

(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
2017年11月16日(16.11.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/195898 A1

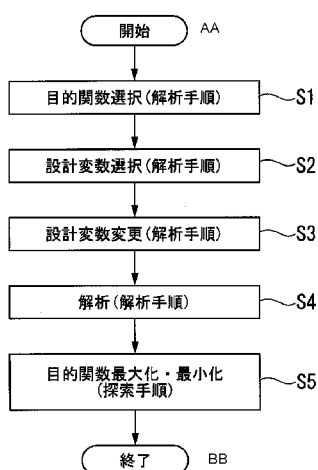
- (51) 国際特許分類:
B29C 70/10 (2006.01) B32B 1/08 (2006.01)
A63B 53/10 (2015.01) G06F 17/50 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/018087
- (22) 国際出願日: 2017年5月12日(12.05.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-097268 2016年5月13日(13.05.2016) JP
- (71) 出願人: 三菱ケミカル株式会社(MITSUBISHI CHEMICAL CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1008251 東京都千代田区丸の内一丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 下野 智史 (SHIMONO Satoshi);
〒1008251 東京都千代田区丸の内一丁目1番1号 三菱ケミカル株式会社内 Tokyo (JP). 鈴木克幸(SUZUKI Katsuyuki); 〒2778568 千葉県

柏市柏の葉5丁目1番地の5 東京大学人工物工学研究センター内 Chiba (JP).

- (74) 代理人: 志賀 正武, 外(SHIGA Masatake et al.);
〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 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, 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,

(54) Title: TUBULAR BODY DESIGNING METHOD, GOLF SHAFT DESIGNING METHOD, AND GOLF SHAFT

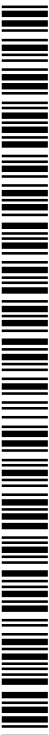
(54) 発明の名称: 管状体設計方法、ゴルフシャフト設計方法およびゴルフシャフト



S1 Select target function (analysis step)
 S2 Select design variable (analysis step)
 S3 Change design variable (analysis step)
 S4 Analyze (analysis step)
 S5 Maximize/minimize target function (search step)
 AA Start
 BB End

(57) Abstract: A tubular body designing method comprises: an analysis step of calculating a plurality of target functions of a tubular body comprising a plurality of fiber reinforced resin layers laminated together, by repeatedly performing a calculation according to a discrete method using a lamination model while successively changing the value of a design variable of the tubular body; and a search step of searching for the value of the design variable that becomes a maximum value or a minimum value from the plurality of calculated target functions.

(57) 要約: 管状体設計方法は、複数の繊維強化樹脂層を積層してなる管状体の設計変数の値を順次変化させながら、積層モデルを用いた離散的な手法によって繰り返し計算を行って、前記管状体の複数の目的関数を算出する解析手順と、算出された前記複数の目的関数の中から最大値又は最小値となる前記設計変数の値を探索する探索手順と、を含む。



WO 2017/195898 A1

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：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

明 細 書

発明の名称：

管状体設計方法、ゴルフシャフト設計方法およびゴルフシャフト

技術分野

[0001] 本発明は、管状体設計方法、ゴルフシャフト設計方法およびゴルフシャフトに関する。

本願は、2016年5月13日に出願された日本国特願2016-097268号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 2008年1月1日より、公益財団法人日本ゴルフ協会（JGA）の規制により高反発クラブがゴルフ規則に不適合となった。この規則では、クラブフェースの反発係数（COR）が0.830以内でなくてはならない。これにより、ヘッド単体で飛距離を追及することが難しくなったため、ゴルフクラブの製造会社は、シャフトに着目するようになった。シャフトで飛距離を伸ばす手段として、軽量化が挙げられる。しかしながら現状を鑑みると、ゴルフシャフトの設計は、試行錯誤（トライアル・アンド・エラー）の繰り返しによって設計されており、真に最軽量の積層構成がなされているか不明である。また、試行錯誤のため、試作時間もコストもかかる。仮に試作時間も予算も十分にあったとしても、全組み合わせを試作することは現実的に不可能である。これは、ゴルフシャフトだけではなく、釣竿、自転車のフレーム、テニスラケット等のスポーツ用途部材、さらにはロボットアームやカーボンロール、ドライブシャフト等の産業用途部材にも共通の課題である。

[0003] 従来、試作時間やコスト削減のためにシミュレーションと最適化計算を用いることが提案されている。

例えば、特許文献1に記載の技術分野はゴルフシャフトの設計方法及び製造方法に関するもので、シャフトの設計用パラメータを関数表現して離散的手法を用いた解析と最適化計算を行うものである。また、特許文献2に記載

