.70	1.13	2.90	2.18	1.45
短径 [ $\mu\text{m}$ ]	125	159.9	138.9	124.1	188.5	163.2	133.3	213.2	184.7	150.8

曲げブルーフ 1%、曲げ直径 30mm

[0088] 上記のように、短径 a と長径 b との比 e が 2 . 5 では、曲げ方向の短径方向からの角度  $\theta$  が 3 0 度以下であれば、クラッドの形状がレーストラック形状のマルチコアファイバの方が、クラッドの形状が円形のマルチコアファイバよりも断面積を大きくすることができる。また、角度  $\theta$  が 4 5 度では、比 e が 1 . 5 において、クラッドの形状がレーストラック形状のマルチコアファイバの方が、円形のマルチコアファイバよりも断面積が僅かに小さくなることがある。ただし、この場合、レーストラック形状のマルチコアファイバの断面積は、円形のマルチコアファイバと断面積と略同じである。従って、角度  $\theta$  は 4 5 度未満とされれば、クラッドの形状がレーストラック形状のマルチコアファイバの方が、クラッドの形状が円形のマルチコアファイバよりも断面積を大きくすることができる。特に、角度  $\theta$  は 4 4 度以下とされれば、クラッドの形状がレーストラック形状のマルチコアファイバの方が、クラッドの形状が円形のマルチコアファイバよりもより確実に断面積を大きくす

ることができる。更に、比  $e$  が 2.0 以上 2.5 以下であれば、角度  $\theta$  は 45 度以下において、クラッドの形状がレーストラック形状のマルチコアファイバの方が円形のマルチコアファイバよりも断面積が小さくなることが無いため好ましい。

[0089] ここで、図 35 において、本実施形態のようにクラッド 22 の形状がレーストラック形状とされるマルチコアファイバにおいて、短径  $a$  と長径  $b$  との比  $e$  と、配置可能なコア数との関係を示す。図 35 は、直線間の距離である短径  $a$  を固定して長径  $b$  を変化させて比  $e$  及び断面積を求め、表 6 に記載されたコア要素 10A ~ 10C のパラメータを用いたコア要素の面積で上記断面積を除いた数をコア数としている。図 35 に示すように、短径  $a$  によらず、比  $e$  が少なくとも 2.5 までにおいては、比  $e$  が大きな方が、配置可能なコアが多くなることが分かる。

[0090] 次に、上記クラッド 22 を有する本実施形態のマルチコアファイバの例について説明する。

[0091] このようなクラッド 22 を有する本実施形態のマルチコアファイバでは、例えば、クラッド 22 に図 15 から図 19 に示すコア要素 10A ~ 10C を配置することができる。また、本実施形態においても、内側クラッド 12A ~ 12C 及び低屈折率層 13A ~ 13C が省略され、クラッド 22 がそれぞれのコア 11A ~ 11C を直接囲んでも良い。

[0092] 本実施形態において、以下に示すマルチコアファイバは、レーストラック形状の短径方向に沿って 2 以上のコアが配置されると共に、レーストラック形状の長径方向に沿って短径方向に沿って配置されるコアの数よりも多い数のコアが配置される。また、本実施形態では、長径の中心を通り短径方向に沿った軸を短径軸とすると、短径軸に近い位置において短径軸に沿って配置されるコアの数は、短径軸から遠い位置において短径軸に沿って配置されるコアの数よりも多くされる。

[0093] 図 36 に示す第 1 の例のマルチコアファイバ 2A は、短径  $a$  と長径  $b$  との比  $e$  が 1.5 のクラッド 22 を有し、当該クラッド 22 内にコア要素 10A ,

10Cの2種類のコア要素が、異なる種類となるように正方格子状に配置される。また、本例では、長径方向に沿って配列されたコア要素の数を、短径方向に沿って順に数えると、4 \_ 6 \_ 8 \_ 8 \_ 6 \_ 4 という配列になり、コア要素10A、10Cの合計の数は36となる。本例のマルチコアファイバ2Aにおいて、プルーフ1%、曲げ直径60mm、マルチコアファイバを曲げる方向の上記角度 $\theta$ を30度とすると、上記標準シングルモードファイバが曲げ直径30mmで曲げられた場合の破断確率 $3.2 \times 10^{-6}$ と同じ破断確率となる場合の断面積は、図23より、概ね $52.8 \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$ となる。従って、短径は概ね $202.7 \mu\text{m}$ となり、長径は概ね $304.1 \mu\text{m}$ となる。この場合、コア間距離を $28.8 \mu\text{m}$ とすることができる。また、クラッド21の外周で囲まれた面積に対するコア要素10A、10Bの占める面積の割合をコア専有面積割合とすると、コア専有面積割合は44.4%となる。

[0094] 図37は、本実施形態のマルチコアファイバの第2の例を示す図である。本例では、マルチコアファイバ2Bは、短径aと長径bとの比eが1.5のクラッド22を有し、当該クラッド22内にコア要素10A、10B、10Cの3種類のコア要素が配置されている。これらコア要素10A、10B、10Cは互いに隣り合うコア要素が異なる種類となるように三角格子状に配置される。このようにコア要素10A、10B、10Cが三角格子状に配置されることで、コア要素10A、10B、10Cは最密充填状に配置される。また、本例では、長径方向に沿って配列されたコア要素の数を、短径方向に沿って順に数えると、6 \_ 7 \_ 8 \_ 7 \_ 6 という配列になり、コア要素10A、10B、10Cの合計の数は、34となる。本例のマルチコアファイバ2Bにおいて、プルーフ1%、曲げ直径60mm、マルチコアファイバを曲げる方向の上記角度 $\theta$ を30度とすると、上記標準シングルモードファイバが曲げ直径30mmで曲げられた場合の破断確率 $3.2 \times 10^{-6}$ と同じ破断確率となる場合の断面積は、図23より、概ね $52.8 \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$ となる。従って、短径は概ね $202.7 \mu\text{m}$ となり、長径は概ね $304.1 \mu\text{m}$ と

なる。この場合、コア間距離を $28.8\ \mu\text{m}$ とすることができる。また、クラッド21の外周で囲まれた面積に対するコア要素10A, 10B, 10Cの占める面積の割合をコア専有面積割合とすると、コア専有面積割合は $41.9\%$ となる。

[0095] 図38は、本実施形態のマルチコアファイバの第3の例を示す図である。本例では、マルチコアファイバ2Cは、比 $e$ が2.0のクラッド22を有し、当該クラッド22内にコア要素10A, 10B, 10Cの3種類のコア要素が配置されている。これらコア要素10A, 10B, 10Cは互いに隣り合うコア要素が異なる種類となるように三角格子状に配置される。また、本例では、長径方向に沿って配列されたコア要素の数を、短径方向に沿って順に数えると、7—8—9—8—7という配列になり、コア要素10A, 10B, 10Cの合計の数は、39となる。本例のマルチコアファイバ2Cにおいて、プルーフ1%、曲げ直径60mm、マルチコアファイバを曲げる方向の上記角度 $\theta$ を45度とすると、上記標準シングルモードファイバが曲げ直径30mmで曲げられた場合の破断確率 $3.2 \times 10^{-6}$ と同じ破断確率となる場合の断面積は、図24より、概ね $48.6 \times 10^{-8}\ \text{m}^2$ となる。従って、短径は概ね $165.0\ \mu\text{m}$ となり、長径は概ね $330.0\ \mu\text{m}$ となる。この場合、コア間距離を $28.8\ \mu\text{m}$ とすることができる。また、クラッド21の外周で囲まれた面積に対するコア要素10A, 10B, 10Cの占める面積の割合をコア専有面積割合とすると、コア専有面積割合は $52.2\%$ となる。

[0096] 図39は、本実施形態のマルチコアファイバの第4の例を示す図である。本例では、マルチコアファイバ2Dは、比 $e$ が1.5のクラッド22を有し、当該クラッド22内にコア要素10A, 10B, 10Cの3種類のコア要素が配置されている。これらコア要素10A, 10B, 10Cは互いに隣り合うコア要素が異なる種類となるように三角格子状に配置される。また、本例では、長径方向に沿って配列されたコア要素の数を、短径方向に沿って順に数えると、5—6—7—8—7—6—5という配列になり、コア要素10

A, 10 B, 10 Cの合計の数は44となる。本例のマルチコアファイバ2 Dにおいて、プルーフ2%、曲げ直径30 mm、マルチコアファイバを曲げる方向の上記角度 $\theta$ を30度とすると、上記標準シングルモードファイバが曲げ直径30 mmで曲げられた場合の破断確率 $3.2 \times 10^{-6}$ と同じ破断確率となる場合の断面積は、図26より、概ね $60.6 \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$ となる。従って、短径は概ね217.1  $\mu\text{m}$ となり、長径は概ね325.7  $\mu\text{m}$ となる。この場合、コア間距離を28.8  $\mu\text{m}$ とすることができる。また、クラッド21の外周で囲まれた面積に対するコア要素10 A, 10 B, 10 Cの占める面積の割合をコア専有面積割合とすると、コア専有面積割合は47.3%となる。

[0097] 図40は、本実施形態のマルチコアファイバの第5の例を示す図である。本例では、マルチコアファイバ2 Eは、比 $e$ が2.0のクラッド22を有し、当該クラッド22内にコア要素10 A, 10 B, 10 Cの3種類のコア要素が配置されている。これらコア要素10 A, 10 B, 10 Cは互いに隣り合うコア要素が異なる種類となるように三角格子状に配置される。また、本例では、長径方向に沿って配列されたコア要素の数を、短径方向に沿って順に数えると、8—9—10—9—8という配列になり、コア要素10 A, 10 B, 10 Cの合計の数は45となる。本例のマルチコアファイバ2 Eにおいて、プルーフ2%、曲げ直径30 mm、マルチコアファイバを曲げる方向の上記角度 $\theta$ を45度とすると、上記標準シングルモードファイバが曲げ直径30 mmで曲げられた場合の破断確率 $3.2 \times 10^{-6}$ と同じ破断確率となる場合の断面積は、図27より、概ね $55.8 \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$ となる。従って、短径は概ね176.8  $\mu\text{m}$ となり、長径は概ね353.6  $\mu\text{m}$ となる。この場合、コア間距離を28.8  $\mu\text{m}$ とすることができる。また、クラッド21の外周で囲まれた面積に対するコア要素10 A, 10 B, 10 Cの占める面積の割合をコア専有面積割合とすると、コア専有面積割合は52.5%となる。

[0098] なお、上記例で示した、クラッド21の比 $e$ や、コア要素10 A～10 C

の配置は例示に過ぎず、比  $e$  やコア要素  $10A \sim 10C$  の配置は適宜変更可能である。

[0099] 以上説明したように、本実施形態のマルチコアファイバ  $2A \sim 2E$  は、マトリックス状に配置される複数のコア  $11A \sim 11C$  と、それぞれのコア  $11A \sim 11C$  を囲む単一のクラッド  $22$  と、を備える。このクラッド  $22$  の長手方向に垂直な断面における外形は、互いに平行な一組の直線  $22L$  が半円状の曲線  $22C$  で結ばれた短径  $a$  と長径  $b$  との比  $e$  が  $2.5$  以下のレーストラック形状とされる。また、短径方向に沿って  $2$  以上のコアが配置されると共に、長径方向に沿って短径方向に沿って配置されるコアの数よりも多い数のコアが配置される。そして、マルチコアファイバ  $2A \sim 2E$  は、短径方向に対して  $45$  度未満の方向に曲げられて使用される。

[0100] したがって、クラッド  $22$  の外形がレーストラック形状であるマルチコアファイバ  $2A \sim 2E$  が短径方向に対して  $45$  度未満で曲げられて使用されることで、上記説明のように、破断確率が同じ場合に、クラッドの外形が円形のマルチコアファイバよりもクラッドの外形がレーストラック形状であるマルチコアファイバ  $2A \sim 2E$  の方が断面積を大きく出来る。従って、このようなマルチコアファイバ  $2A \sim 2E$  であれば、長期信頼性が悪化することを抑制しつつより多くのコアを配置することができる。

[0101] 次にマルチコアファイバを曲げる方向の上記角度  $\theta$  を  $0$  度とする場合に、コアをより多く配置できることについて説明する。

[0102] 図  $4-1$  は、角度  $\theta$  が  $0$  度の場合に第  $2$  実施形態におけるマルチコアファイバにおいてコアを多く配置できることを示す第  $1$  の形態の図である。なお、図  $4-1$  では、被覆層  $30$  を省略している。図  $4-1$  では、クラッドの断面の形状が円形のマルチコアファイバ  $10-1$  と、クラッドの断面の形状がレーストラック形状で短径  $a$  と長径  $b$  との比  $e$  が  $2.0$  のマルチコアファイバ  $2F$  と、クラッドの断面の形状がレーストラック形状で短径  $a$  と長径  $b$  との比  $e$  が  $2.5$  のマルチコアファイバ  $2G$  とが重ねられて示されている。つまり、図  $4-1$  では、クラッドの形状が円形のマルチコアファイバ  $10-1$  と、短径がマ

ルチコアファイバ 101 のクラッドの直径と同じ大きさであるレーストラック形状のクラッドを有するマルチコアファイバ 2F, 2G とが示されている。

[01 03] 第 1 実施形態で説明したように、マルチコアファイバを曲げる場合、最も応力のかかる位置は、曲げた状態でのクラッドの最も外周側の位置となる。従って、このようなクラッドを有するマルチコアファイバ 2F, 2G が短径方向からの角度  $\theta$  が 0 度で曲げられる場合に、最も応力のかかる位置での当該応力の大きさは、同じ曲率で曲げられたマルチコアファイバ 101 における最も応力のかかる位置での当該応力の大きさと同じになる。従って、マルチコアファイバ 2F, 2G が上記のように角度  $\theta$  が 0 度で曲げられる場合、マルチコアファイバ 2F, 2G の破断確率は、同じ曲率で曲げられたマルチコアファイバ 101 の破断確率と等しくされる。このため、マルチコアファイバ 2F, 2G は、マルチコアファイバ 101 と比べて、長期信頼性の悪化を抑制できる。

[01 04] また、図 4 1 に示すように、クラッドの断面の外形が円形のマルチコアファイバ 101 と比べて、上記のようにマルチコアファイバ 2F, 2G のクラッドの短径  $a$  は、マルチコアファイバ 101 のクラッドの直径と同じ大きさとされる。従って、マルチコアファイバ 2F, 2G のクラッドの断面積はマルチコアファイバ 101 のクラッドの断面積よりも大きくされる。また、マルチコアファイバ 2F, 2G では、長径方向に沿って短径方向に沿って配置されるコア要素の数よりも多い数のコア要素が配置される。従って、マルチコアファイバ 2F, 2G は、直径がマルチコアファイバ 2F, 2G のクラッドの短径  $a$  と同じ大きさであるマルチコアファイバ 101 よりも多くのコア要素を配置することができる。

[01 05] 具体的に配置されるコア要素の数の例を示す。マルチコアファイバ 101 のクラッドに配置可能なコア要素は、第 1 実施形態と同様にして、破線と重なるコア要素及び破線の内側に配置されるコア要素であり 37 とされる。また、マルチコアファイバ 2F のクラッドに配置可能なコア要素は、図 3 6 に

において、点線と重なるコア要素及び点線の内側に配置されるコア要素である。従って、マルチコアファイバ 2 F が有するコア要素の数は 93 とされる。また、マルチコアファイバ 2 G が有するコア要素の数は 117 とされる。

[01 06] 図 4 2 は、角度  $\theta$  が 0 度の場合に第 2 実施形態におけるマルチコアファイバにおいてコアを多く配置できることを示す第 2 の形態の図である。なお、図 4 2 では、被覆層 30 を省略している。図 4 2 では、クラッドの断面の形状が円形のマルチコアファイバ 102 と、クラッドの断面の形状がレーストラック形状で短径  $a$  と長径  $b$  との比  $e$  が 2.0 のマルチコアファイバ 2 H と、クラッドの断面の形状がレーストラック形状で短径  $a$  と長径  $b$  との比  $e$  が 2.5 のマルチコアファイバ 2 I とが重ねられて示されている。ただし、本例では、クラッドの形状が円形のマルチコアファイバ 102 と、短径  $a$  がマルチコアファイバ 102 のクラッドの直径よりも小さいレーストラック形状のクラッド 22 を有するマルチコアファイバ 2 H, 2 I とが示されている。

[01 07] 本例のマルチコアファイバ 2 H, 2 I が短径方向からの角度  $\theta$  が 0 度で曲げられる場合、直線 22 L 間の距離がマルチコアファイバ 102 のクラッドの直径よりも小さいため、マルチコアファイバ 2 H, 2 I の破断確率は、同じ曲率で曲げられたマルチコアファイバ 102 の破断確率よりも小さくなる。このため、マルチコアファイバ 2 H, 2 I は、マルチコアファイバ 102 と比べて、長期信頼性の悪化を抑制できる。

[01 08] また、図 4 2 に示すように、直線 22 L 間の距離がマルチコアファイバ 102 のクラッドの直径よりも小さいにもかかわらず、マルチコアファイバ 2 H, 2 I は、マルチコアファイバ 102 よりも多くのコア要素を配置することができる。

[01 09] 具体的に配置されるコア要素の数の例を示す。マルチコアファイバ 102 のクラッドに配置可能なコア要素は、第 1 の形態と同様にして 37 とされる。また、マルチコアファイバ 2 H のクラッドに配置可能なコア要素は、図 37 において、点線と重なるコア要素及び点線の内側に配置されるコア要素であり 93 とされる。また、マルチコアファイバ 2 I が有するコア要素の数は

117とされる。

[01 10] 以上説明したように、本実施形態のマルチコアファイバ2F-21によっても、図41、図42を用いて説明したように、クラッドの断面の外形が円形である従来のマルチコアファイバ101、102と比べて、破断確率の悪化を抑制でき、多くのコアを配置し得る。

[01 11] (第3実施形態)

次に、本発明の第3実施形態について図43を参照して詳細に説明する。なお、第1実施形態と同一又は同等の構成要素については、特に説明する場合を除き、同一の参照符号を付して重複する説明は省略する。

[01 12] 図43は、本実施形態のマルチコアファイバテープを示す図である。図43に示すマルチコアファイバテープ51は、複数の第1実施形態のマルチコアファイバ1Aが単一のテープ層50内に並列されて配置されている。テープ層50は、マルチコアファイバ1Aの並列方向が薄くされた平板状の形状をしている。従って、マルチコアファイバテープ51は厚さ方向に曲がり易し。テープ層50内に配置されるマルチコアファイバ1Aは、短径方向が、テープ層50の厚さ方向から30度以下となるように配置されている。なお、テープ層50は、樹脂が成型されることで単一のテープ層50とされても良く、2枚のテープが張り合わされることで単一のテープ層50とされても良い。

[01 13] 以上のように、本実施形態のマルチコアファイバテープ51は、互いに並列されたクラッド21の外形が楕円形状のマルチコアファイバ1Aと、それぞれのマルチコアファイバ1Aを被覆する単一のテープ層50と、を備える。そして、それぞれのマルチコアファイバ1Aは、マルチコアファイバ1Aの並列方向に垂直な方向、すなわち厚さ方向に対して短径方向が30度以下となるように配置されている。このようなマルチコアファイバテープ51では、テープを曲げると、それぞれのマルチコアファイバ1Aが短径方向に対して30度以下の方向に曲がる。従って、それぞれのマルチコアファイバ1Aの破断確率が悪化することを抑制することができる。また、マルチコアフ

ファイバ 1 A が複数並列されることでより多くのコアを配置することができる。

[01 14] なお、本実施形態ではマルチコアファイバ 1 A が配置されるマルチコアファイバテープ 5 1 を例に説明したが、本実施形態のマルチコアファイバテープ 5 1 に配置されるマルチコアファイバは、第 1 実施形態で説明したマルチコアファイバであれば特に限定されない。

[0115] (第 4 実施形態)

次に、本発明の第 4 実施形態について図 4 4 を参照して詳細に説明する。なお、第 2 実施形態、第 3 実施形態と同一又は同等の構成要素については、特に説明する場合を除き、同一の参照符号を付して重複する説明は省略する。

[01 16] 図 4 4 は、本実施形態のマルチコアファイバテープを示す図である。図 4 4 に示すマルチコアファイバテープ 5 2 は、複数の第 2 実施形態のマルチコアファイバ 2 A が単一のテープ層 5 0 内に並列されて配置されている。テープ層 5 0 は、マルチコアファイバ 2 A の並列方向が薄くされた平板状の形状をしている。従って、マルチコアファイバテープ 5 2 は厚さ方向に曲がり易し。テープ層 5 0 内に配置されるマルチコアファイバ 2 A は、短径方向が、テープ層 5 0 の厚さ方向から 4 5 度未満となるように配置されている。特に、マルチコアファイバ 2 A は、短径方向が、テープ層 5 0 の厚さ方向から 4 4 度以下となるように配置されることが好ましい。また、マルチコアファイバ 2 A は、第 2 実施形態における比  $e$  が 2.0 以上 2.5 以下とされて、短径方向が、テープ層 5 0 の厚さ方向から 4 5 度以下となるように配置されることが好ましい。

[01 17] 以上のように、本実施形態のマルチコアファイバテープ 5 2 は、互いに並列されたクラッド 2 2 の外形がレーストラック形状のマルチコアファイバ 2 A と、それぞれのマルチコアファイバ 2 A を被覆する単一のテープ層 5 0 と、を備える。そして、それぞれのマルチコアファイバ 2 A は、マルチコアファイバ 2 A の並列方向に垂直な方向、すなわち厚さ方向に対して短径方向が

45度未満となるように配置されている。このようなマルチコアファイバテープ52では、テープを曲げると、それぞれのマルチコアファイバ2Aが短径方向に対して45度未満の方向に曲がる。従って、それぞれのマルチコアファイバ2Aの破断確率が悪化することを抑制することができる。また、マルチコアファイバ2Aが複数並列されることでより多くのコアを配置することができる。

[01 18] なお、本実施形態ではマルチコアファイバ2Aが配置されるマルチコアファイバテープ52を例に説明したが、本実施形態のマルチコアファイバテープ52に配置されるマルチコアファイバは、第2実施形態で説明したマルチコアファイバであれば特に限定されない。

[01 19] 以上、本発明のマルチコアファイバ及びマルチコアファイバテープについて説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。

[01 20] 例えば、クラッドの長手方向に垂直な断面における外形が、所定方向において直径が最も小さくされると共に凹部を有さない非円形の形状とされるマルチコアファイバについて、上記実施形態では、楕円形状とレーストラック形状とを例に説明したが、本発明はこれに限らない。図45は、クラッドの他の形状を示す図である。図45に示すように、本例のクラッド23は、D型とされる。このD型の短径方向を所定方向とする場合において、所定方向に曲げる場合の破断確率は、図45に示す短径と同じ直径を有する断面が円形のマルチコアファイバの破断確率と同等になる。従って、このようなクラッドを有するマルチコアファイバによれば、長期信頼性が悪化することを抑制しつつ、多くのコアを配置し得る。