の技術もゴルフシャフトに関するものであり、用具によるスイング動作の変化に着目し、シャフトの性能を最適化したものである。

[0004] また、ゴルフシャフト以外の分野に関しては、特許文献3、特許文献4に記載の技術が挙げられる。特許文献3に記載の技術は、樹脂の物性を大域的最適化によって決定しようとするものである。特許文献4に記載の技術は、繊維強化樹脂と金属のハイブリッド材に関するものである。特許文献4に記載の技術は、繊維強化樹脂層と金属の間にある接着層が強度発現に大きく起因するため、各層を積層シェル要素でモデリングし、界面となる接着層のパラメータを最適化する手法である。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：日本国特開2008-302017号
特許文献2：日本国特開2011-000425号
特許文献3：日本国国際公開第2013/042600号
特許文献4：日本国特開2003-94559号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献1に記載の技術では、シャフトの最適な曲げ剛性値を知ることはできるが、それを達成するための具体的な積層構成を知ることができない。特許文献2に記載の技術においても同様にシャフトの最適な性能を知ることはできるが、具体的な積層構成を知ることができない。特許文献3に記載の技術では、特許文献1、2と同じく最適な樹脂の性能を知ることはできても、具体的な構成を知ることができない。特許文献4に記載の技術では、界面のパラメータを知ることができても繊維強化樹脂層の最適構成を知ることができない。このように、特許文献1～4に記載の技術においては、複数の繊維強化樹脂層からなる管状体の積層構成まで知ることができない。

[0007] 本発明に係る態様は、上記の課題を鑑みてなされたものであって、目的に応じて最適な積層構成を設計することができる管状体設計方法およびゴルフシャフト設計方法を提供することを目的とする。併せて、管状体の一例として、ゴルフシャフトを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] [1] 上記目的を達成するため、本発明の一態様に係る管状体設計方法は、複数の繊維強化樹脂層を積層してなる管状体の設計変数の値を順次変化させながら、積層モデルを用いた離散的手法によって繰り返し計算を行って、前記管状体の複数の目的関数を算出する解析手順と、算出された前記複数の目的関数の中から最大値又は最小値となる前記設計変数の値を探索する探索手順と、を含む。

[2] 上記 [1] の態様において、前記目的関数は、複数の変数からなってもよい。

[3] 上記 [1] または [2] の態様において、前記離散的手法は、有限要素法、境界要素法、個別要素法、Element Free Galerkin (EFG) 法、extended FEM (XFEM) 法、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法、Capsular Particle Methodのうち少なくとも1つであり、前記目的関数は、前記管状体の強度、重量、曲げ剛性、振り剛性のうちいずれか1つ又は複数の線形結合で表されたものであり、前記探索手順は、前記管状体の、積層された各層の積層角度、材料定数、パイプ形状のうち少なくとも1つを前記設計変数として選択してもよい。

[4] 上記 [1] から [3] のいずれか1つの態様において、前記管状体の積層される複数の層のうち少なくとも1つの層は、2つ以上の領域を備え、前記解析手順は、前記層の領域毎に前記複数の目的関数を算出し、前記探索手順は、前記層の領域毎に前記設計変数の値を探索してもよい。

[5] 上記 [1] から [4] のいずれか1つの態様において、前記解析手順が、更に、前記設計変数である前記層の積層角度を離散的に選択するサンプル

リング手順、を含み、前記解析手順は、前記サンプリング手順によって選択した、前記層の積層角度を、前記順次変化させた前記設計変数として、前記複数の目的関数を算出し、前記探索手順は、前記解析手順によって算出した前記複数の目的関数に近似するよう算出した応答曲面を作成する応答曲面作成手順、を含み、前記探索手順は、前記応答曲面作成手順によって作成した前記応答曲面中で前記目的関数が最大値又は最小値をとるような前記設計変数の値を探索してもよい。

[6] 上記 [5] の態様において、前記サンプリング手順は、サンプリング空間を繰り返しのある無限空間に拡張し、各サンプリング点同士の距離の最小値を最大化するサンプリングを行ってもよい。

[7] 上記 [5] または [6] の態様において、前記応答曲面作成手順は、フーリエ級数近似にて応答曲面の作成を行ってもよい。

[8] 上記 [7] の態様において、前記フーリエ級数近似は、一次近似又は二次近似であってもよい。

[0009] [9] 上記目的を達成するため、本発明の一態様に係るゴルフシャフト設計方法は、前記管状体が、ゴルフシャフトであり、上記 [1] から [8] のいずれか1つの態様によってゴルフシャフトを設計する。

[0010] [10] 上記目的を達成するため、本発明の一態様に係るゴルフシャフトは、最内層のアンクル層2層を除いた各層の積層角度の和である垂直積層成分が、バット側からチップ側に向かうにしたがって小さくなる。

[11] 上記 [10] の態様において、少なくとも1層が積層角度を変えた複数のプリプレグからなってもよい。

[12] 上記 [10] または [11] の態様において、バット端部を基準とし、0 mm以上かつ325 mm未満を位置C近傍、325 mm以上かつ625 mm未満を位置B近傍、625 mm以上～975 mmを位置A近傍、975 mm以上かつチップ端までを位置T近傍と定義したとき、1)～4)を満たしてもよい。

1) 位置C近傍での垂直積層成分が、195以上、225未満である

2) 位置B近傍での垂直積層成分が、185以上であり、C点の垂直積層成分よりも小さい

3) 位置A近傍での垂直積層成分が、90以上、180未満である

4) 位置T近傍での垂直積層成分が、0である

[13] 上記[10]から[12]のいずれか1つの態様において、位置C近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 90° 、 $15^\circ \sim 45^\circ$ 、 90° であり、位置B近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 90° 、 $5^\circ \sim 15^\circ$ 、 90° であり、位置A近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° 、 90° であり、位置T近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° であってもよい。