[01 21] これを一般化すると、クラッドの長手方向に垂直な断面における外形が所定方向において直径が最も小さくされると共に凹部を有さない非円形の形状とされ、当該所定方向に沿って2以上のコアが配置されると共に、所定方向に垂直な方向に沿って、所定方向に沿って配置されるコアの数よりも多い数の前記コアが配置され、所定方向に曲げられて使用されるマルチコアファイバとなる。このマルチコアファイバによれば、上記のように長期信頼性が悪

化することを抑制しつつ、多くのコアを配置し得る。

[0122] また、このようなマルチコアファイバを用いたマルチコアファイバテープは、互いに並列された複数の上記マルチコアファイバと、それぞれのマルチコアファイバを被覆する単一のテープ層と、を備え、それぞれのマルチコアファイバは、マルチコアファイバの並列方向に垂直な方向に所定方向が向くように配置されるというものになる。このマルチコアファイバテープは、テープを曲げると、それぞれのマルチコアファイバが所定方向に曲がる。従って、それぞれのマルチコアファイバの破断確率が悪化することを抑制することができる。また、マルチコアファイバが複数並列されることでより多くのコアを配置することができる。

[0123] 本発明に係るマルチコアファイバ、マルチコアファイバテープは、長期信頼性が悪化することを抑制しつつ、多くのコアを配置し得、光通信の産業において利用することができる。

#### 符号の説明

[0124] 1 A ~ 1 E , 2 A ~ 2 E . . . マルチコアファイバ  
10 A ~ 10 C . . . コア要素  
11 A ~ 11 C . . . コア  
12 A ~ 12 C . . . 内側クラッド  
13 A ~ 13 C . . . 低屈折率層  
21 , 22 - . . . クラッド  
30 . . . 被覆層  
50 - . . . テープ層  
51 , 52 - . . . マルチコアファイバテープ

## 請求の範囲

### [請求項1]

マトリックス状に配置される複数のコアと、  
それぞれの前記コアを囲む単一のクラッドと、  
を備え、

前記クラッドの長手方向に垂直な断面における外形は、所定方向において直径が最も小さくされると共に凹部を有さない非円形の形状とされ、

前記所定方向に沿って2以上の前記コアが配置されると共に、前記所定方向に垂直な方向に沿って、前記所定方向に沿って配置される前記コアの数よりも多い数の前記コアが配置され、

前記所定方向に曲げられる  
ことを特徴とするマルチコアファイバ。

### [請求項2]

前記クラッドの前記外形はD型とされる

ことを特徴とする請求項1に記載のマルチコアファイバ。

### [請求項3]

マトリックス状に配置される複数のコアと、  
それぞれの前記コアを囲む単一のクラッドと、  
を備え、

前記クラッドの長手方向に垂直な断面における外形は楕円率が2.5以下の楕円形状とされ、

楕円の短径方向に沿って2以上の前記コアが配置されると共に、前記楕円の長径方向に沿って、前記短径方向に沿って配置される前記コアの数よりも多い数の前記コアが配置され、

前記短径方向に対して30度以下の方向に曲げられる  
ことを特徴とするマルチコアファイバ。

### [請求項4]

マトリックス状に配置される複数のコアと、  
それぞれの前記コアを囲む単一のクラッドと、  
を備え、

前記クラッドの長手方向に垂直な断面における外形は、互いに平行

な一組の直線が半円状の曲線で結ばれた短径と長径との比が2.5以下のレーストラック形状とされ、

前記レーストラック形状の短径方向に沿って2以上の前記コアが配置されると共に、前記レーストラック形状の長径方向に沿って前記短径方向に沿って配置される前記コアの数よりも多い数の前記コアが配置され、

前記短径方向に対して45度未満の方向に曲げられることを特徴とするマルチコアファイバ。

[請求項5]

前記複数のコアの数が37よりも多い

ことを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載のマルチコアファイバ。

[請求項6]

互いに並列された複数の請求項1または2に記載のマルチコアファイバと、

それぞれのマルチコアファイバを被覆する単一のテープ層と、を備え、

それぞれの前記マルチコアファイバは、前記マルチコアファイバの並列方向に垂直な方向に前記所定方向が向くように配置されることを特徴とするマルチコアファイバテープ。

[請求項7]

互いに並列された複数の請求項3に記載のマルチコアファイバと、

それぞれのマルチコアファイバを被覆する単一のテープ層と、を備え、

それぞれの前記マルチコアファイバは、前記マルチコアファイバの並列方向に垂直な方向に対して前記短径方向が30度以下となるように配置される

ことを特徴とするマルチコアファイバテープ。

[請求項8]

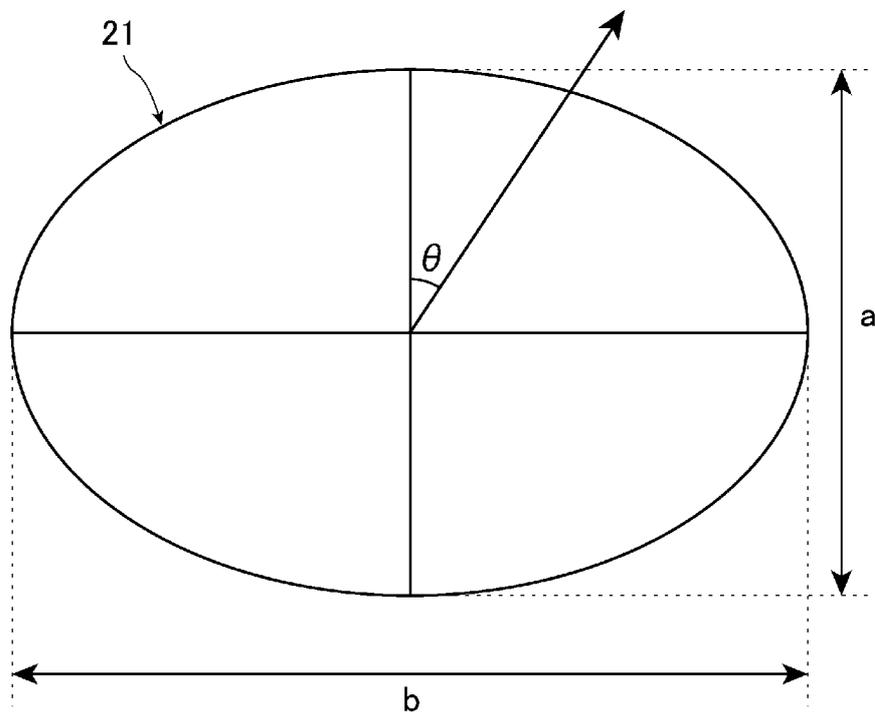
互いに並列された複数の請求項4に記載のマルチコアファイバと、

それぞれのマルチコアファイバを被覆する単一のテープ層と、を備え、

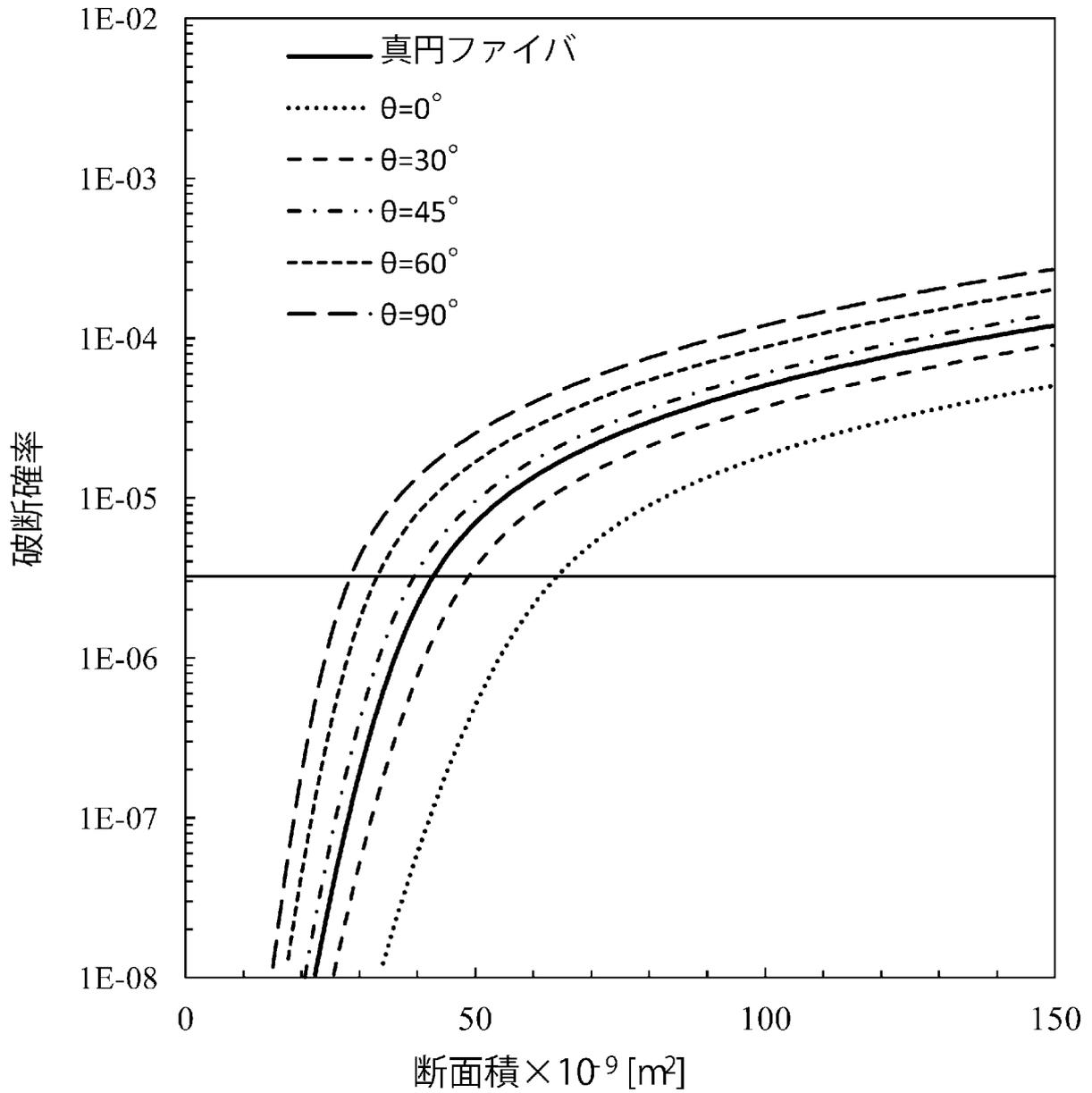
それぞれの前記マルチコアファイバは、前記マルチコアファイバの並列方向に垂直な方向に対して前記短径方向が45度未満で配置される

ことを特徴とするマルチコアファイバテープ。

[図1]



[図2]



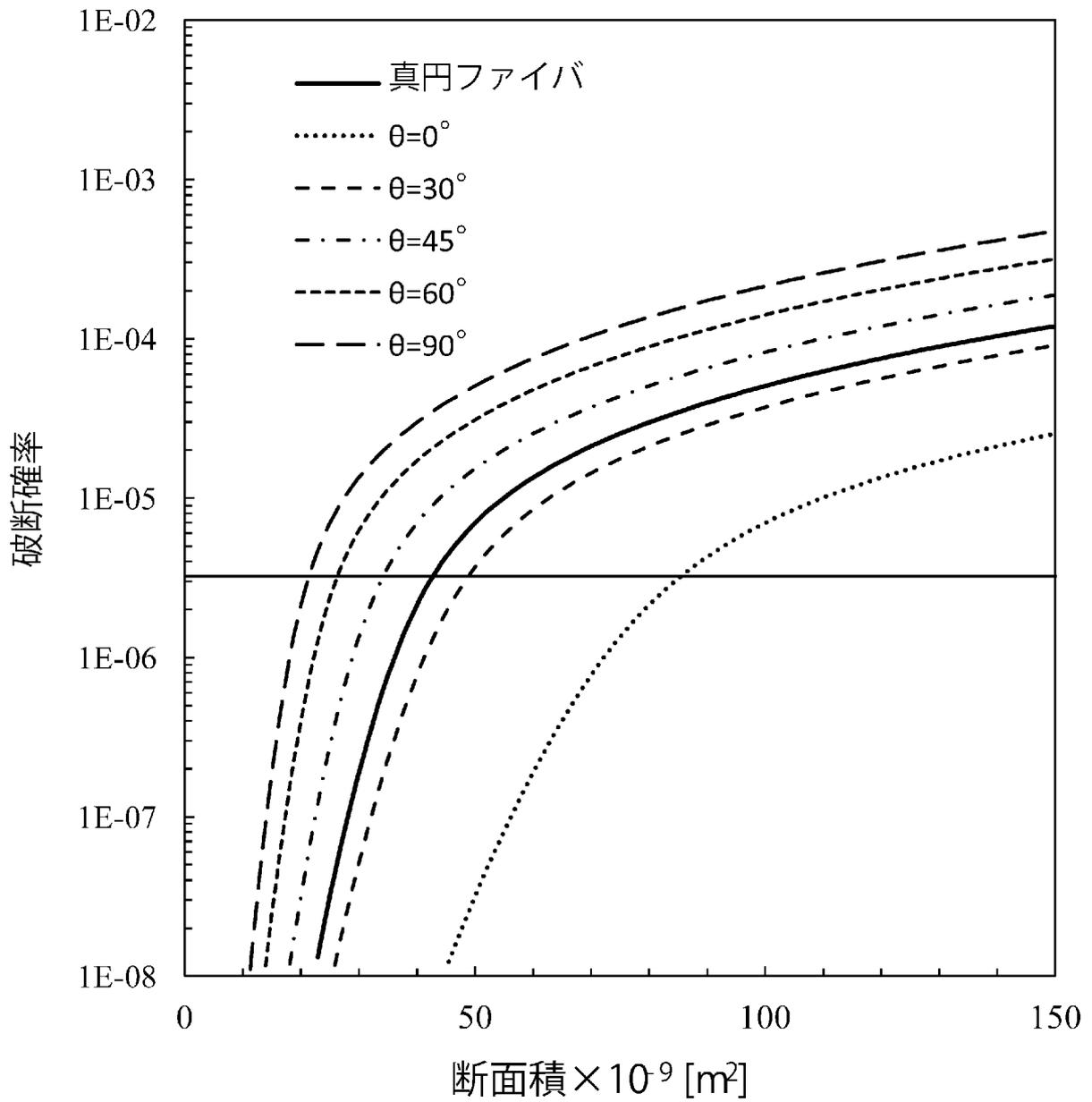
クラッド形状: 楕円

曲げ直径: 60mm

プルーフ: 1%

e=1.5

[図3]



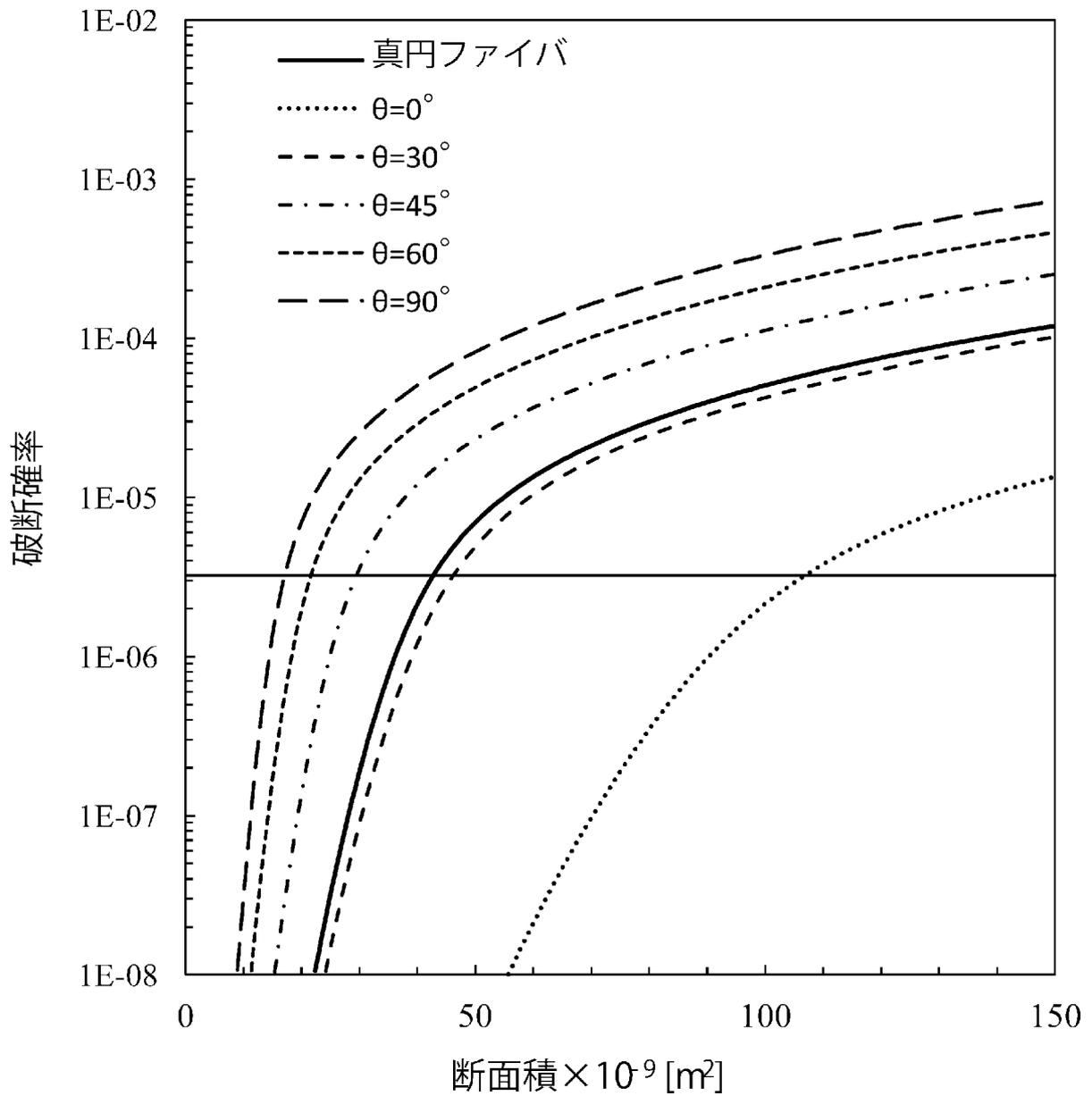
クラッド形状: 楕円

曲げ直径: 60mm

プルーフ: 1%

e=2.0

[図4]



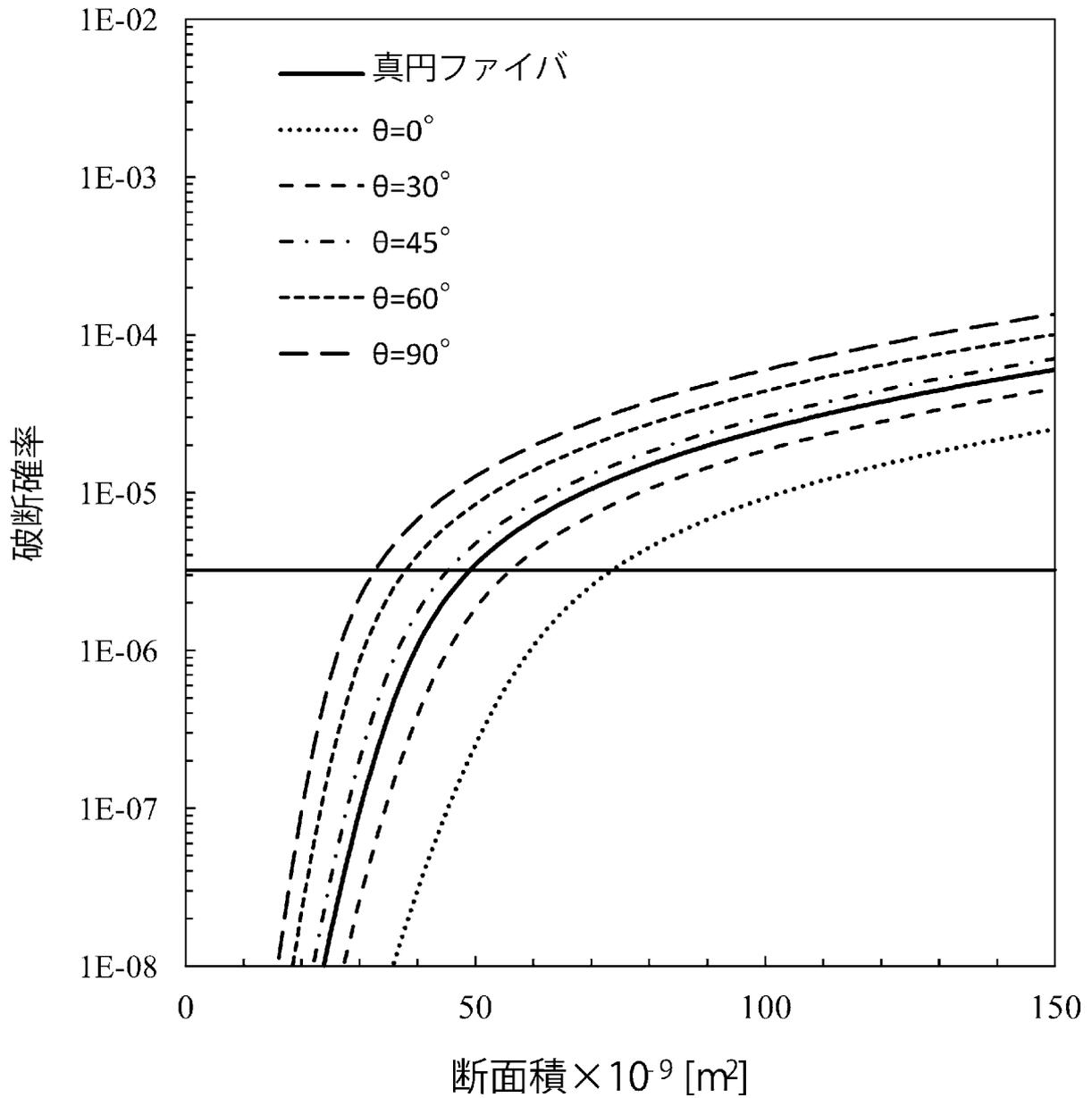
クラッド形状: 楕円

曲げ直径: 60mm

プルーフ: 1%

$e=2.5$

[図5]



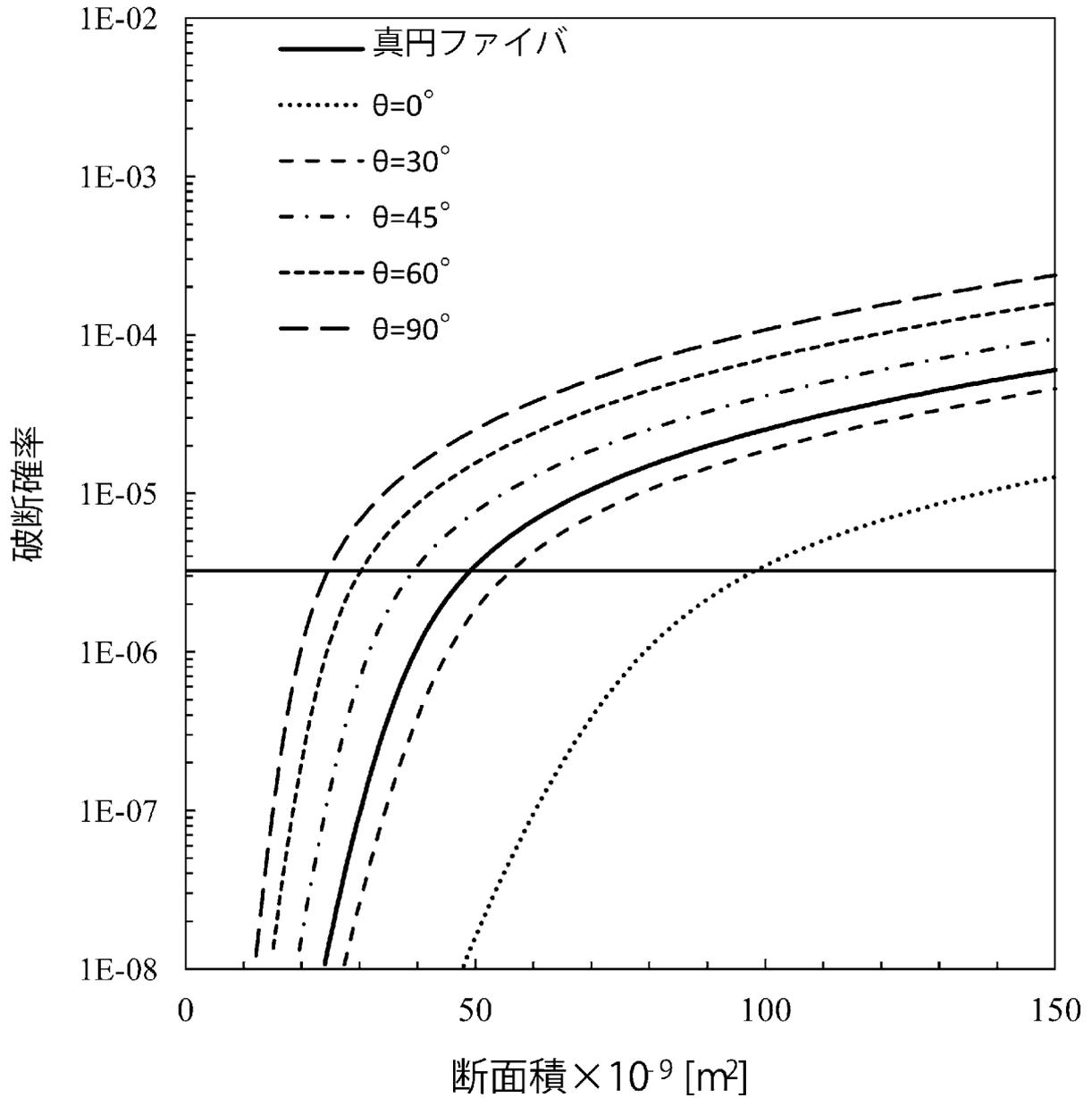
クラッド形状: 楕円

曲げ直径: 30mm

プルーフ: 2%

$e=1.5$

[図6]



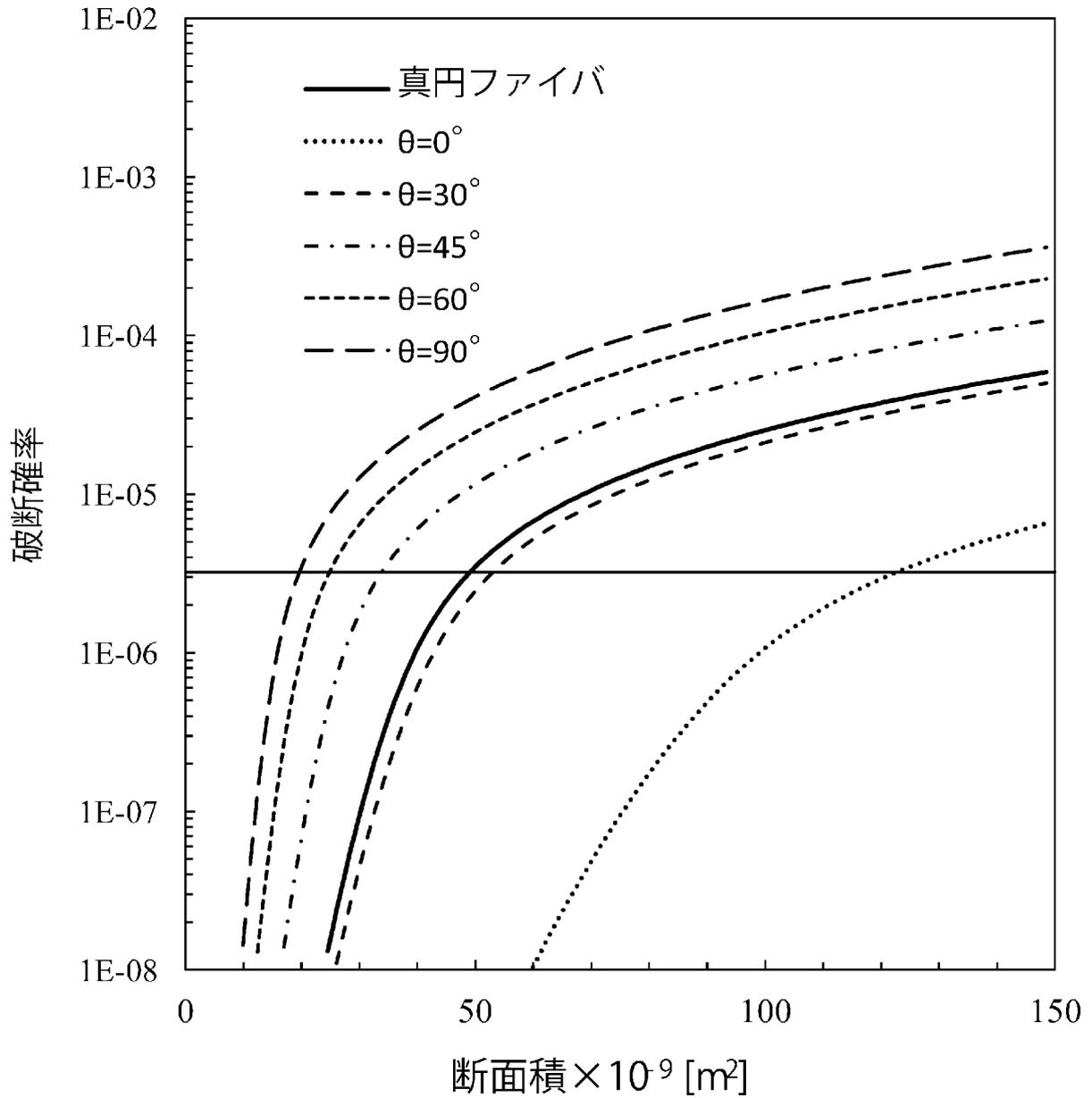
クラッド形状: 楕円

曲げ直径: 30mm

プルーフ: 2%

$e=2.0$

[図7]



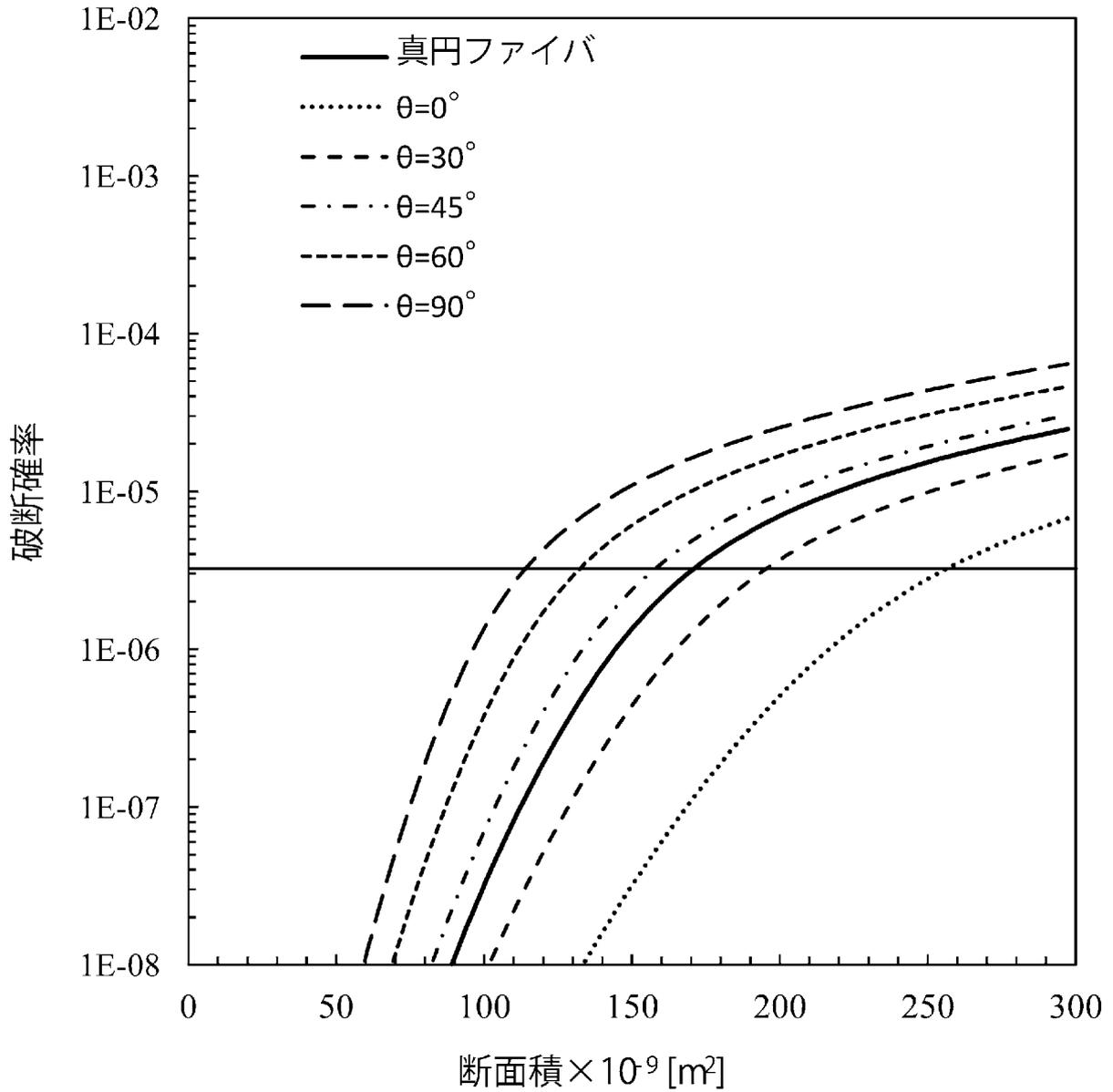
クラッド形状: 楕円

曲げ直径: 30mm

プルーフ: 2%

e=2.5

[図8]



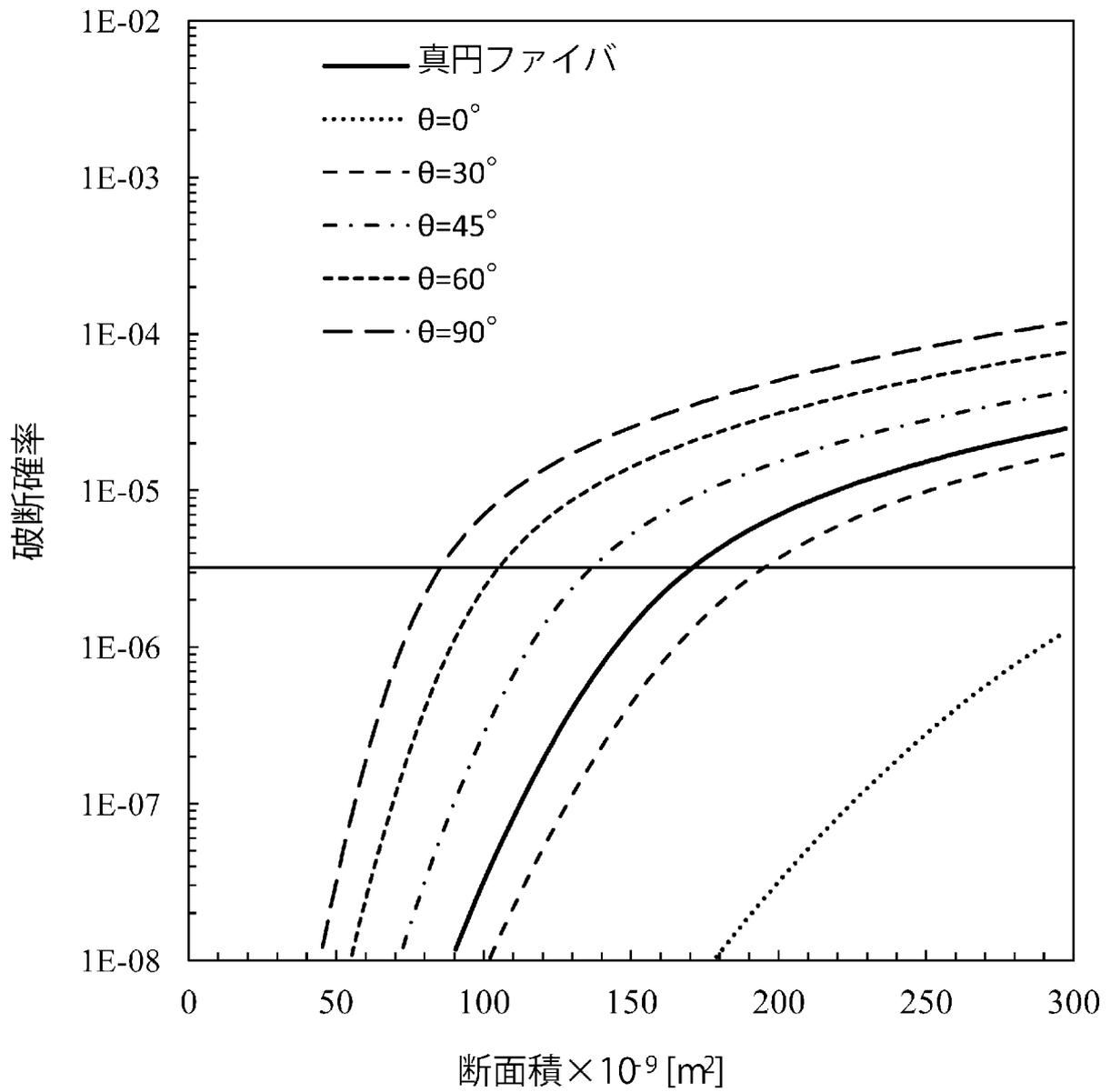
クラッド形状: 楕円

曲げ直径: 60mm

プルーフ: 2%

e=1.5

[図9]



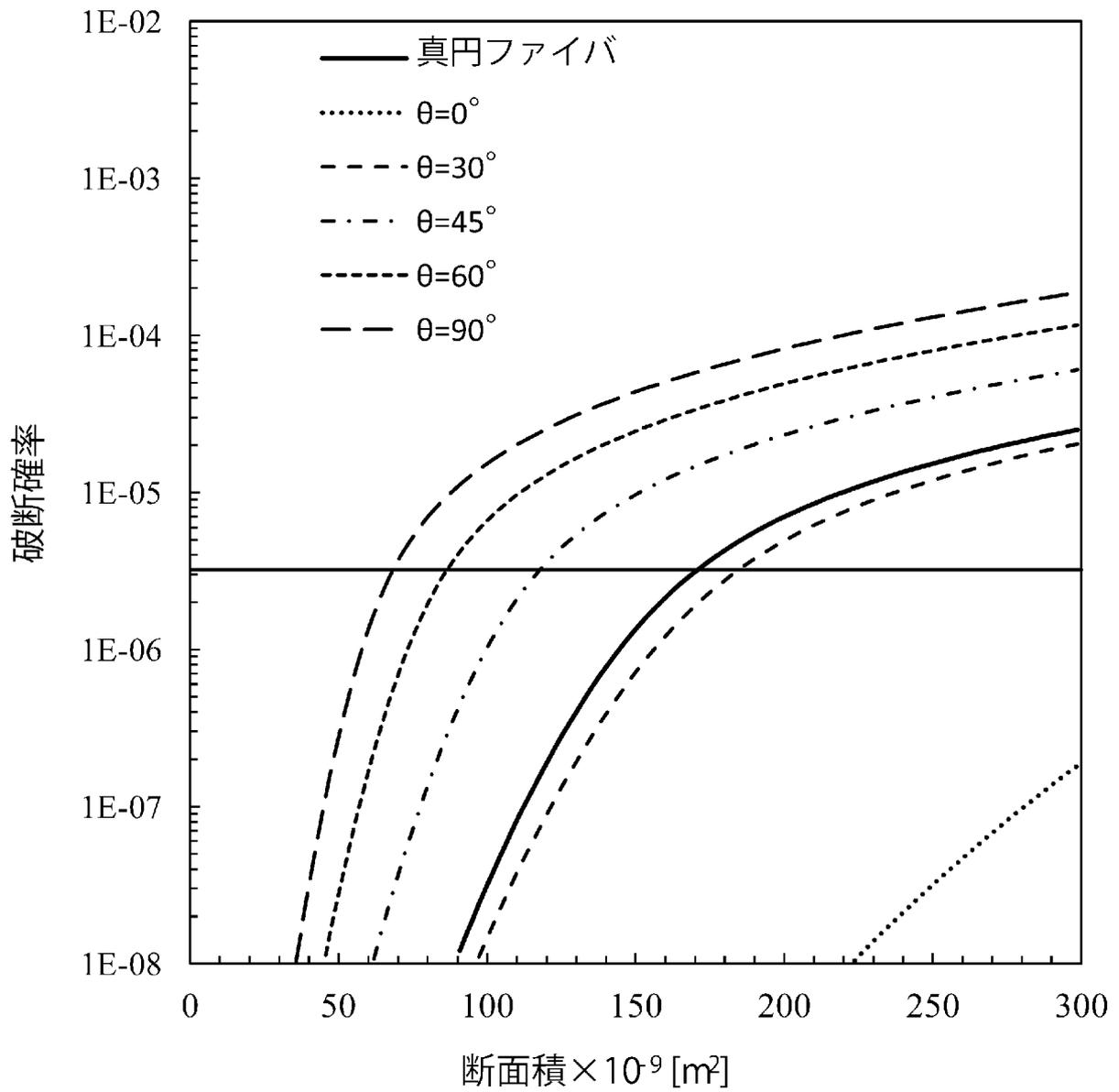
クラッド形状: 楕円

曲げ直径: 60mm

プルーフ: 2%

$e=2.0$

[図10]



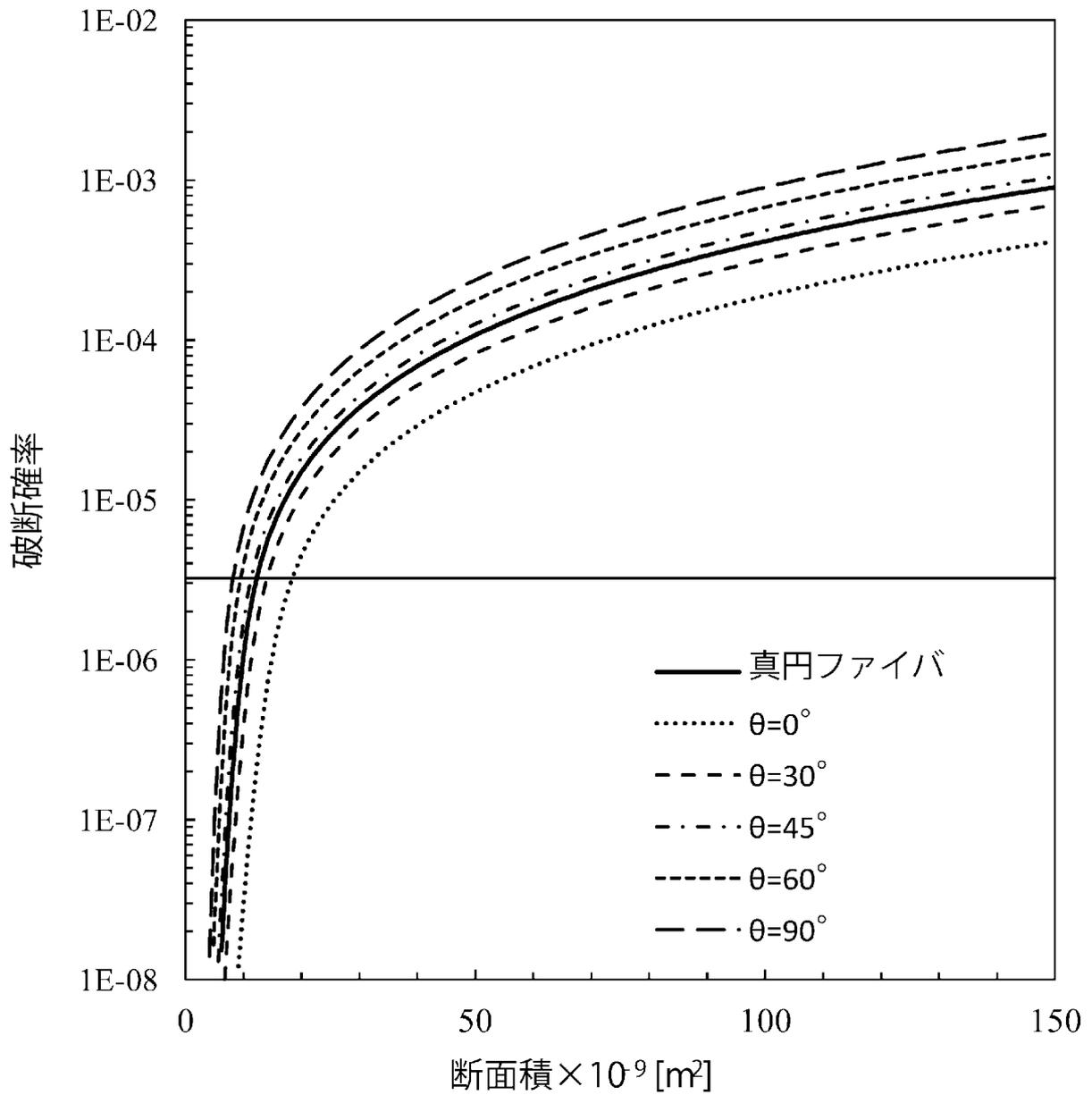
クラッド形状: 楕円

曲げ直径: 60mm

プルーフ: 2%

$e=2.5$

[図11]