[14] 上記[10]または[11]の態様において、位置C近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 90° 、 $+15^\circ \sim 45^\circ$ 、 $-15^\circ \sim -45^\circ$ 、 90° であり、位置B近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 90° 、 $-5^\circ \sim -15^\circ$ 、 $+5^\circ \sim +15^\circ$ 、 90° であり、位置A近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° 、 90° であり、位置T近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° であってもよい。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、所望の物性を目的関数として選択し、前記目的関数に材料物性と構成を設計変数として入力した後、前記設計変数を順次変化させながら繰り返し計算を実施することで、最適解として所望の物性を満たす材料構成を得ることができる。具体的には、複数の繊維強化樹脂層からなる管状体において、目的に応じて各層の最適な積層構成を設計することができる。特に、軽量化や高強度化に応用することができ、複数の繊維強化樹脂層から

なる管状体に特有の課題を解決できる。また、前記応用事例においては、従来の管状体にはない、軽量かつ高剛性のものが得られる。

図面の簡単な説明

- [0012] [図1]実施形態に係る設計装置のブロック図である。
- [図2]実施例に係る設計処理のフローチャートである。
- [図3]実施例に係る離散的手法を用いた解析のための積層シェル要素モデルを示す図である。
- [図4]SG基準 CP SA 0098における3点曲げ試験を示す図である。
- [図5]実施例に係る3点曲げ試験に基づくモデルを示す図である。
- [図6]実施例に係る設計処理のフローチャートである。
- [図7]実施例に係るサンプリング手順を示す図である。
- [図8]実施例に係る6層目と7層目のサンプリング点を用いて算出した3点曲げ強度に基づく応答曲面の一例を示す図である。
- [図9]実施例に係る5点の場合のサンプリング模式図である。
- [図10]実施例に係る1次のフーリエ級数近似を行った応答曲面を示す図である。
- [図11]実施例に係る2次のフーリエ級数近似を行った応答曲面を示す図である。
- [図12]実施例に係る制約条件を課したときの位置Cにおける最適構成例を示す図である。
- [図13]実施例に係る制約条件を課したときの位置B、A、Tにおける最適構成例を示す図である。
- [図14]本実施形態の手法を用いて求めた強度最大化のゴルフシャフトの最適積層の構成例を示す図である。

発明を実施するための形態

- [0013] 以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について説明する。

なお、本実施形態では、複数の層（例えば繊維強化樹脂層）からなる管状体の例として、ゴルフシャフトを例に説明するが、これに限られない。本実

施形態は、釣竿、自転車のフレーム、テニスラケット等のスポーツ用途部材、さらにはロボットアームやカーボンロール、ドライブシャフト等の産業用途部材の複数の繊維強化樹脂層からなる管状体に適用することができる。

[0014] <設計装置 1 の構成>

図 1 は、実施形態に係る設計装置 1 のブロック図である。図 1 に示すように、設計装置 1 は、目的関数選択部 1 1、設計変数選択部 1 2、設計変数変更部 1 3、解析部 1 4、目的関数最大化・最小化部 1 5、および記憶部 1 6 を備える。

[0015] 設計装置 1 は、利用者（設計者、製造者等）によって設計装置 1 に入力される入力情報を用いて、複数の繊維強化樹脂層を積層してなる管状体であるゴルフシャフトを設計し、設計した情報を表示部や印刷装置等の外部装置に出力する。ここで、入力情報とは、目的関数と設計変数の情報である。また、出力される情報は、例えば、積層数、材料の情報、各層の積層角度（配向角ともいう）、重量、強度等である。なお、設計装置 1 は、目的関数と設計変数の情報のうちいくつかの情報を、予め記憶部 1 6 に記憶させておいてもよい。目的関数と設計変数については、後述する。

なお、設計装置 1 の一部または全ては、パーソナルコンピュータおよびパーソナルコンピュータにインストールされているソフトウェアによって実現するようにしてもよい。

[0016] 目的関数選択部 1 1 は、記憶部 1 6 が記憶する情報、または入力された入力情報から少なくとも 1 つの目的関数を選択する。ここで、目的関数とは、例えば、ゴルフシャフトの強度、ゴルフシャフトの重量、ゴルフシャフトの曲げ剛性、ゴルフシャフトの振り剛性、3 点曲げ強度等である。なお、目的関数選択部 1 1 は、複数の目的関数を選択してもよい。また、目的関数は、選択した複数の目的関数を線形結合して表した情報、または複数の目的関数が線形結合されて表された情報であってもよい。目的関数選択部 1 1 は、選択した目的関数を解析部 1 4 に出力する。

[0017] 設計変数選択部 1 2 は、記憶部 1 6 が記憶する情報、または入力された入

力情報から少なくとも1つの設計変数を選択する。ここで、設計変数とは、管状体であるゴルフシャフトを設計するために必要な情報であり、ゴルフシャフトの積層構成、ゴルフシャフトの材料定数、ゴルフシャフトの各層の積層角度、ゴルフシャフトの各部の径、ゴルフシャフトの各部の厚み等である。なお、設計変数選択部12は、複数の設計変数を選択してもよい。また、設計変数選択部12は、選択しなかった変数を、任意の固定値として解析部14に出力するようにしてもよい。任意の固定値は、例えば記憶部16が記憶するようにしてもよい。設計変数選択部12は、例えば、設計変数に積層角度のみを選択し、材料定数、径、厚みを選択しなかったとする。この場合、設計変数選択部12は、ゴルフシャフトに一般的に使用される材料定数、径、厚みを固定値とする。そして、解析部14は、これらの固定値を用いて、例えば全てのシャフトの平均的な物性等の解析を実行するようにしてもよい。また、軽量シャフトにおいて強度を最大化することが目的であった場合、設計変数選択部12は、母集団を軽量シャフトに用いられる材料の物性値とするようにしてもよい。