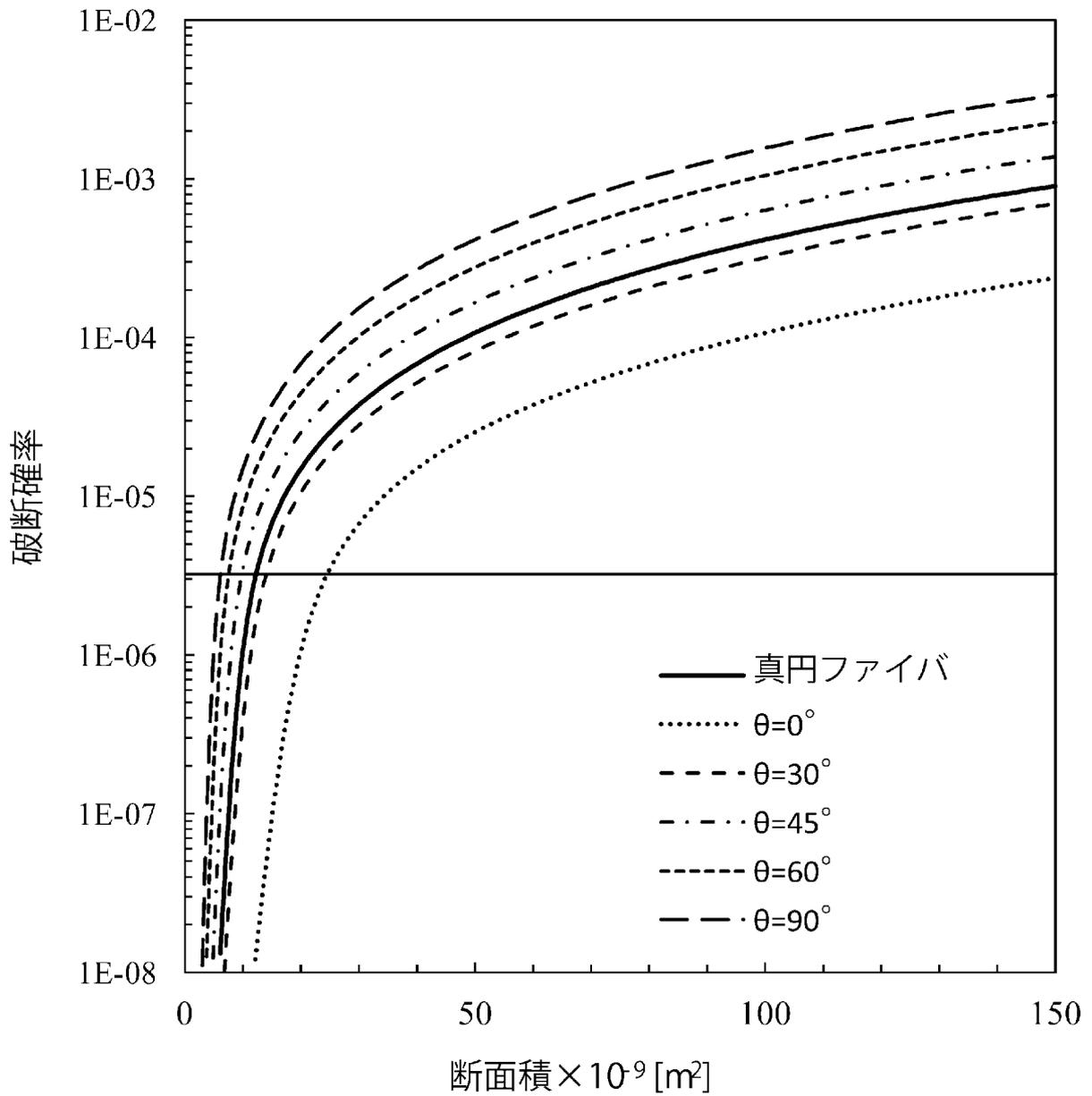
クラッド形状: 楕円

曲げ直径: 30mm

プルーフ: 1%

$e=1.5$

[図12]



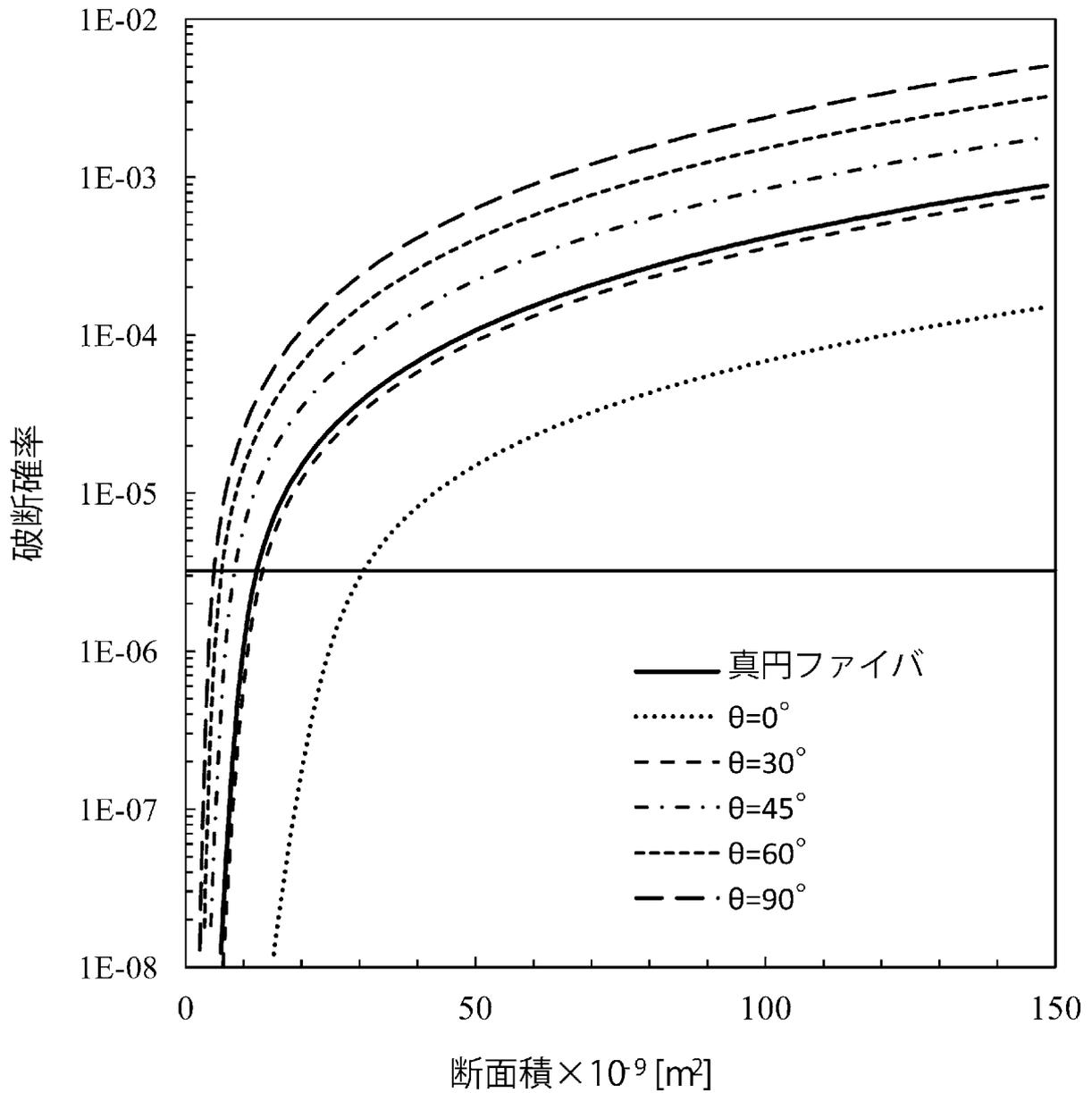
クラッド形状: 楕円

曲げ直径: 30mm

プルーフ: 1%

e=2.0

[図13]



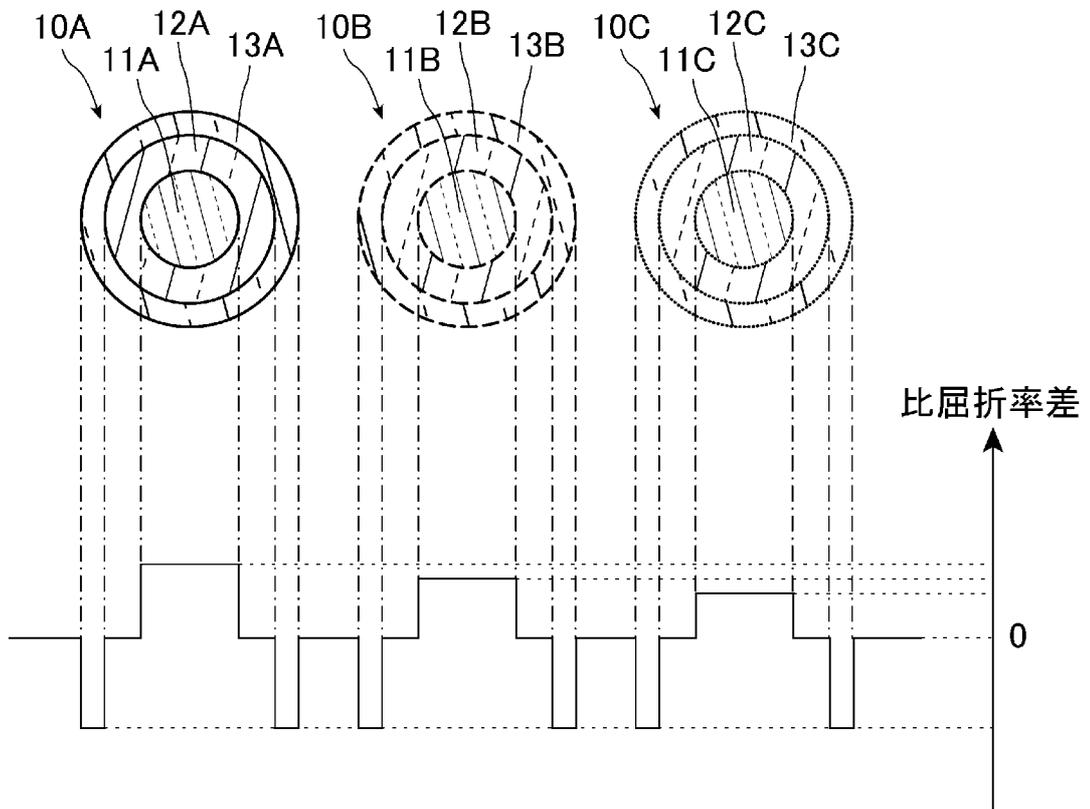
クラッド形状: 楕円

曲げ直径: 30mm

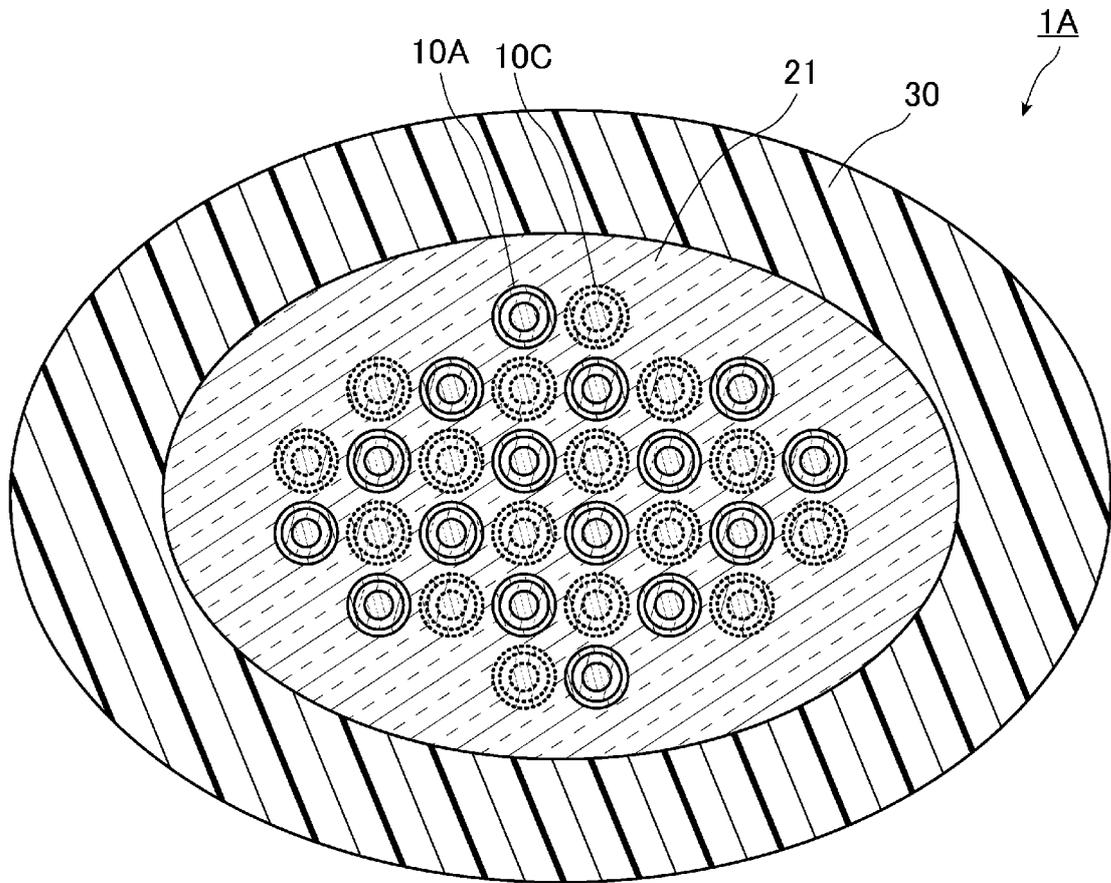
プルーフ: 1%

$e=2.5$

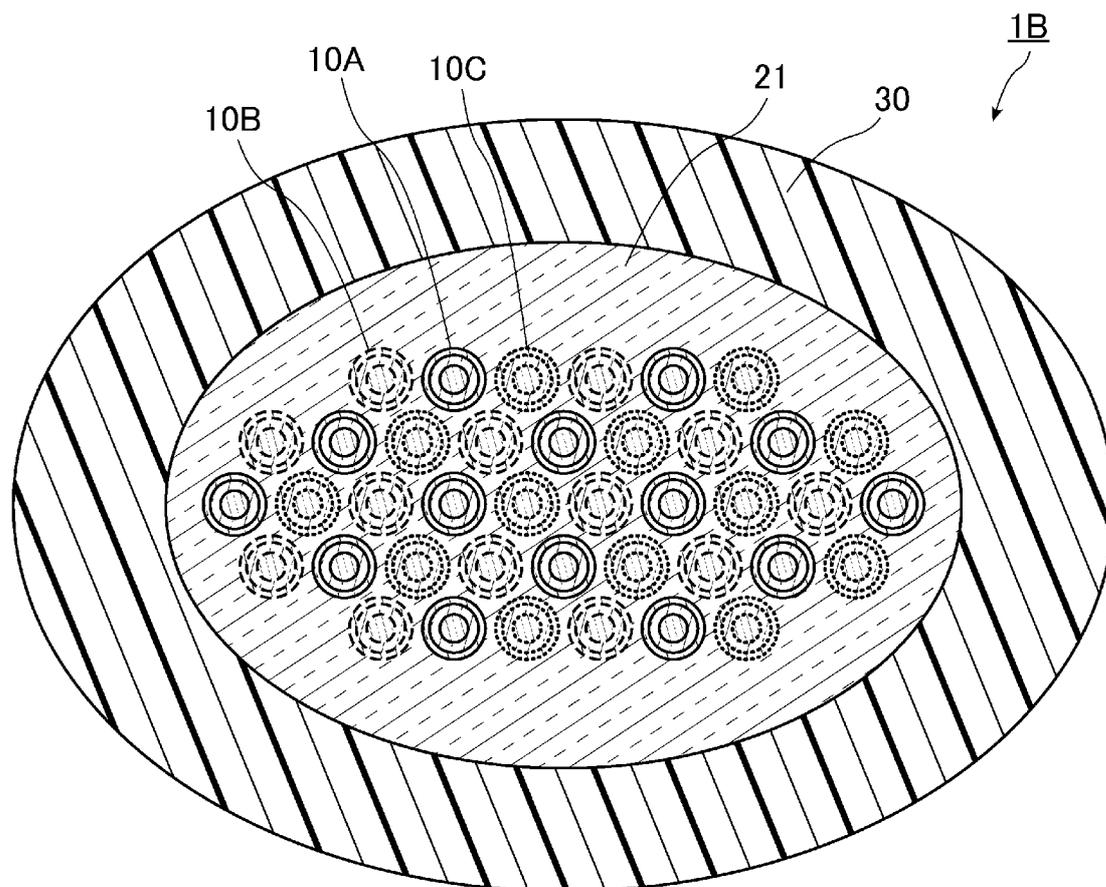
[図14]



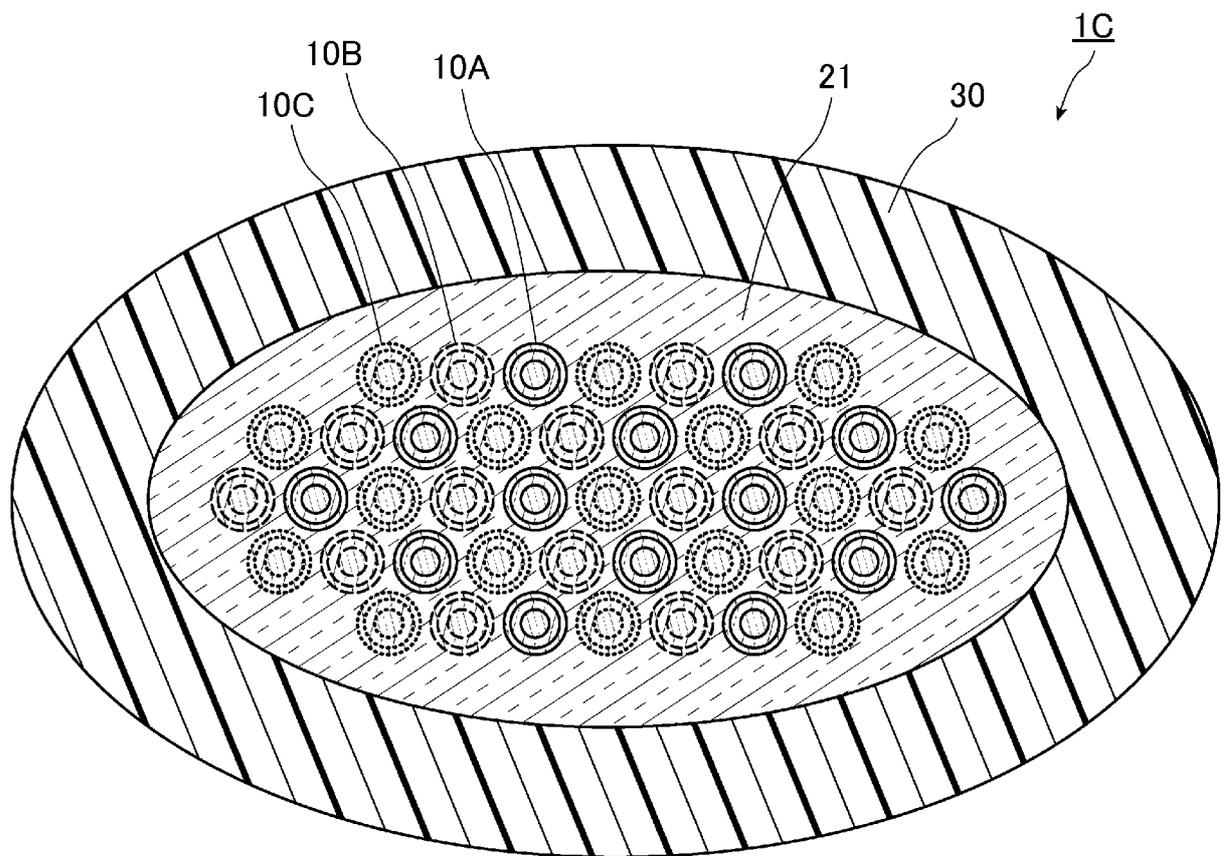
[図15]



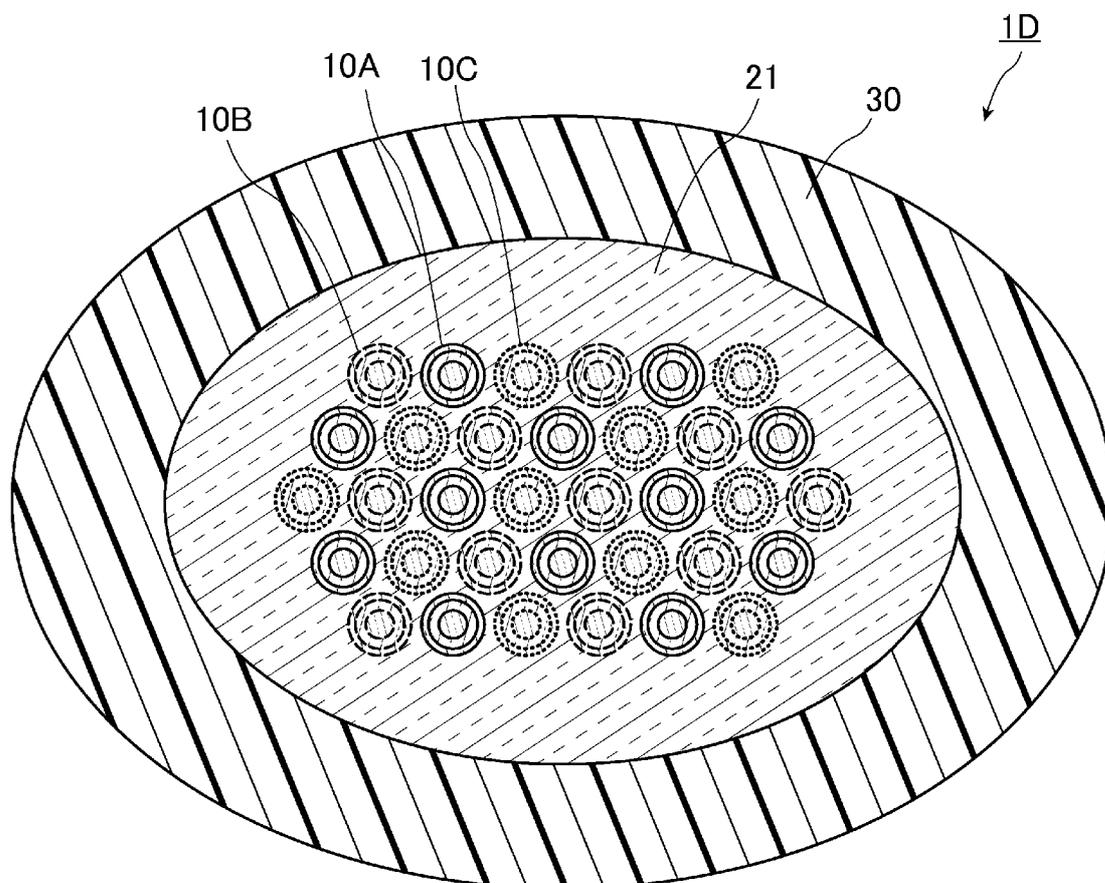
[図16]



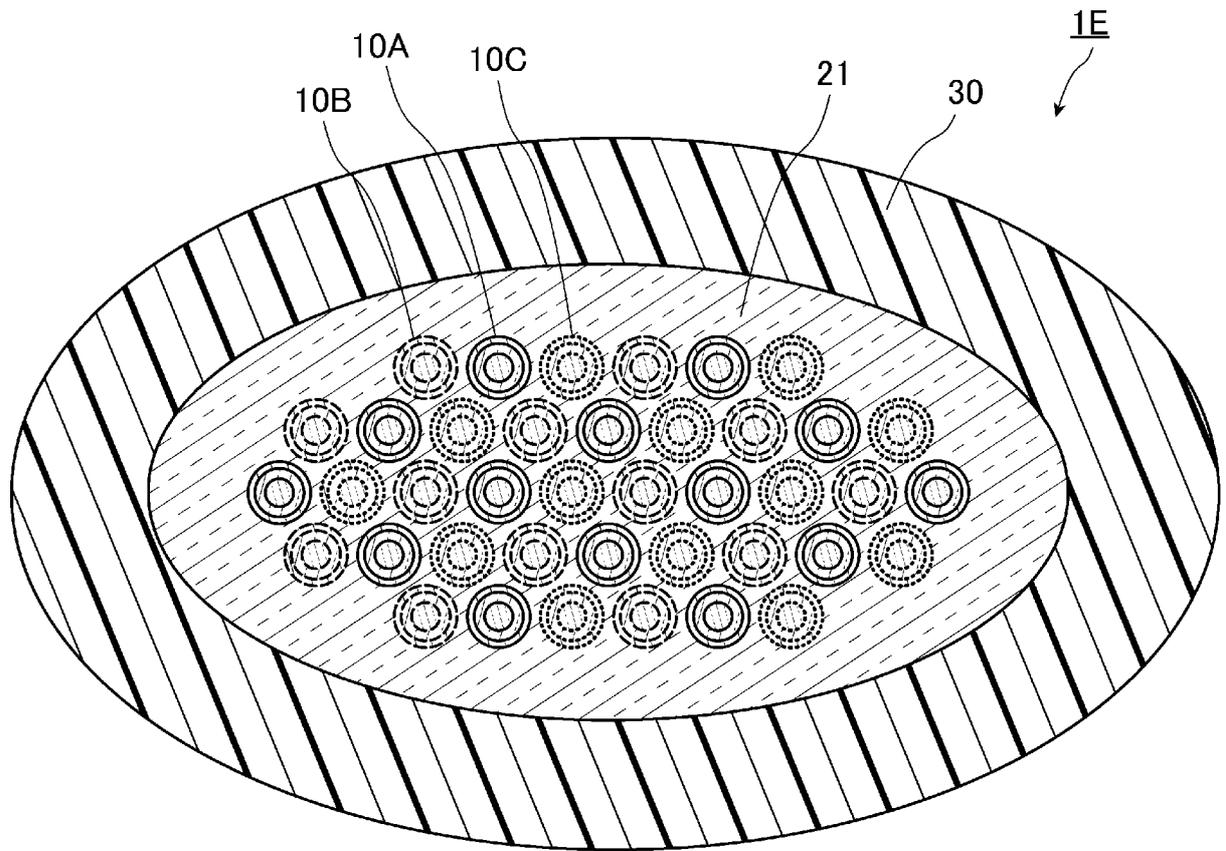
[図17]



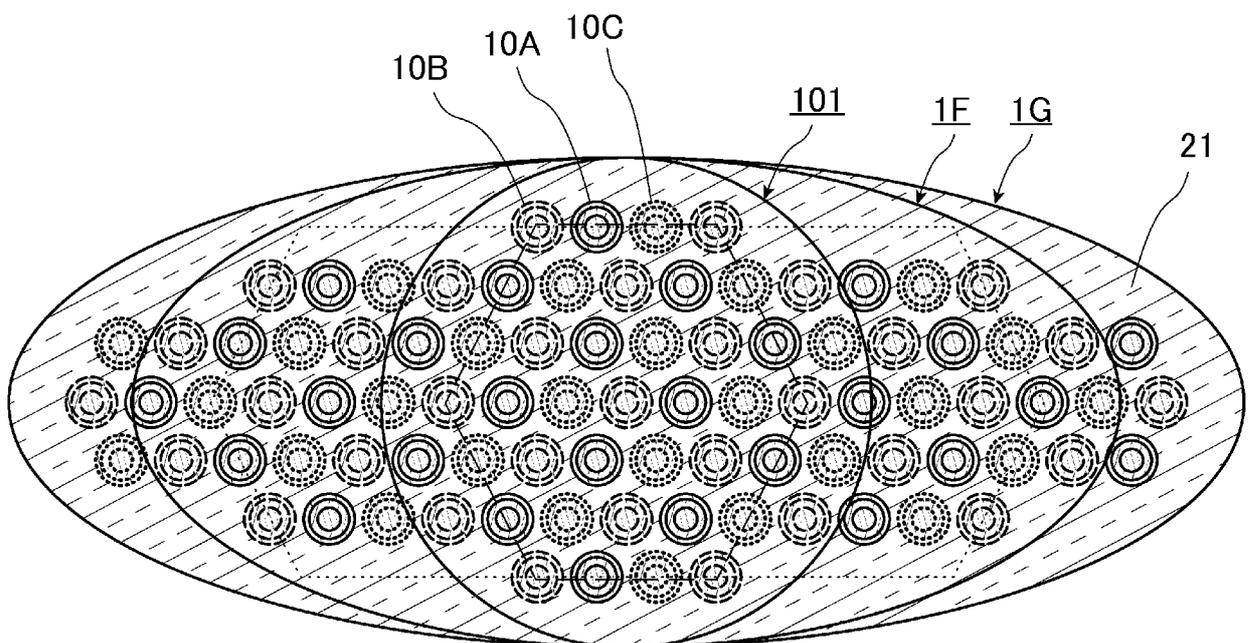
[図18]



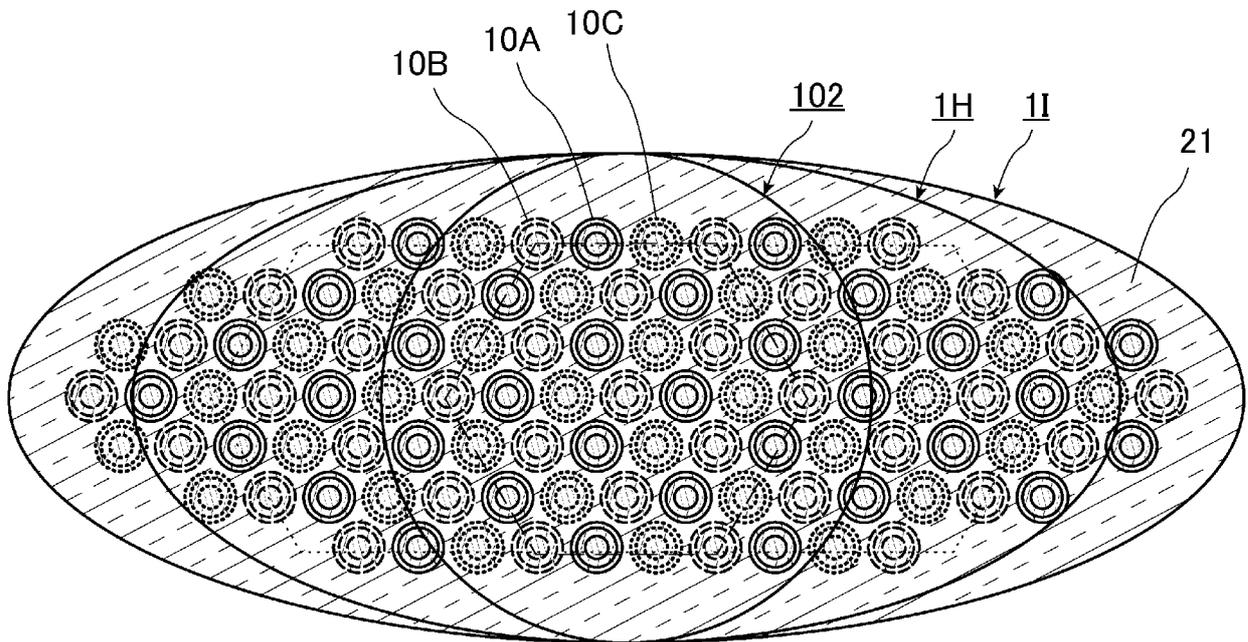
[19]



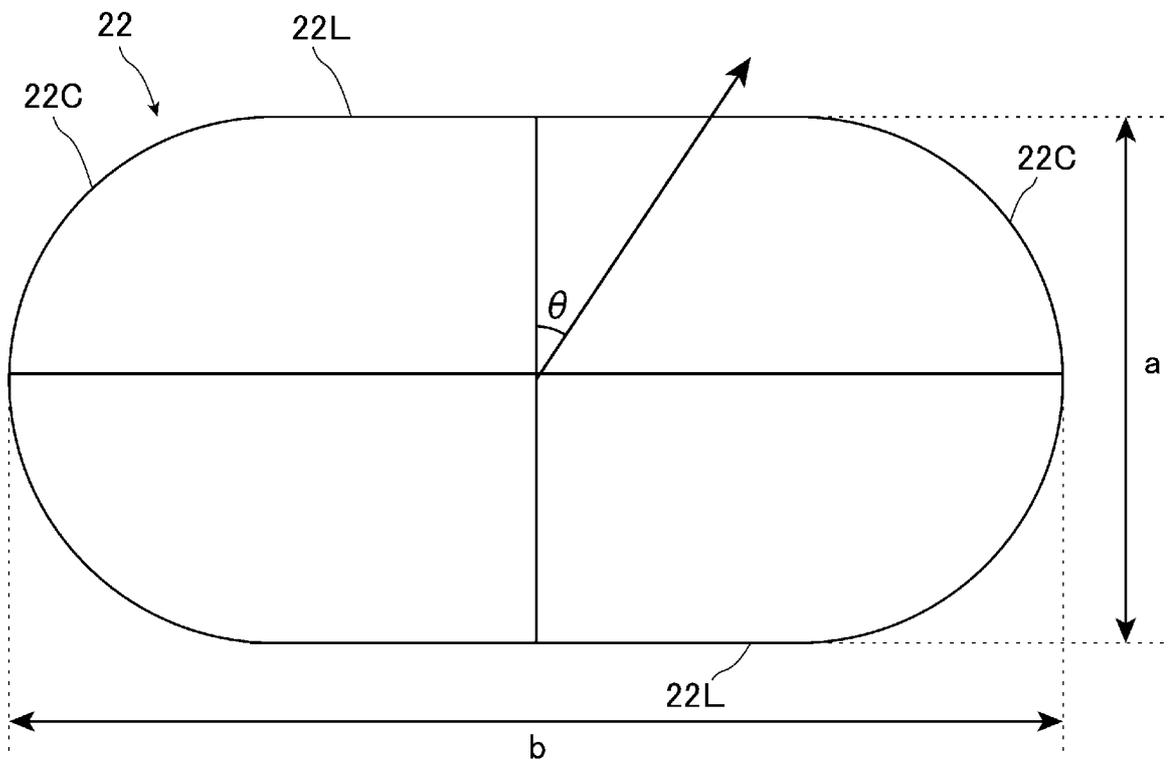
[20]



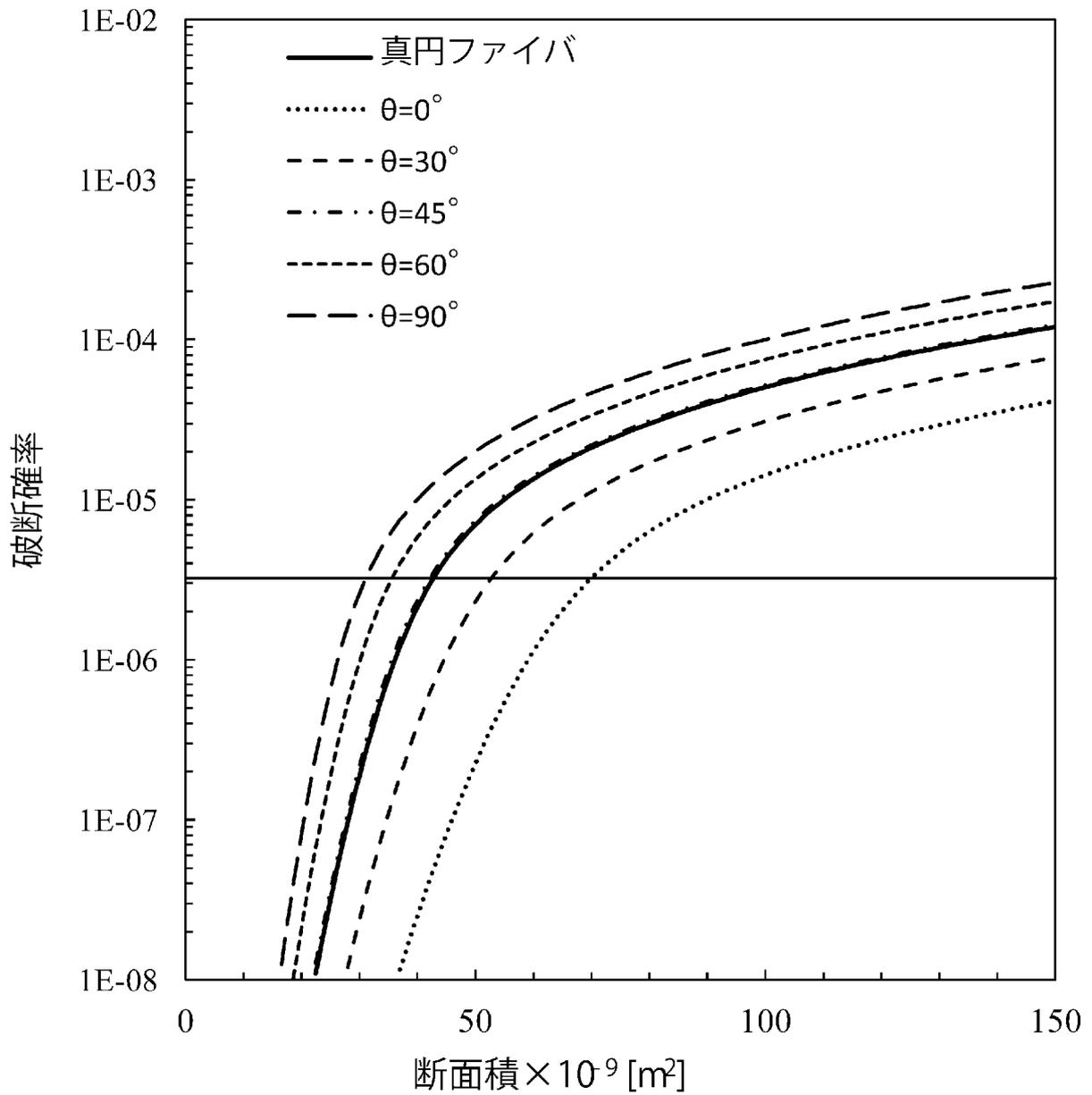
[図21]



[図22]



[図23]



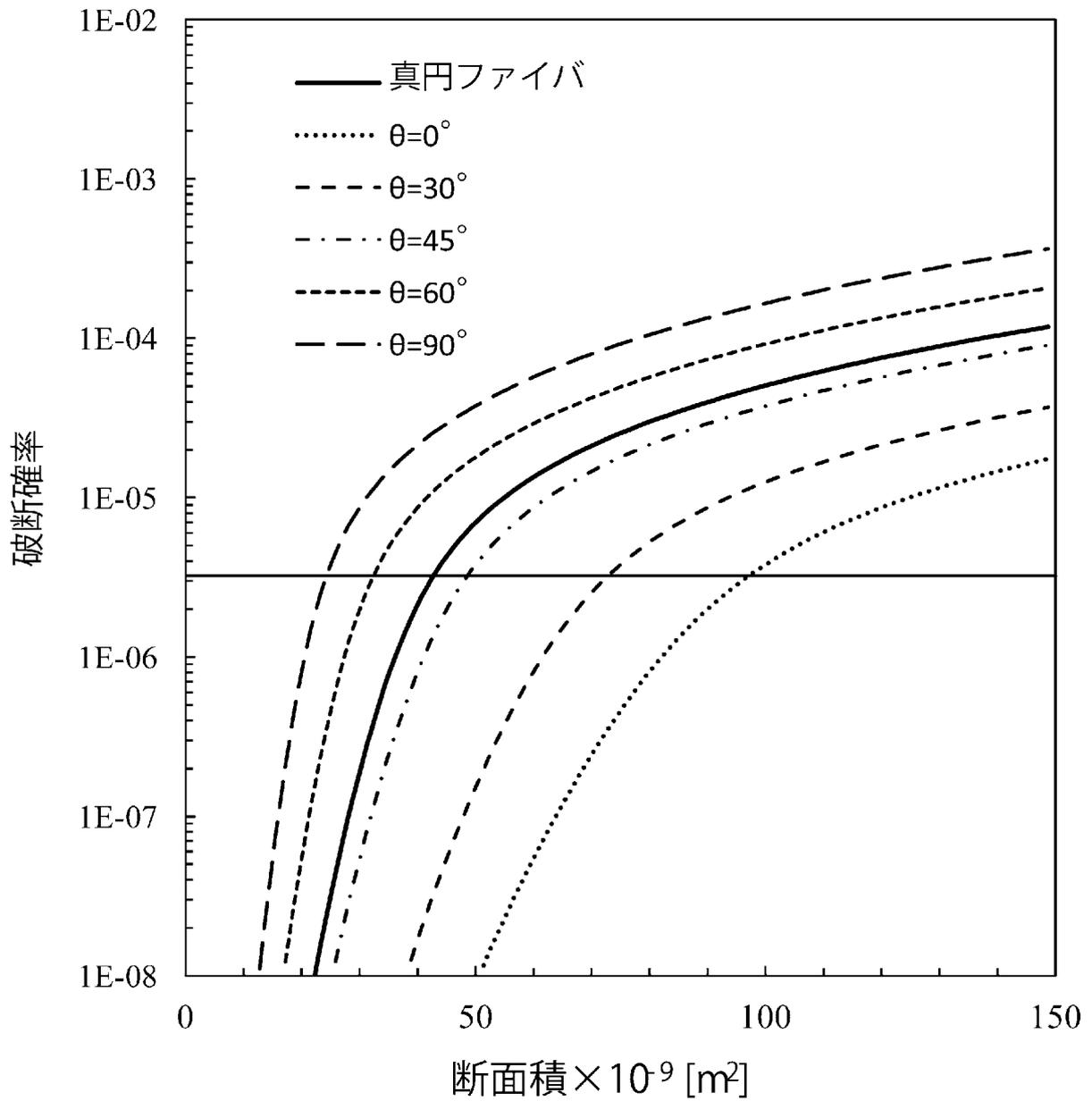
クラッド形状: レーストラック

曲げ直径: 60mm

プルーフ: 1%

$e=1.5$

[図24]



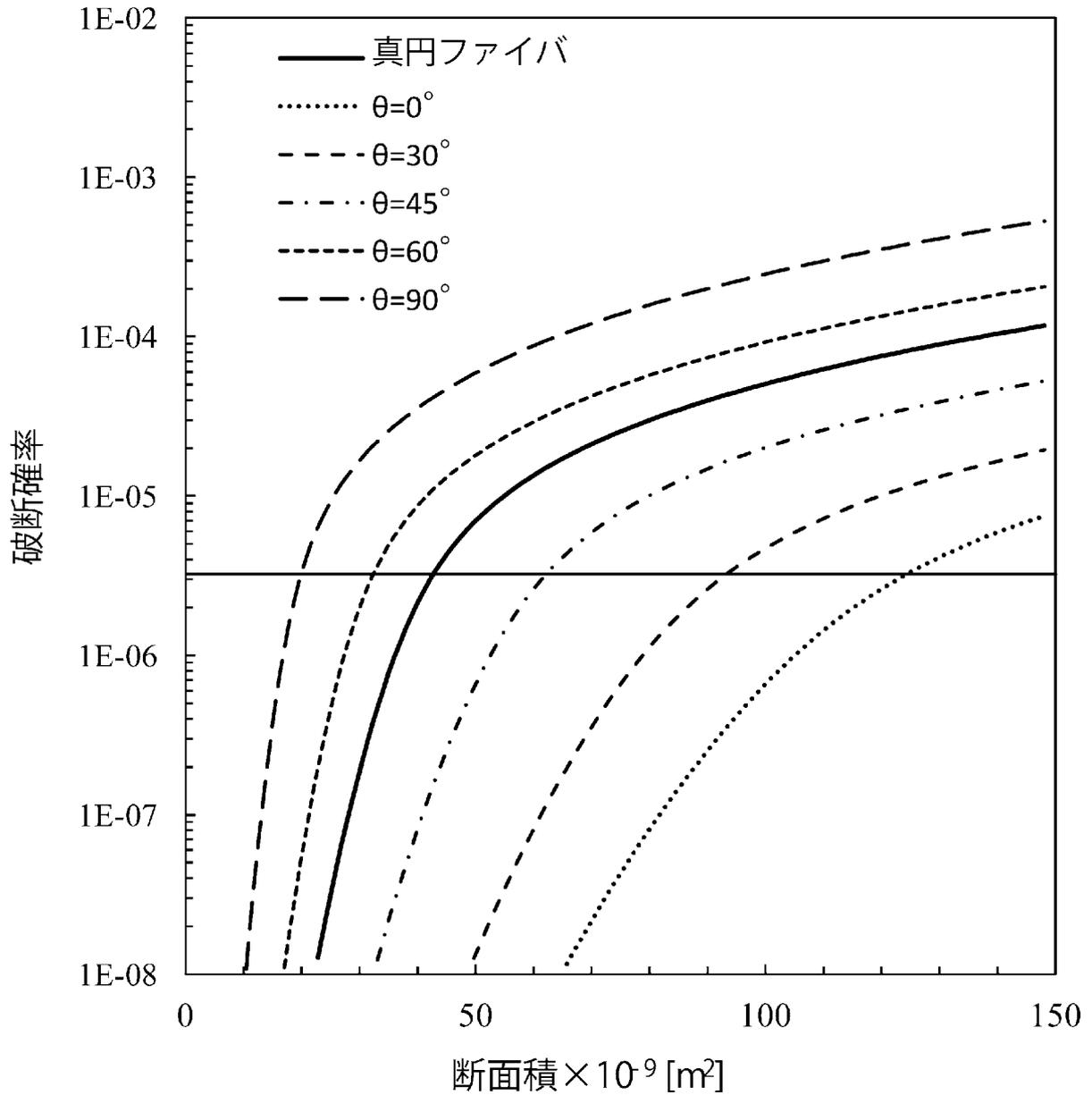
クラッド形状: レーストラック

曲げ直径: 60mm

プルーフ: 1%

e=2.0

[図25]