[0018] 設計変数変更部13は、設計変数選択部12が選択した設計変数を順次変更する。設計変数変更部13は、例えば、設計変数として積層角度を選んだときは、積層角度を所定の角度（例えば 45° ）刻みで変更する。設計変数変更部13は、変更した設計変数を解析部14に出力する。設計変数変更部13は、管状体であるゴルフシャフトを作成するために、例えば繊維強化樹脂層を複数層積層するため各層ごとに積層角度を変更する。なお、材料の積層方向を変更すると、ヤング率が積層角度に応じて変化する。設計変数変更部13は、積層角度毎のヤング率を周知の手法を用いて算出する。なお、変更時に、設計変数変更部13は、計算時間短縮のため、実験計画法、数理計画法等を用いてなるべく効率的に設計変数を変更することが好ましい。

[0019] 解析部14は、目的関数選択部11が選択した目的関数と、設計変数変更部13が順次変更した設計変数と、積層シェル要素モデルを用いて、離散的手法を用いて解析を行う。

離散的手法は、有限要素法、境界要素法、個別要素法、Element Free Galerkin (EFG) 法、extended FEM (XFEM) 法、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法、Capsular Particle Method (CPM) のうち少なくとも1つである。一般的に普及しており、信頼性が高いため、好ましくは有限要素法が良い。解析部14は、例えば構造解析ソフトウェアを用いて解析を行う。構造解析ソフトウェアは、例えばLivermore Software Technology Corporation社のLS-DYNA (登録商標) である。例えば、解析部14は、LS-DYNA (登録商標) の解法設定において、時間発展を動的陽解法に設定し、解析ソルバーを非線形行動解析に設定し、離散的手法を有限要素法に設定する。また、解析部14は、LS-DYNA (登録商標) の要素設定において、要素形態を肉厚シェル要素に設定し、要素定式化を2次元平面応力要素に設定し、アウグラスコントロールを粘性型に設定する。なお、上述した例は一例であり、解析部14は、他の設定を用いてもよい。なお、積層シェル要素モデルについては、後述する。

[0020] 目的関数最大化・最小化部15は、解析部14が解析した結果において、目的関数の最大値又は最小値を探索することで最適点を求める。目的関数最大化・最小化部15は、目的関数が、例えばゴルフシャフトの強度、ゴルフシャフトの曲げ剛性、ゴルフシャフトの振り剛性の場合、最大値を探索し、目的関数が、例えばゴルフシャフトの重量の場合、最小値を探索する。実サンプルによる強度試験は、結果のばらつきが大きいことから、シミュレーションによる理論解を知ることが有用であることから、目的関数として強度を選択することは極めて有意義である。なお、目的関数最大化・最小化部15は、極大値又は極小値を探索するようにしてもよい。また、目的関数最大化・最小化部15は、最大化または最小化に、例えばSimulated Annealing法 (焼きなまし法) 等を用いる。ここで、Simulated Annealing法とは、大域的最適化問題への汎用の乱択アルゴ

リズムであり、広大な探索空間内の与えられた関数の大域的最適解に対して、よい近似を与える。なお、目的関数最大化・最小化部15は、Simulated Annealing法以外の手法を用いて最大化または最小化を行うようにしてもよい。目的関数最大化・最小化部15は、例えば、解析部14が解析した結果を用いて例えば放射基底関数(RBF; Radial Basis Function)等を用いて、応答曲面を作成するようにしてもよい。そして、目的関数最大化・最小化部15は、作成した応答曲面を用いて、解空間の近似関数を算出してもよく、最急勾配法、動的計画法等の各種最適化手法を用いて最適点のみを導出してもよい。

[0021] 記憶部16は、目的関数と設計変数の情報のうちいくつかの情報を、予め記憶する。

実施例 1

[0022] 実施例1における設計処理手順の一例を説明する。

図2は、実施例に係る設計処理のフローチャートである。

(ステップS1) 目的関数選択部11は、記憶部16が記憶する情報、または入力された入力情報から少なくとも1つの目的関数を選択する(目的関数選択手順、解析手順)。

[0023] (ステップS2) 設計変数選択部12は、記憶部16が記憶する情報、または入力された入力情報から少なくとも1つの設計変数を選択する(設計変数選択手順、解析手順)。

(ステップS3) 設計変数変更部13は、設計変数選択部12が選択した設計変数を順次変更する(設計変数変更手順、解析手順)。

[0024] (ステップS4) 解析部14は、積層シェル要素モデルを用いて、例えば有限要素法で解析を行う(解析手順)。

(ステップS5) 目的関数最大化・最小化部15は、ステップS1で目的関数選択部11が選択した目的関数の最大値又は最小値を探索することで最適点を求める(目的関数最大化・最小化手順、探索手順)。