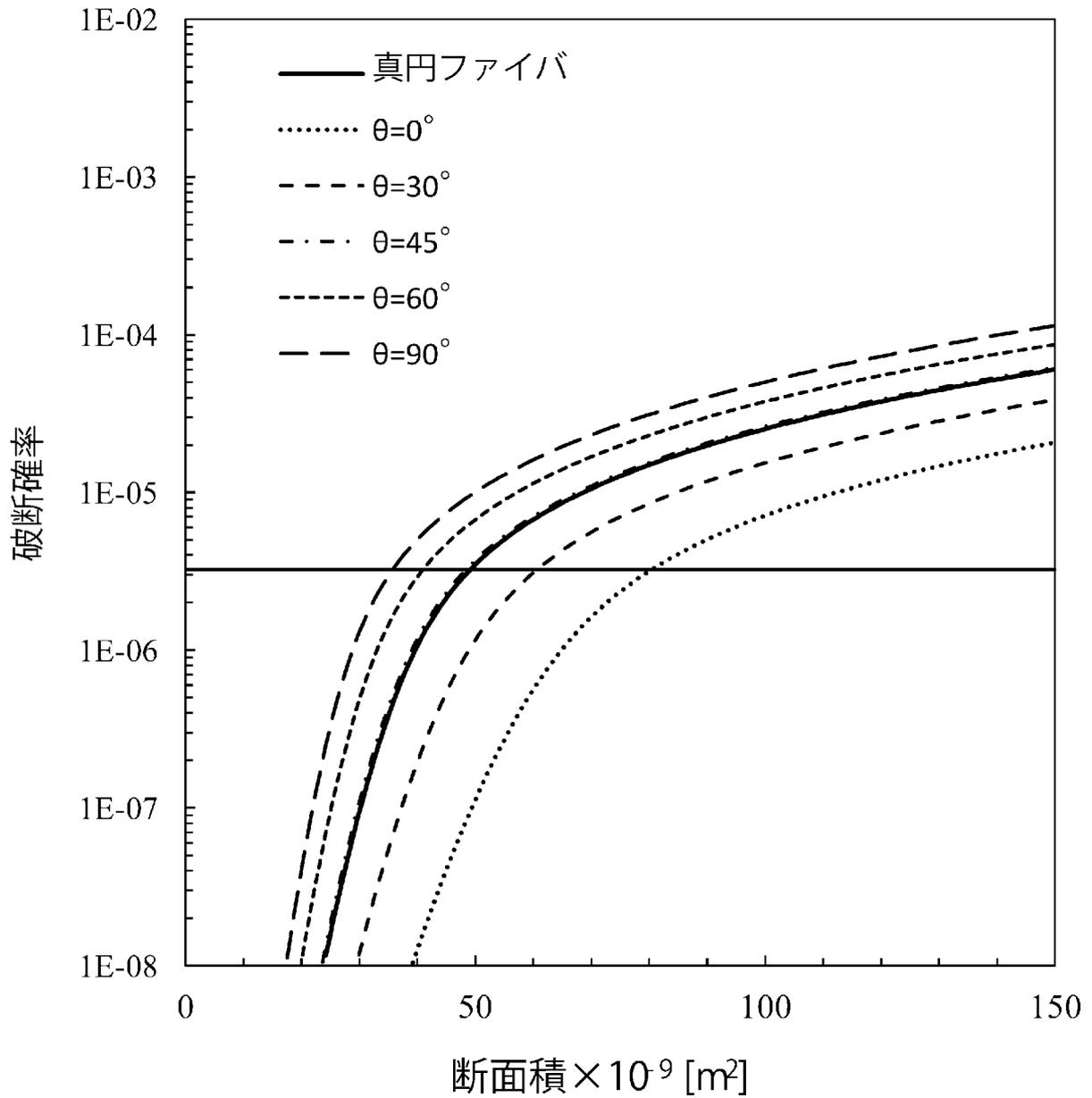
クラッド形状: レーストラック

曲げ直径: 60mm

プルーフ: 1%

$e=2.5$

[図26]



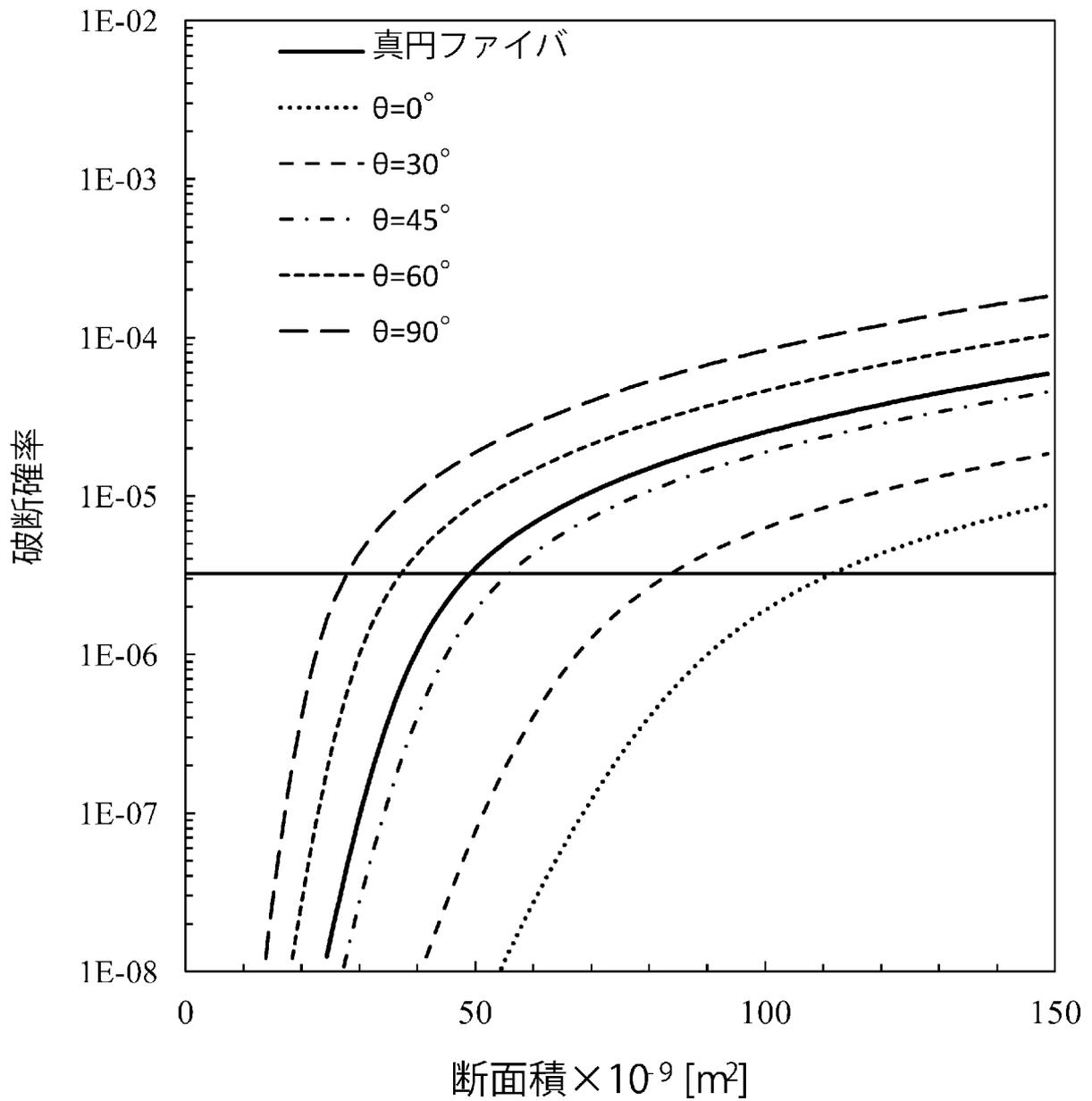
クラッド形状: レーストラック

曲げ直径: 30mm

プルーフ: 2%

$e=1.5$

[図27]



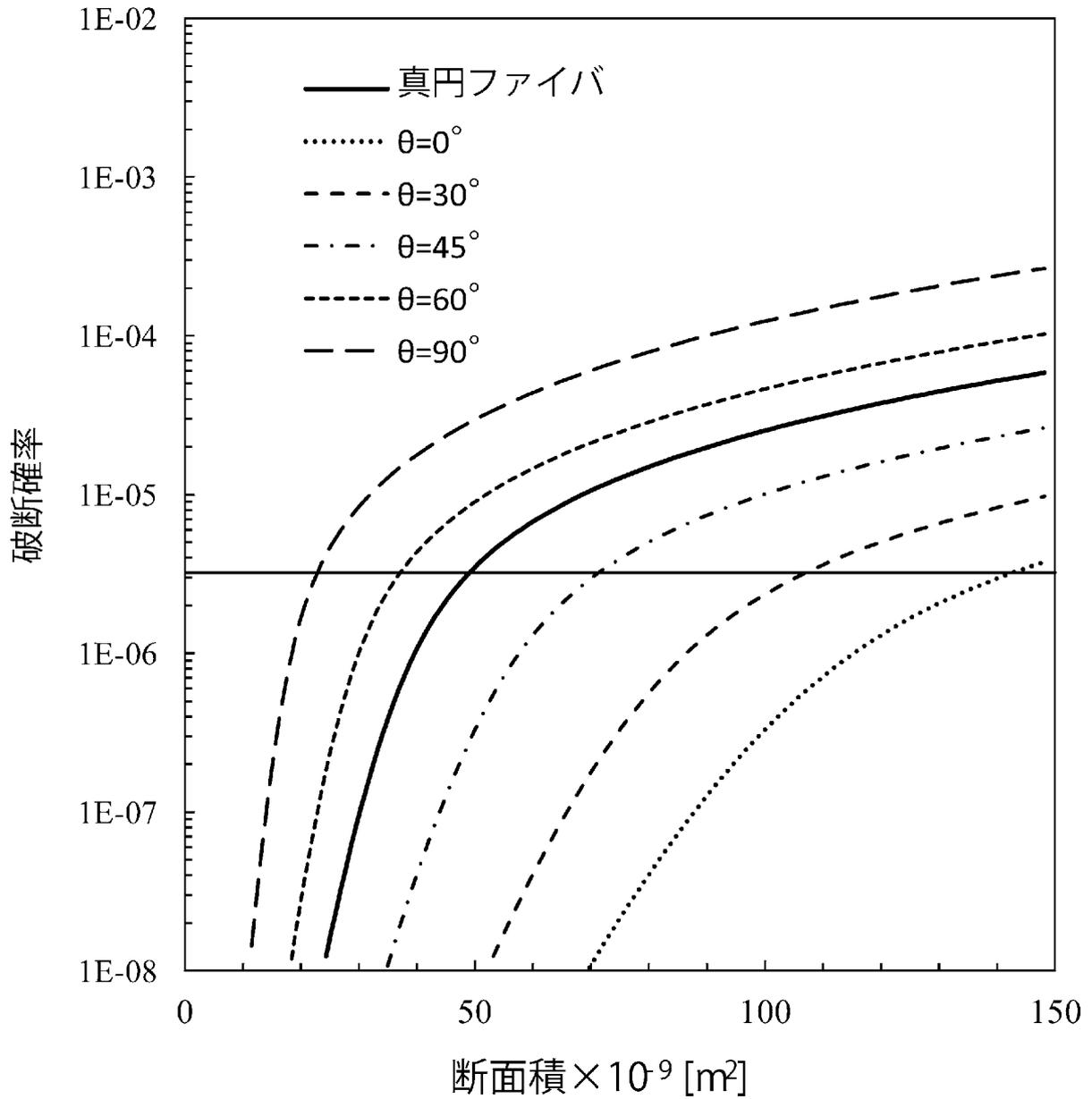
クラッド形状: レーストラック

曲げ直径: 30mm

プルーフ: 2%

e=2.0

[図28]



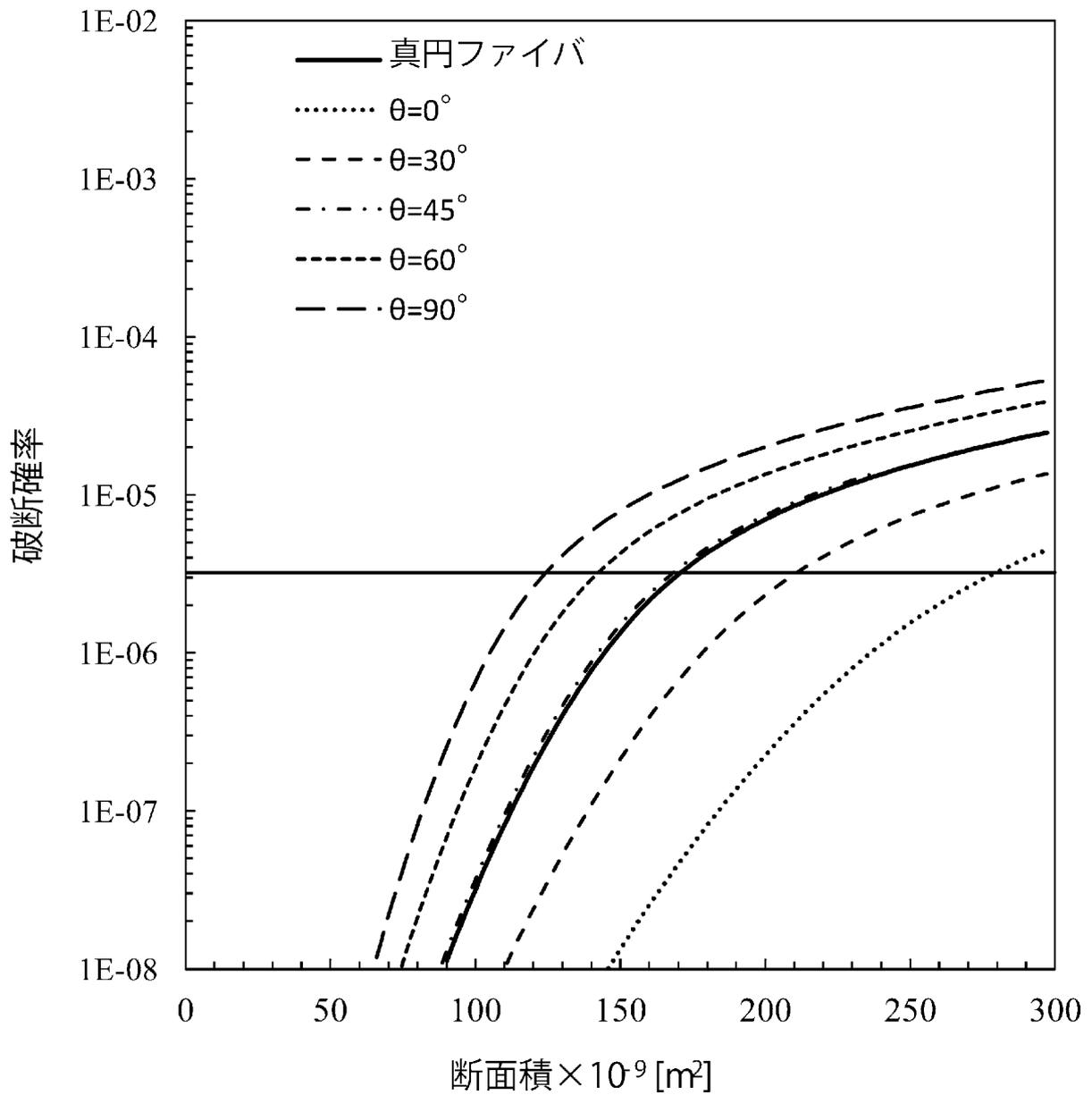
クラッド形状: レーストラック

曲げ直径: 30mm

プルーフ: 2%

e=2.5

[図29]



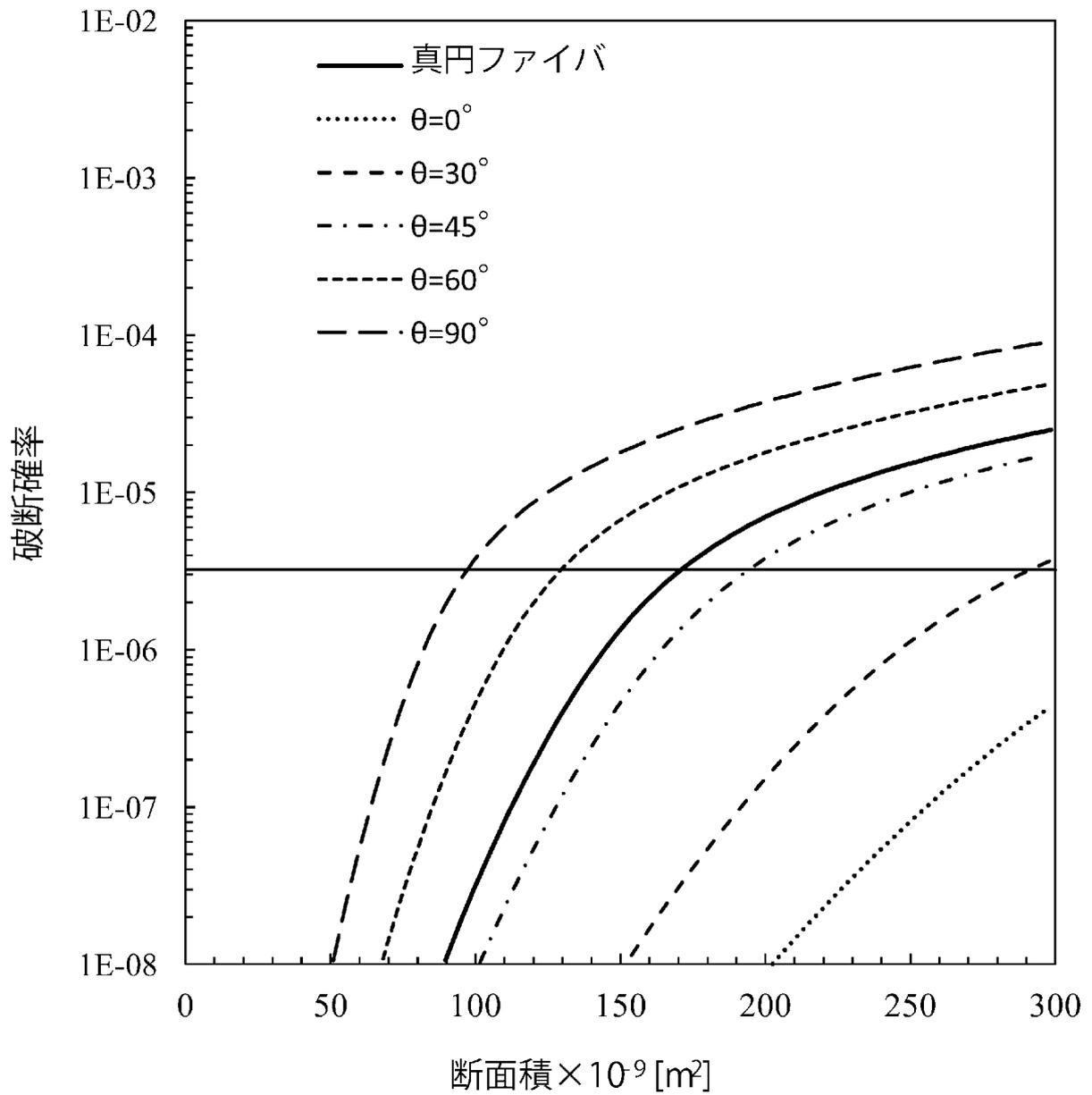
クラッド形状: レーストラック

曲げ直径: 60mm

プルーフ: 2%

$e=1.5$

[図30]



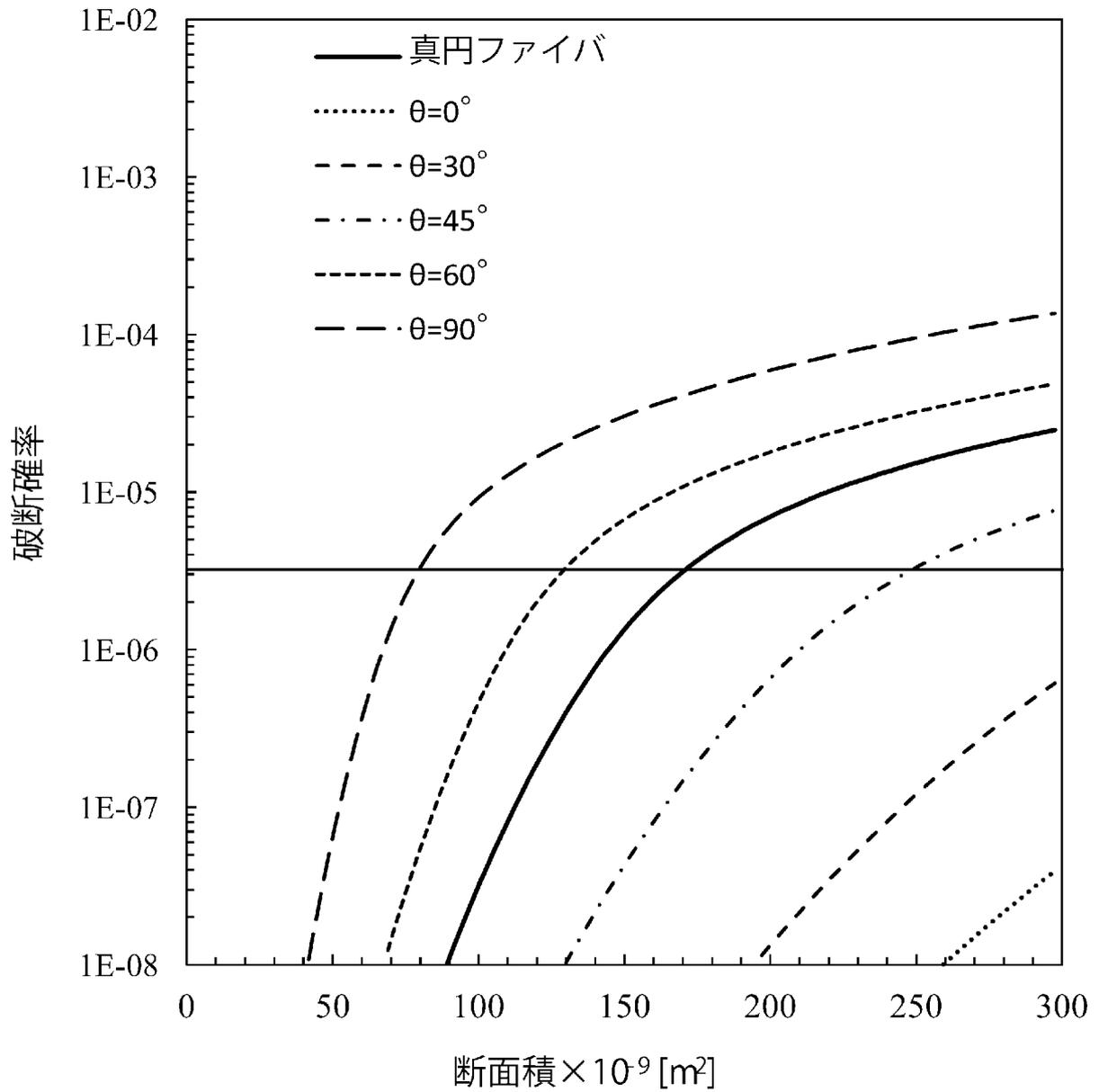
クラッド形状: レーストラック

曲げ直径: 60mm

プルーフ: 2%

$e=2.0$

[図31]



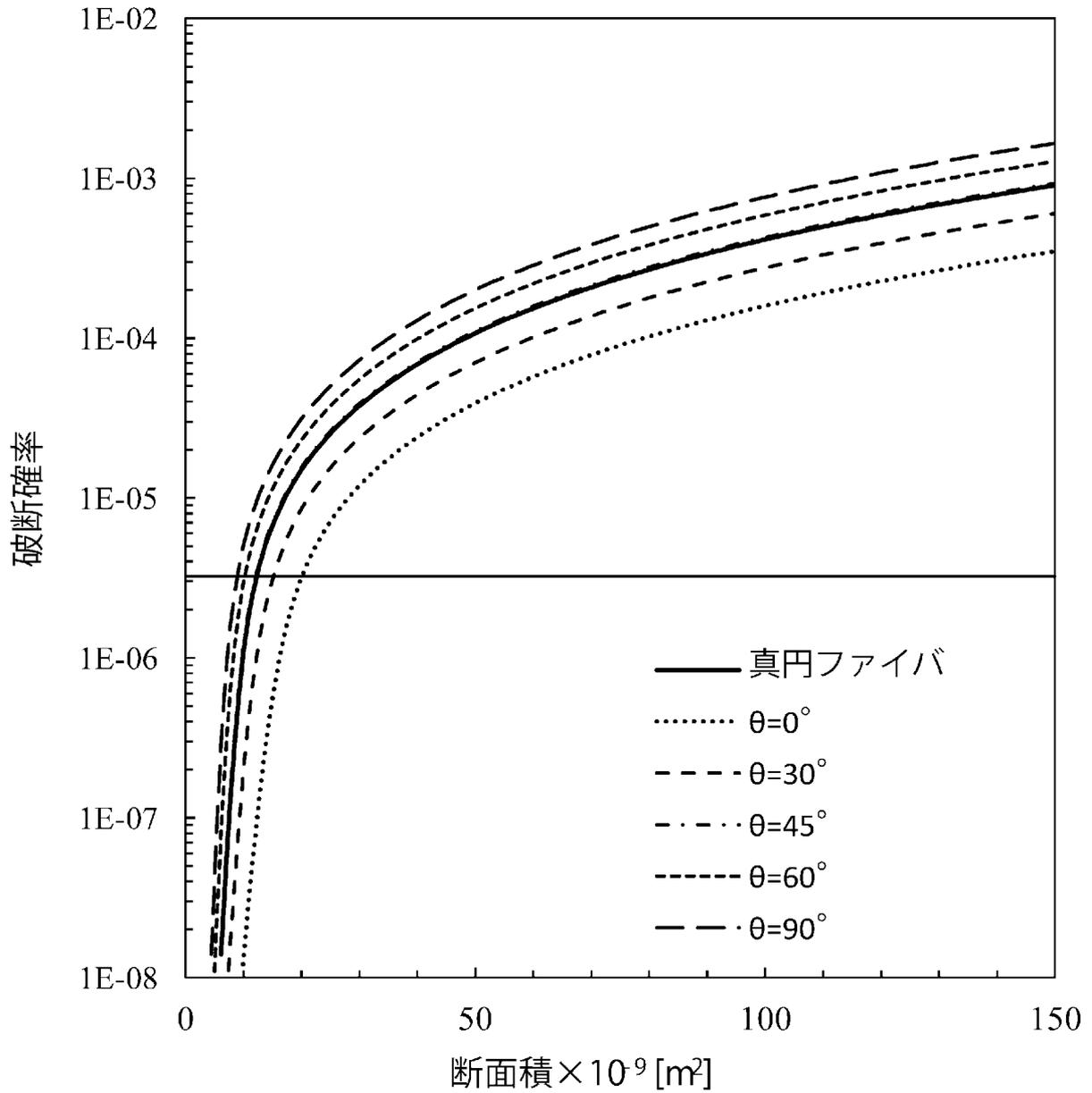
クラッド形状: レーストラック

曲げ直径: 60mm

プルーフ: 2%

$e=2.5$

[図32]



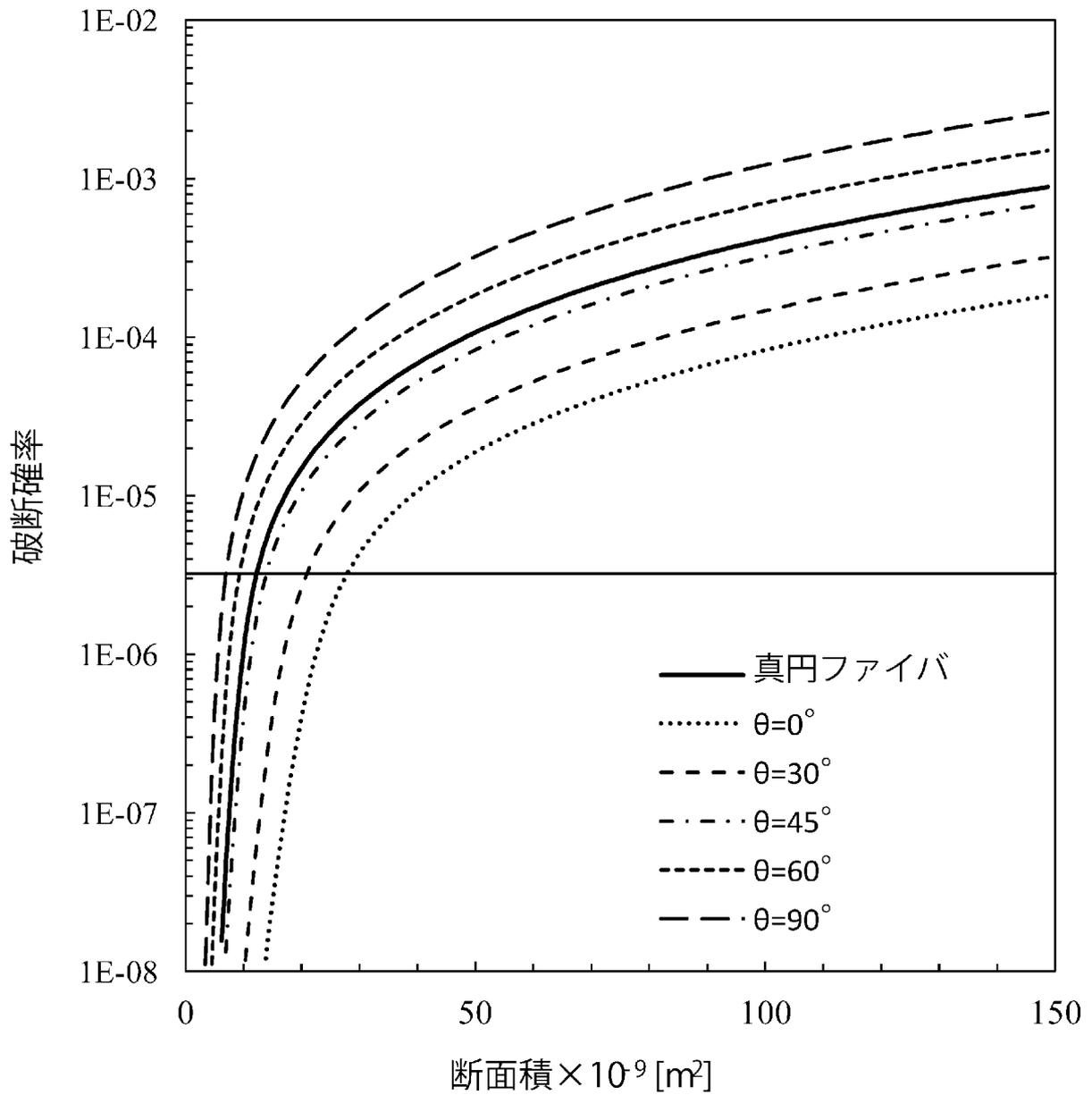
クラッド形状: レーストラック

曲げ直径: 30mm

プルーフ: 1%

$e=1.5$

[図33]



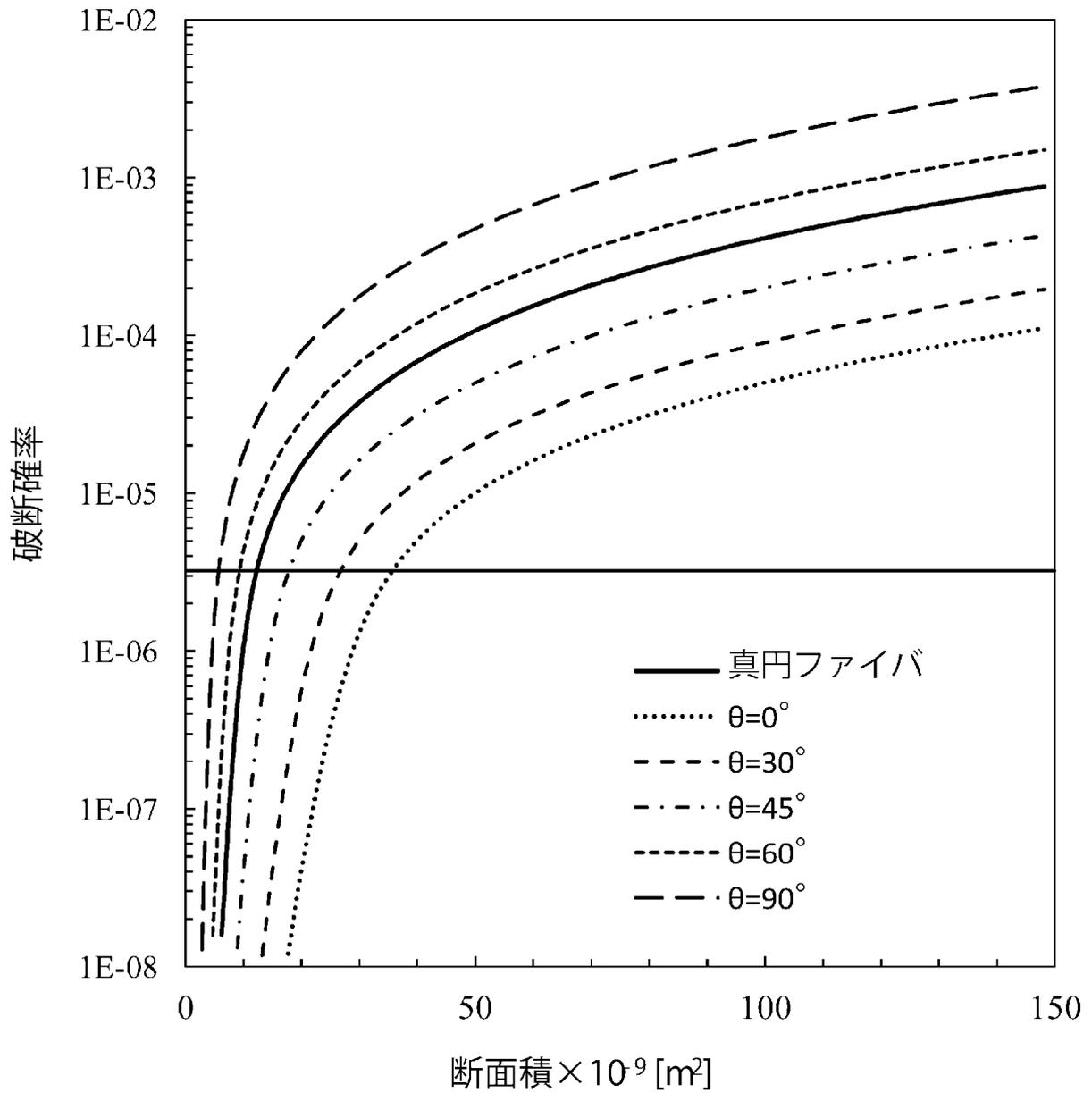
クラッド形状: レーストラック

曲げ直径: 30mm

プルーフ: 1%

e=2.0

[図34]



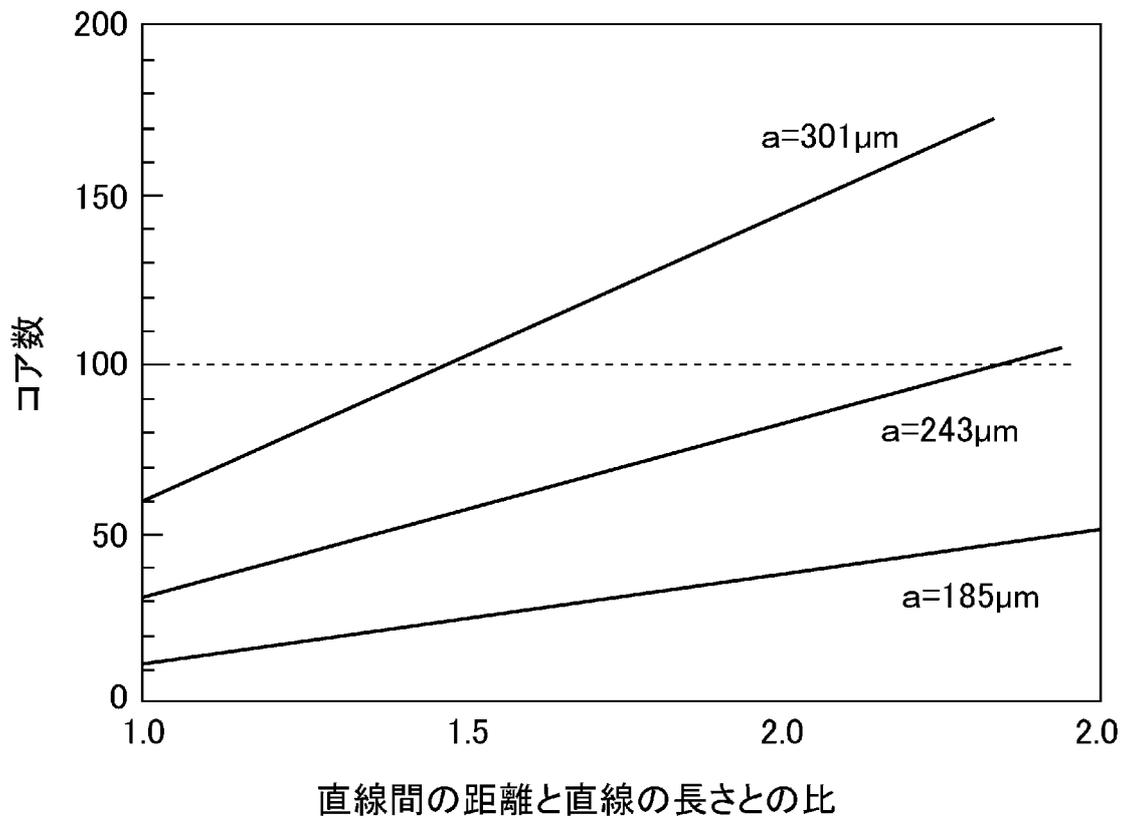
クラッド形状: レーストラック

曲げ直径: 30mm

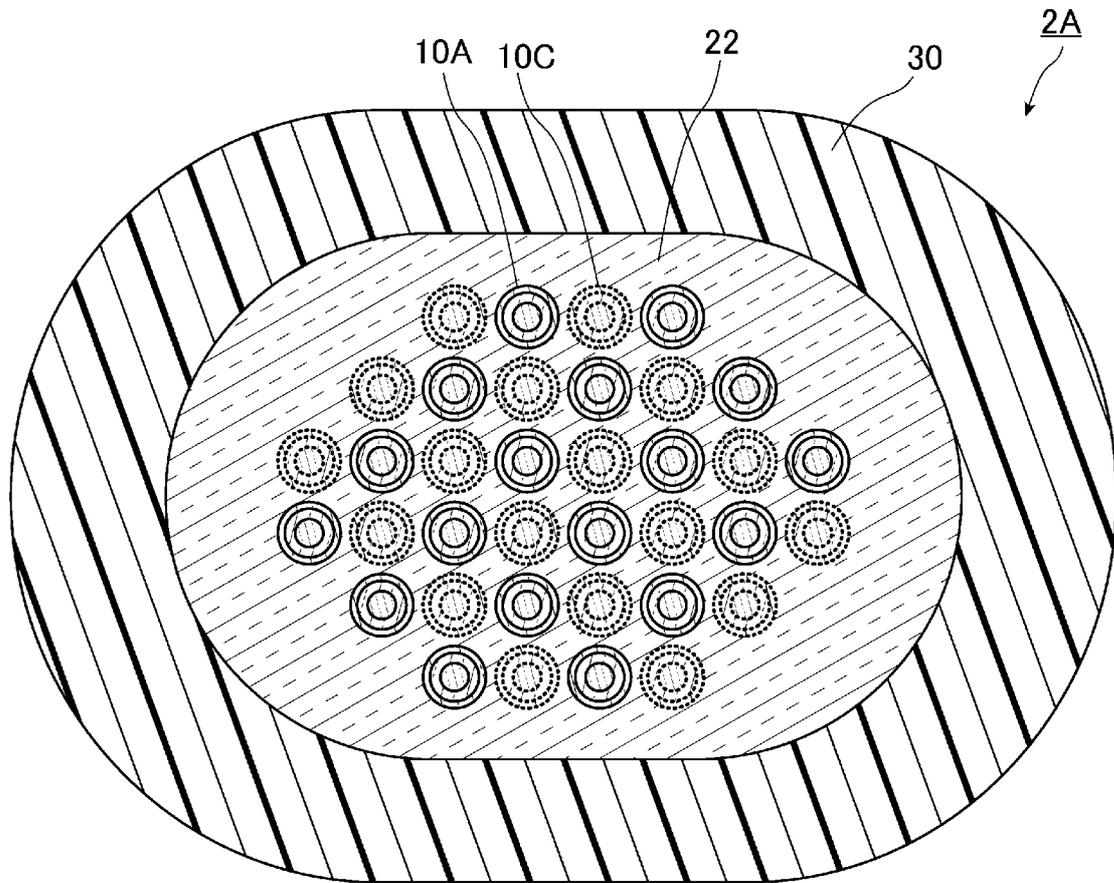
プルーフ: 1%

e=2.5

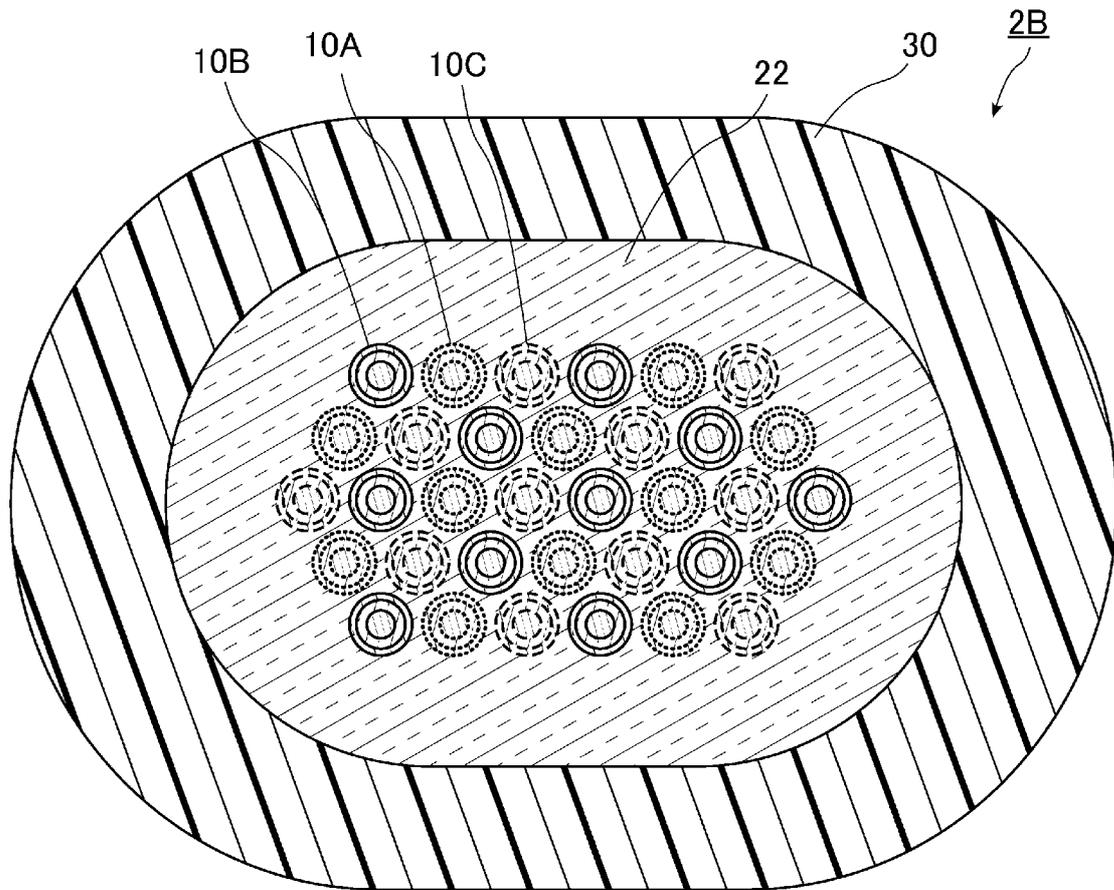
[図35]