[0025] 次に、離散的手法を用いた解析のための積層シェル要素モデルの一例を説

明する。

図3は、実施例に係る離散的手法を用いた解析のための積層シェル要素モデルを示す図である。なお、図3に示す図では、半断面図で示している。

図3に示すように、積層シェル要素モデル100は、内径が14.1[m m]、長さが300[m m]、繊維強化樹脂層を第1層Ly1～第7層Ly7による7層積層し、各層の積層角度が0°（度）（長手方向に繊維が沿う方向）である。

また、積層シェル要素モデルでは、有限個の要素を節点で接続することにより、略棒状のモデルとして定義する。また、各要素それぞれには、例えば、要素の長さ、曲げ弾性率、ヤング率E、断面二次モーメントI等のパラメータが含まれる。

[0026] 次に、記憶部16が記憶する材料の情報、または設計装置1に入力される材料の情報の一例を説明する。

表1は、記憶部16が記憶する材料の情報、または設計装置1に入力される材料の情報の一例を示す。

[0027]

[表1]

プリプレグ	品番	繊維の 引張弾性率 [GPa]	目付 [g/m ²]	樹脂含有率 [質量%]	厚さ [mm]
A	TR350C050S (三菱レイヨン社製)	235	75	25	0.062
B	MR350C050S (三菱レイヨン社製)	295	75	25	0.062
C	MRX350K020S (三菱レイヨン社製)	295	24	40	0.026
D	MRX350C050S (三菱レイヨン社製)	295	75	25	0.062
E	MRA350C050S (三菱レイヨン社製)	325	75	25	0.062
F	HRX350C050S (三菱レイヨン社製)	390	75	25	0.062
G	HSX350C050S (三菱レイヨン社製)	450	75	25	0.062
H	HyEJ060M50D (三菱レイヨン社製)	587	75	25	0.062
I	HyEJ080M50D (三菱レイヨン社製)	783	75	25	0.062

[0028] 表1に示す例では、繊維に樹脂等を含浸させたシート状のものであるプリプレグ (prepreg) A~Iの情報を、記憶部16が記憶する。記憶部16は、プリプレグ(x) (xはA~Iのいずれか) に、品番、繊維の引張

弾性率 [GPa]、目付 [g/m^2]、樹脂含有率 [質量%]、および厚さ [mm] を対応付けて記憶する。例えば、記憶部 16 は、プリプレグ A に、品番が TR350C050S、繊維の引張弾性率が 235 [GPa]、目付が 75 [g/m^2]、樹脂含有率が 25 [質量%]、および厚さが 0.062 [mm] を対応付けて記憶する。ここで、目付とは、単位面積当たりの重さである。なお、表 1 では、プリプレグ C を除き、後の解析を考慮して糸の弾性率以外を同一となるように調整してある。

なお、表 1 に示した例は一例であり、記憶部 16 は、他の品番の材料、0.062 [mm] 以外の厚さ等の材料の情報も記憶していてもよい。

[0029] ここで、設計装置 1 が行う計算例を、図 2 を参照しつつ説明する。

目的関数選択部 11 は、記憶部 16 が記憶する情報から、ゴルフシャフトの曲げ剛性を選択する (ステップ S1)。続けて、設計変数選択部 12 は、記憶部 16 が記憶する情報から、プリプレグの種類を選択する (ステップ S2)。続けて、設計変数変更部 13 は繊維強化樹脂層を複数層積層するため各層ごとに積層角度プリプレグの種類を変更する (ステップ S3)。解析部 14 は、積層シェル要素モデルを用いて、例えば有限要素法によって解析を行う (ステップ S4)。目的関数最大化・最小化部 15 は、ステップ S4 で解析した結果において、目的関数である剛性の最大値を探索することで最適点を求める (ステップ S5)。

この結果、最適点に近い材料としては、プリプレグ I (表 1) であった。

実施例 2

[0030] 次に、実施例 2 について説明する。

一般に、繊維強化樹脂層は、剛性が高いほど脆い。このため、弾性率だけでなく強度も考慮する必要がある。特に、 0° 層のみで構成した場合、周方向に潰れが発生するため強度が大きく低下する場合がある。この場合は、積層角度を変更することで強度を高めることができる。このため、実施例 2 では、このような強度問題を考慮するため目的関数として 3 点曲げ強度を選択し、設計変数として積層角度を選択する例を説明する。

[0031] ここで、SG基準 CP SA 0098、ゴルフクラブ用シャフトの認定基準及び基準確認方法（一般財団法人製品安全協会、通商産業大臣承認5産第2087号、平成5年10月4日）に記載の『C型シャフトの強度（1）3点曲げ試験』の概要について説明する。ここで、C型とは、シャフトの材質が繊維強化プラスチック製等の非金属製であるものである。

[0032] 図4は、SG基準 CP SA 0098における3点曲げ試験を示す図である。ここで、位置Tとは、先端から90 [mm] の位置である。位置Aとは、先端から175 [mm] の位置である。位置Bとは、先端から525 [mm] の位置である。位置Cとは、グリップエンドから175 [mm] の位置である。なお、図4において、符号Sは、シャフトである。

SG基準 CP SA 0098によれば、「C型シャフトにあたっては、3点曲げ試験を行ったときに破壊しないこと」が認定基準となっている。

[0033] この試験に基づいて、実施例では、以下のモデルを用いる。

図5は、実施例に係る3点曲げ試験に基づくモデルを示す図である。図5に示すようにシャフトの積層シェル要素モデル100は、内径が14.1 [mm]、長さが300 [mm]、繊維強化樹脂層を第1層Ly1～第7層Ly7による7層積層したものである。

3点の位置は、図5に示すように、一端から15 mmの位置、両端（一端と他端）の中心の150 [mm] に位置、他端から15 [mm] の位置である。SG基準 CP SA 0098に従って、一端および他端それぞれから15 [mm] の位置のRが12.5 [mm] であり、両端（一端と他端）の中心の150 [mm] に位置における圧子201のRが75 [mm] である。このモデルでは、中央の圧子201が、上から一定の速度で降りてくるものである。

[0034] 設計装置1の構成は、実施例1と同じである。

設計変数変更部13は、設計変数選択部12が選択した設計変数を順次変更する。設計変数変更部13は、設計変数を変更する処理において、設計変数を離散的に決めるサンプリングを行う。なお、設計変数変更部13が行う

サンプリングについては、後述する。

目的関数最大化・最小化部15は、目的関数の最大値又は最小値を探索することで最適点を求める。目的関数最大化・最小化部15は、目的関数の最大値又は最小値を探索する処理において、目的関数を近似的に算出して応答曲面を作成する。なお、目的関数最大化・最小化部15が行う応答曲面の作成については、後述する。

[0035] 実施例2における設計処理手順の一例を説明する。

図6は、実施例に係る設計処理のフローチャートである。なお、実施例1と同じ処理については、同じ符号を用いて説明を省略する。

(ステップS31) 設計変数変更部13は、設計変数選択部12が選択した設計変数を順次変更する(設計変数変更手順、解析手順)。なお、設計変数変更部13は、ステップS31において、設計変数を離散的に決めるサンプリングを行う(ステップS311、サンプリング手順)。

[0036] (ステップS51) 目的関数最大化・最小化部15は、目的関数の最大値又は最小値を探索することで最適点を求める(目的関数最大化・最小化手順、探索手順)。目的関数最大化・最小化部15は、ステップS51において、目的関数を近似的に算出して応答曲面を作成する(ステップS511、応答曲面作成手順)。

[0037] 次に、ステップS311のサンプリング手順について説明する。

図7は、実施例に係るサンプリング手順を示す図である。なお、図7では、説明を単純化するために、外側から2層(6層目Ly6、7層目Ly7)の積層角度を最適化する場合を考える。このように、本実施例では、積層のうち、隣接する2つの層(例えば、外側から2層)を選択する。

[0038] 図7において、横軸は6層目の積層角度を示し、縦軸は7層目(最外層)の積層角度を示している。図7において、6層目の積層角度A[°(度)]と7層目の積層角度B[°(度)]を(A, B)で表すと、丸印に示す(-90, -90)、(-90, 90)、(0, 0)、(90, -90)、(90, 90)がサンプリング点である。なお、積層シェルによる強度解析は1

回の解析時間が長いため、なるべく解析回数を減らすことが実用上重要になる。このため、サンプリングは、なるべく少ないサンプリング点で全体を網羅できるようにするのが好ましい。

[0039] 本実施形態では、サンプリング手順で用いる手法の一例として、Space-filling法で5点をサンプリングする。

ここで、Space-Filling法とは、空間をバランスよく埋める手法であり、「各点の距離の最小値」を最大化するアルゴリズムで構成される。設計変数変更部13は、このように、サンプリングしたサンプリング点を変更した設計変数とする。なお、設計変数変更部13は、サンプリングの手法としてSpace-Filling法以外の手法を用いてもよい。

[0040] 次に、ステップS511の応答曲面作成手順について説明する。

図8は、実施例に係る6層目と7層目のサンプリング点を用いて算出した3点曲げ強度に基づく応答曲面の一例を示す図である。

図8において、水平面の第1の軸が第6層の積層角度 (angle 6) を示し、水平面の第2の軸が第7層の積層角度 (angle 7) を示し、縦軸が強度 [N] の大きさを示す。なお、積層角度は、 $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$ の範囲とする。

図8に示す例では、6層目の積層角度を -90° 、7層目の積層角度を -90° にしたときが最大値であり、強度（剛性）が最も大きくなることを示している。

[0041] ここで、設計装置1が行う計算例を、図6を参照しつつ説明する。

目的関数選択部11は、記憶部16が記憶する情報から、3点曲げ強度を選択する（ステップS1）。続けて、設計変数選択部12は、記憶部16が記憶する情報から、積層角度を選択する（ステップS2）。続けて、設計変数変更部13は、設計変数に対してサンプリングを行う（ステップS311）。続けて、設計変数変更部13は、サンプリングした点を、例えば外側から2層（6層目、7層目）それぞれの変更した積層角度とする（ステップS31）。続けて、解析部14は、積層シェル要素を用いて、例えば有限要素

法によって解析を行う（ステップS4）。続けて、目的関数最大化・最小化部15は、ステップS41で解析した結果を用いて応答曲面を作成する（ステップS511）。続けて、目的関数最大化・最小化部15は、作成した応答曲面を用いて、目的関数の最大値を探索することで最適点を求める（ステップS51）。