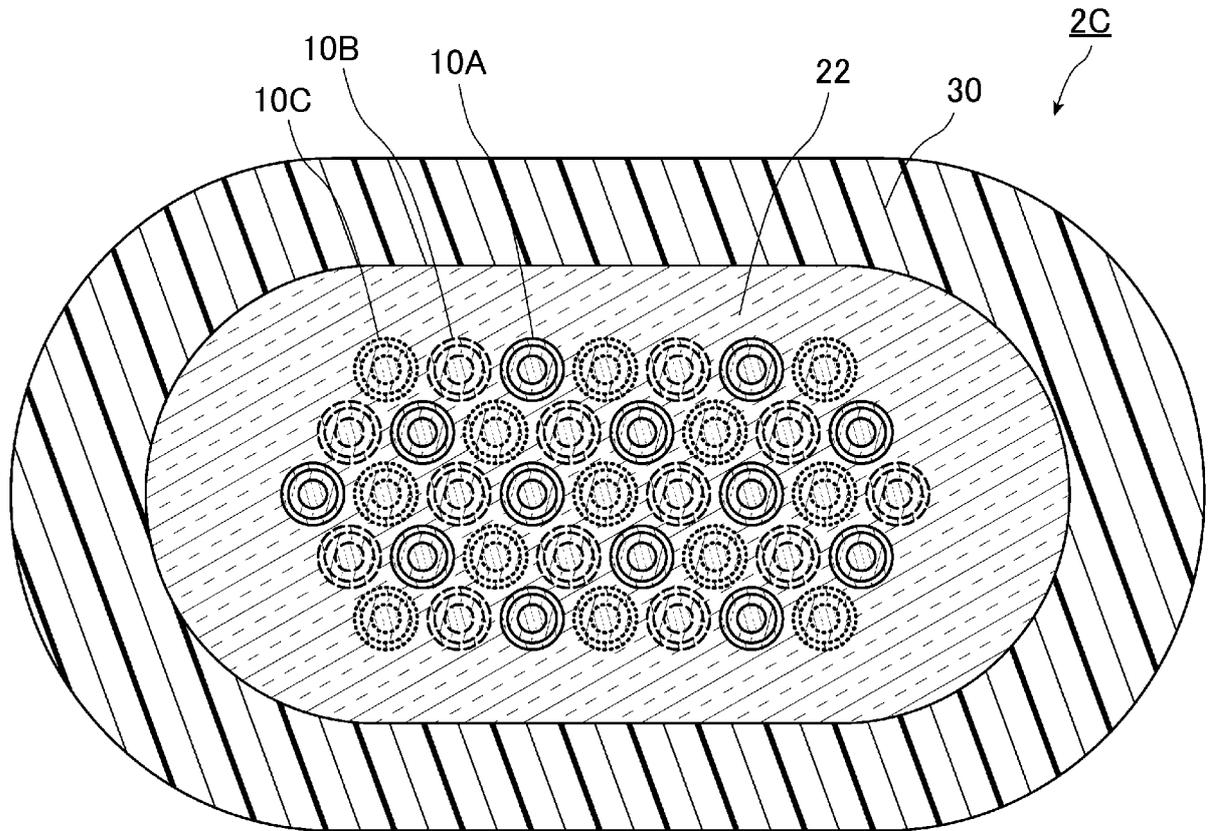
[図36]



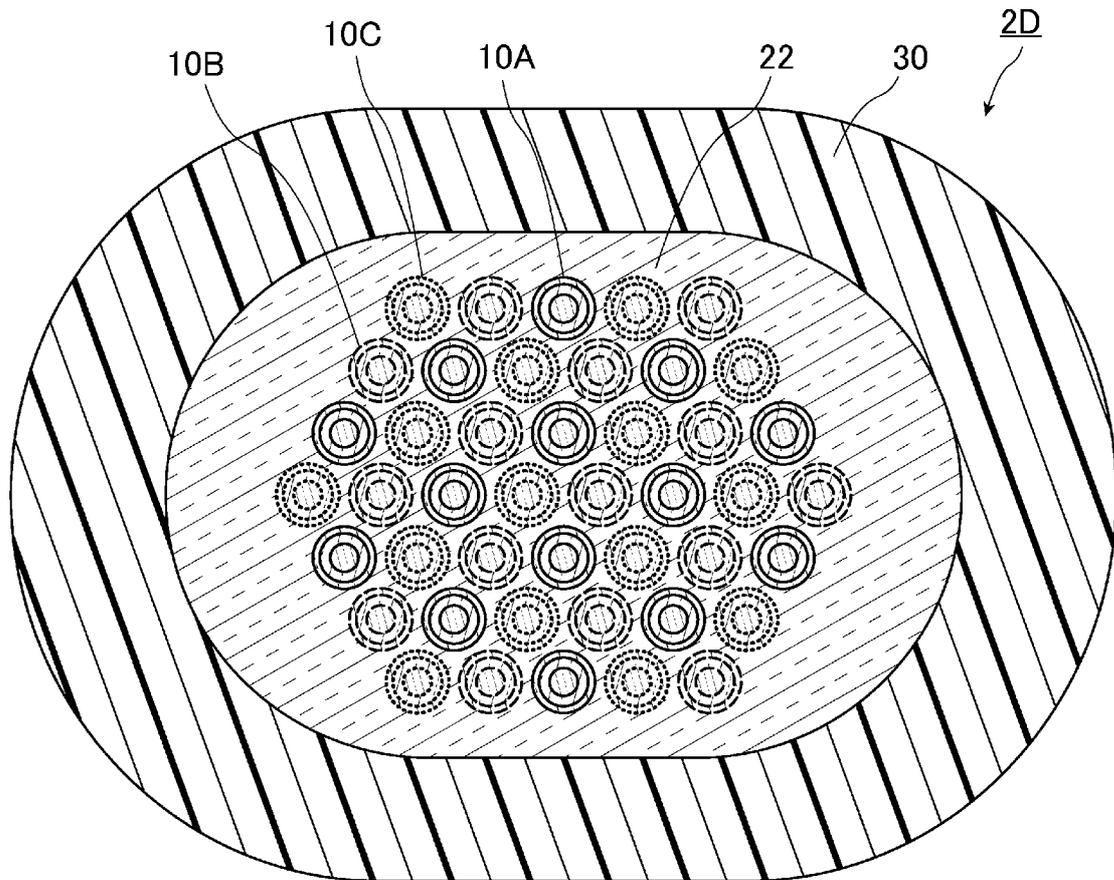
[図37]



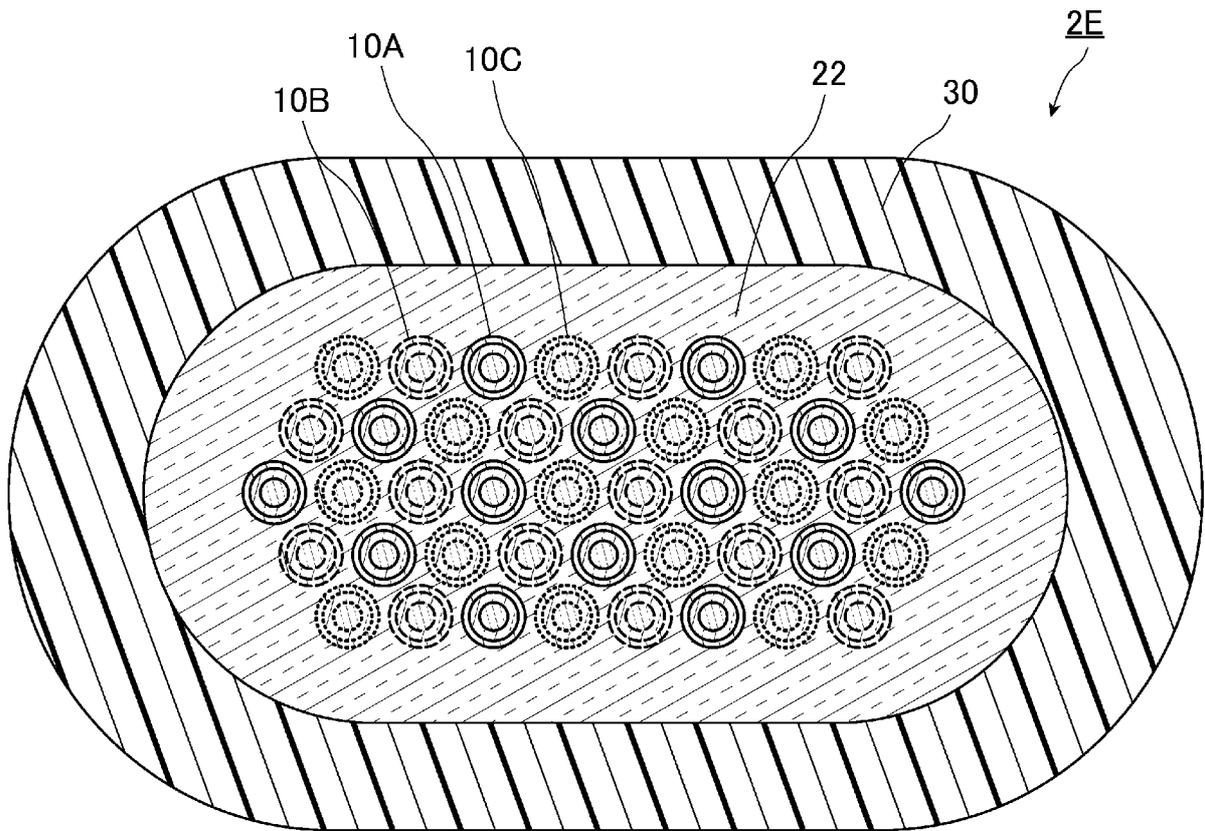
[図38]



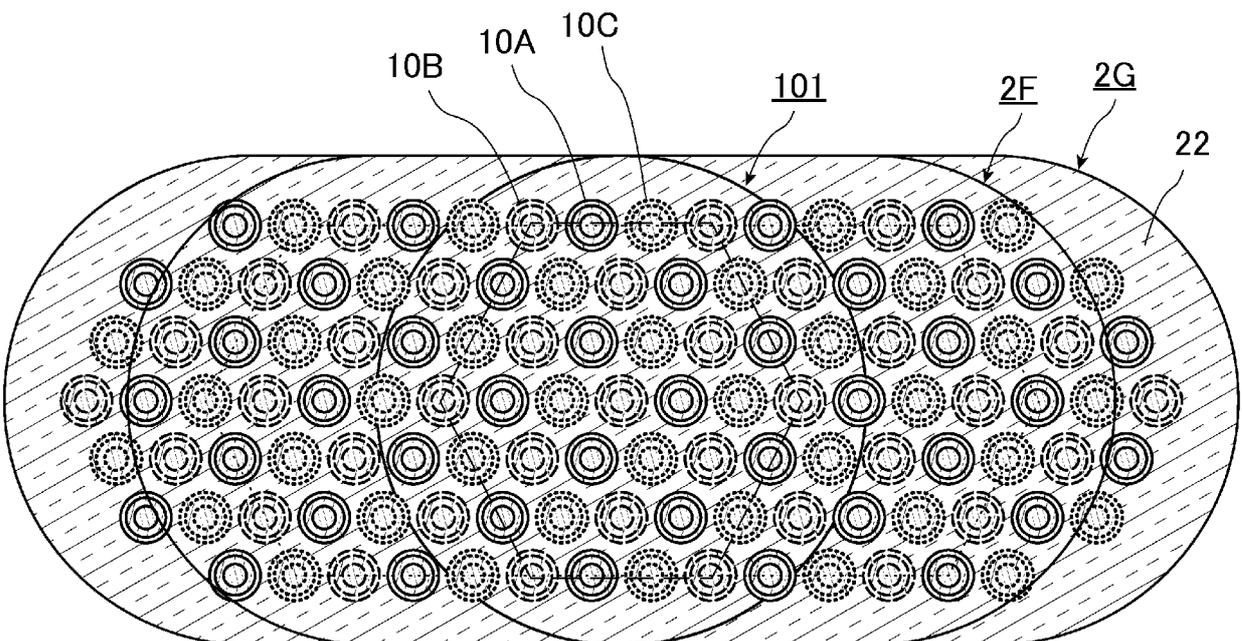
[図39]



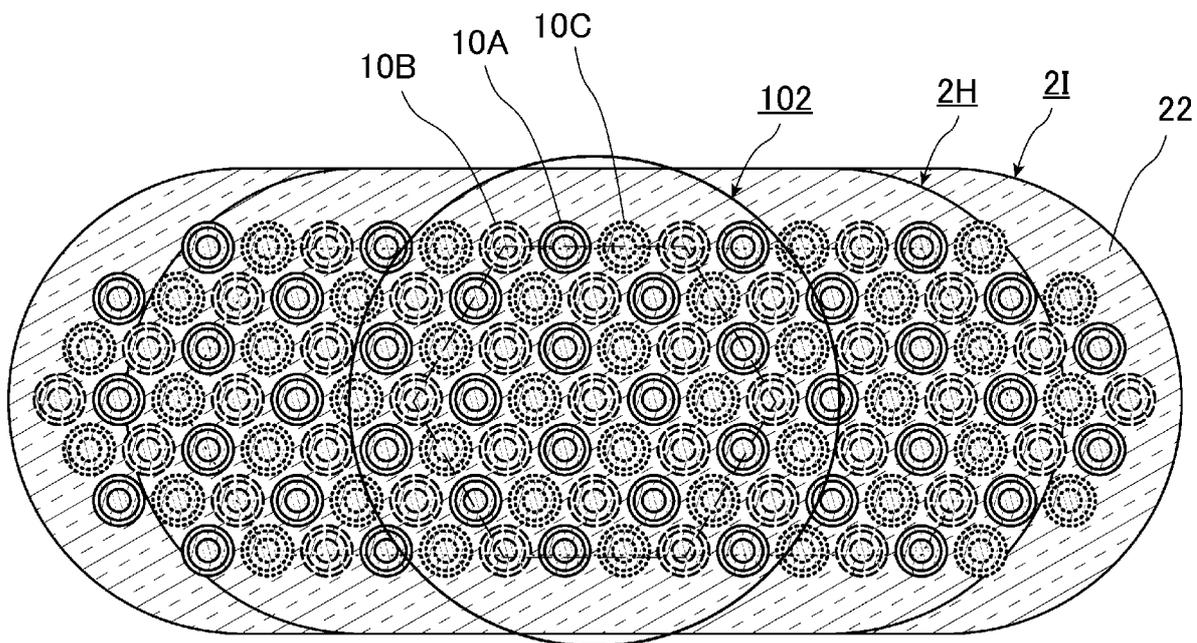
[図40]



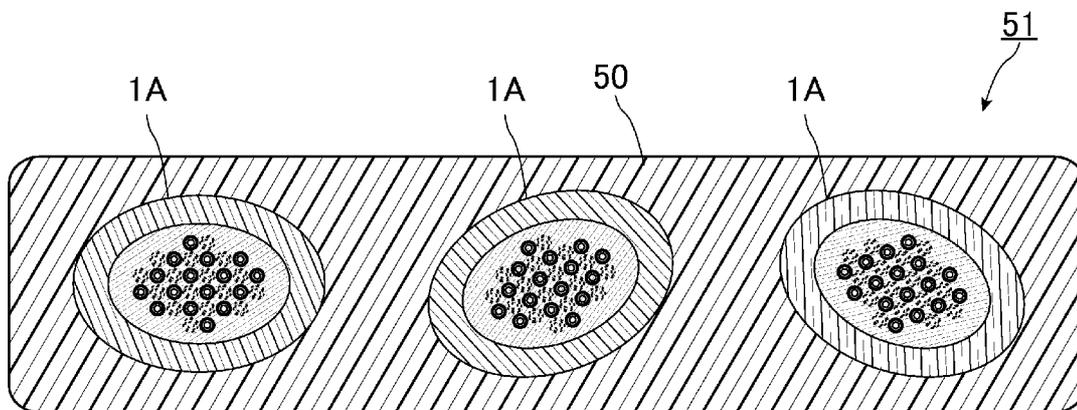
[図41]



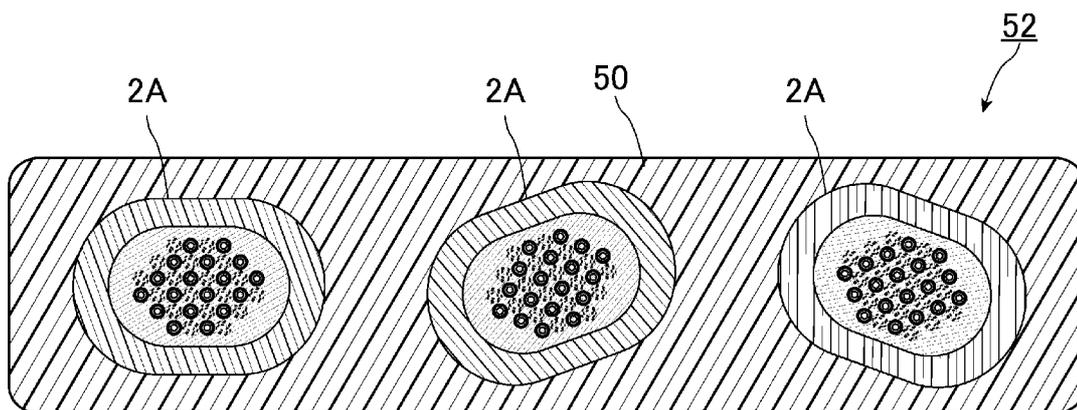
[圖42]



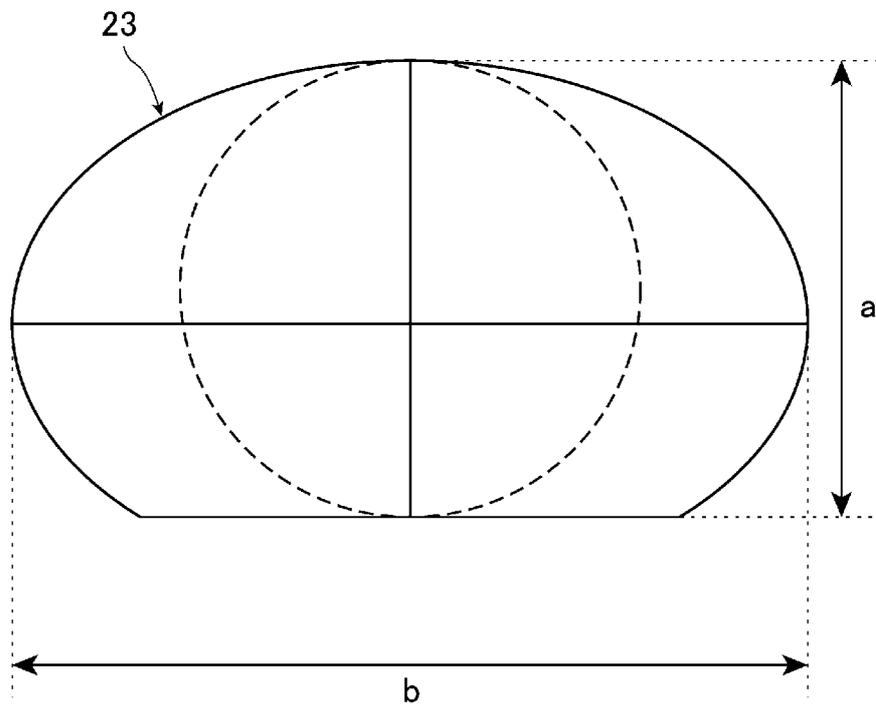
[圖43]



[圖44]



[図45]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP 2018 / 003039

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G02B6/04(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. G02B6/02, 6/04-6/08, 6/44

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

Science Direct, IEEE Xplore

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category: *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2015-212791 A (FUJIKURA LTD.) 26 November 2015, paragraph [0074], fig. 1 & US 2015/0323735 A1, paragraph [0082], fig. 1	1, 3 2, 5-7
X Y	JP 2016-172657 A (SUMI TOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 29 September 2016, paragraphs [0034], [0035], fig. 9, 10, (Family: none)	1, 3-4 2, 5-8
Y	JP 2016-191730 A (FUJIKURA LTD.) 10 November 2016, paragraphs [0091]-[0093], fig. 12, 13 & US 2017/0205575 A1, paragraphs [0126]-[0128], fig. 12, 13 & WO 2016/157978 A1 & CN 106461859 A	2, 6-8
Y	ANDRE SEN, E. R., et al. Measurement and compensation of residual group delay in a multi-core fiber for lensless endoscopy, Journal of the Optical Society of America B, 2015.06, vol. 32, no. 6, pp. 1221-1228	5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
28.02.2018Date of mailing of the international search report  
20.03.2018Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8915, JapanAuthorized officer  
  
Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP 2018 / 003039

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2006/025686 A1 (LEE, I. J.) 09 March 2006, paragraph [0003], fig. 1 & KR 10-0511398 B1	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G02B6/04 (2006. 01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G02B6/02, 6/04-6/08, 6/44

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-  
 日本国公開実用新案公報 1971-2  
 日本国実用新案登録公報 1996-  
 日本国登録実用新案公報 1994-2

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)  
 Science Direct, IEEE Xplore

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2015-212791 A (株式会社フジクラ) 2015. 11. 26, [0074], 図 1 & US 2015/0323735 A1, [0082], Fig. 1	1, 3 2, 5-7
X Y	JP 2016-172657 A (住友電気工業株式会社) 2016. 09. 29, [0034] - [0035], 図 9- 図 10 (ファミリーなし)	1, 3-4 2, 5-8
Y	JP 2016-191730 A (株式会社フジクラ) 2016. 11. 10, [0091] - [0093], 図 12-13 & US 2017/0205575 A1, [0126] - [0128], Figs. 12-13 & WO 2016/157978 A1 & CN 106461859 A	2, 6-8

C 欄の続きにも文献が列举されている。 「: パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 28. 02. 2018	国際調査報告の発送日 20. 03. 2018
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA / JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 井上 徹 電話番号 03-3581-1101 内線 3295

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	ANDRESEN, E. R. , et al. , Measurement and compensation of residual group delay in a multi-core fiber for lensless endoscopy, Journal of the Optical Society of America B, 2015. 06, Vol. 32, No. 6, P. 1221-1228	5
A	wo 2006/025686 AI (LEE, Ik joo) 2006. 03. 09, [3], Fig.1 & KR 10-0511398 BI	1-8