実施例 3

[0042] 実施例2の図8に示した応答曲面において、極大値となる6層目の積層角度A [° (度)] と6層目の積層角度B [° (度)] は、(-90, -90)、(-90, 90)、(90, -90)、(90, 90)である。管状体の積層角度は、-90° と+90° とが同一の積層を示す。このため、4つの極大点の強度（縦軸）は、一致しなければならない。しかしながら、図8に示した例では、4つの極大点の強度（縦軸）が一致していない。

この理由は、サンプリング手順の時点で、単純に空間を埋めるような手法を用いた場合に-90° と+90° が同一であるという周期性が考慮されていないためである。実施例3では、このような周期性を考慮した例を説明する。

[0043] 周期性を考慮するには、サンプリング手順の時点で工夫する必要がある。周期性を考慮する一つの方法として、サンプリング空間を周期的に無限に拡張する方法が考えられる。

すなわち、実施例2では、-90° と+90° 付近が2重にサンプリングされていることになり、5点サンプリングしているにもかかわらず、2点分と同等である。そこで、本実施例では、サンプリング空間を拡張することで、2重サンプリングを防ぐ。

[0044] 図9は、実施例に係る5点の場合のサンプリング模式図である。図9において、丸印は実施例2におけるサンプリング手法によって選択されたサンプリング点を示し、X印が実施例3におけるサンプリング手法によって選択されたサンプリング点を示す。実施例3では、図9に示すように、サンプリング空間を拡張することで、2重サンプリングを防ぐ。

[0045] 次に、サンプリング空間を拡張して周期性を考慮した Space-Filling 法について説明する。定義域の設計変数空間を v_1 として、前記設計変数空間 v_1 を、設計変数空間 v_2, v_3, \dots に拡張すると、無限大の設計変数空間 V が生成する。 v_1 に一つ点 N_1 を生成すると、拡張された前記設計変数空間 v_2, v_3, \dots にも同様に点 N_2, N_3, \dots が生成される。設計変数空間 v_1 を拡張して無限大の設計変数空間 V とするため、 v_1 に生成された点 N_{1i}, N_{1j} の 2 点間の距離 d_{ij} は、同一の設計変数空間の中の距離を示すとは限らない。他の設計変数空間にも生成された N_{2j}, N_{3j}, \dots と N_{1i} との距離の中で最小の距離が、2 点間の距離になる。このため、解析部 14 は、前記設計変数空間を V 中の n 個の点を一様に分布させるために、次式 (1) を解くことでサンプリング点を求める。

[0046] [数1]

$$\left. \begin{array}{l} N_1, N_2, \dots, N_n \in V \\ d_{ij} = \min(N_{1i}N_{1j}, N_{1i}N_{2j}, \dots) \\ L = f(N_1, N_2, \dots, N_n) \\ \max(\min(L)) \end{array} \right\} \dots (1)$$

[0047] なお、式 (1) において、 i は、1 層毎のサンプル数を表し、例えば 2 以上 50 以下の値である。2 点以上であれば、信頼性が高い結果が得られる。50 点以下であれば、計算時間を短くできる。また、 j は、積層の総数を表し、例えば 1 以上 15 以下であり、実施形態では 7 の例を説明している。また、 L は、複数のサンプル点のうち、任意の 2 点間の距離を表す。また、 f は、関数を表す。

解析部 14 は、式 (1) において、 $\max(\min(L))$ によって新たなサンプル点を求める。 $\max(\min(L))$ の意味合いは、最小の L が最大になるように配置することで、空間全体にバランスよくサンプリング点をばらまくことを意味している。

このように算出されたサンプリング点は、図 7 または図 9 である。なお、

図7および図9では、サンプリング点の数が5つの例を示したが、数はこれに限られない。サンプリング点の数は、所定の値であってもよく、設計装置1の利用者が設定または変更するようにしてもよい。

[0048] 目的関数最大化・最小化部15は、算出したサンプリング点を用いて、例えば放射基底関数(RBF)によって応答曲面を作成する。または、目的関数最大化・最小化部15は、応答曲面作成にも周期性を考慮するためにフーリエ級数近似を用いて周期性を担保するとさらによい。目的関数最大化・最小化部15は、フーリエ級数近似を、次式(2)を用いて行う。

[0049] [数2]

$$f(x_1 \cdots x_n) = \sum_{m_{x_1}=-\infty}^{\infty} \cdots \sum_{m_{x_n}=-\infty}^{\infty} F_{m_{x_1} \cdots m_{x_n}} e^{\frac{2i\pi}{L}(m_{x_1}x_1 + \cdots + m_{x_n}x_n)} \quad \dots (2)$$

[0050] なお、式(2)において、nはサンプル数を表す。図7または図9に示した例では、n=5となる。

図10は、実施例に係る1次のフーリエ級数近似を行った応答曲面を示す図である。なお、図10に示す例は、実施例2と同様に、外側から2層(6層目、7層目)を選択した例である。図10において、水平面の第1の軸が第6層の積層角度(angle 6)を示し、水平面の第2の軸が第7層の積層角度(angle 7)を示し、縦軸が強度[N]の大きさを示す。

図10に示す応答曲面により、解空間全体を知ることができ、強度を最大化するための最適な積層構成(ここでは設計変数を積層角度としたため各層の積層角度)を知ることができる。

実施例 4

[0051] 実施例3では、応答曲面作成に周期性を考慮するために1次のフーリエ級数近似を行う例を説明したが、実施例4では2次のフーリエ級数近似を行う例を説明する。

1次近似の場合、全体が平滑化されてしまい局所的な最適点が存在する場合に見つけ出すことができない可能性がある。これを2次近似に変更するこ

とで局所的な最適点も見つけることができる。

[0052] 図 1 1 は、実施例に係る 2 次のフーリエ級数近似を行った応答曲面を示す図である。なお、図 1 1 に示す例は、実施例 2 と同様に、外側から 2 層（6 層目、7 層目）を選択した例である。図 1 1 において、水平面の第 1 の軸が第 6 層の積層角度（angle 6）を示し、水平面の第 2 の軸が第 7 層の積層角度（angle 7）を示し、縦軸が強度 [N] の大きさを示す。

[0053] 次に、総積層数が 7 の場合について説明する。

実施例 4 では、前述した位置 C に対して、次式（3）の制約条件を用いる。

[0054] [数 3]

$$\left. \begin{aligned} EI &= \sum_{i=1}^7 E(a_i)_{xx} I_{a_i} \\ GJ &= \sum_{i=1}^7 E(a_i)_{ss} J_{a_i} \\ 35[N \cdot m^2] &\leq EI = f(\theta_1, \theta_2 \dots, \theta_7) \\ 12[N \cdot m^2] &\leq GJ = g(\theta_1, \theta_2 \dots, \theta_7) \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

[0055] なお、式（3）において、EI は、シャフトの曲げ剛性、E は、ヤング率、I は、シャフトの断面二次モーメントである。GJ は、シャフトの捩り剛性、G は、せん断弾性係数、J は、ねじり定数（断面ねじりモーメント）である。また、i は、層の順番であり、1 層目が 1、7 層目が 7 である。また、E (a_i)_{xx} は、E (a₁)_{xx} が最内側の層 L y 1 のヤング率、E (a₂)_{xx} が最内側から 2 層目の層 L y 2 のヤング率、・・・を表す。I a_i は、I a₁ が最内側の層 L y 1 の断面二次モーメント、I a₂ が最内側から 2 層目の層 L y 2 の断面二次モーメント、・・・を表す。E (a_i)_{ss} は、E (a₁)_{ss} が最内側の層 L y 1 のせん断弾性係数、E (a₂)_{ss} が最内側から 2 層目の層 L y 2 のせん断弾性係数、・・・を表す。J a_i は、J a₁ が最内側の層 L y 1 のねじり定数、J a₂ が最内側から 2 層目の層 L y 2 のねじり定数、・・・を表す。また、f、g それぞれは、関数を表す。また、θ₁ は 1 層目の積層

角度、 θ_2 は2層目の積層角度、 \dots 、 θ_7 は7層目の積層角度を表す。

なお、 EI はシャフトとして機能する程度の硬さを有することを制約条件とし、 $35 [N \cdot m^2]$ 以上とした。 GJ はシャフトとして機能する程度の捩れにくさを有することを制約条件とし、 $12 [N \cdot m^2]$ 以上とした。

[0056] 式(3)に示した制約条件を課したときの位置Cにおける最適構成例を説明する。

図12は、実施例に係る制約条件を課したときの位置Cにおける最適構成例を示す図である。

図12に示すように、最外層から最内層の順に、7層目L y 7の積層角度が 90° 、6層目L y 6の積層角度が 15° （計算上は 14.18° だが 15° とした）、5層目L y 5の積層角度が 90° 、4層目L y 4の積層角度が 0° 、3層目L y 3の積層角度が 0° 、2層目L y 1の積層角度が -45° 、1層目L y 1の積層角度が 45° である。

なお、図12に示した構成は、強度が最大であり、重量が最も軽い構成の例である。

[0057] 同様に、位置Bに次式(4)の制約条件を課し、位置Aに次式(5)の制約条件を課し、位置Tに次式(6)の制約条件を課し積層構造を算出した。なお、位置B、AおよびTそれぞれの位置では、必要な性能が異なるため各位置の内径を $13.0 [mm]$ 、 $9.8 [mm]$ 、 $8.4 [mm]$ とした。なお、上述した位置Cの内径は $14.1 [mm]$ とした。

[0058] [数4]

$$\left. \begin{aligned} 20 [N \cdot m^2] &\leq EI = f(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_7) \\ 12 [N \cdot m^2] &\leq GJ = g(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_7) \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

[0059] [数5]

$$\left. \begin{aligned} 10 [N \cdot m^2] &\leq EI = f(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_7) \\ 6 [N \cdot m^2] &\leq GJ = g(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_7) \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

[0060] [数6]

$$\left. \begin{array}{l} 10[N \cdot m^2] \leq EI = f(\theta_1, \theta_2 \dots, \theta_7) \\ 5[N \cdot m^2] \leq GJ = g(\theta_1, \theta_2 \dots, \theta_7) \end{array} \right\} \dots (6)$$

[0061] なお、式(4)～(6)それぞれの値は、EIがシャフトとして機能する程度の硬さを有する内径の大きさに応じた制約条件、GJがシャフトとして機能する程度の振れにくさを有する内径の大きさに応じた制約条件として設定した値である。

[0062] 式(3)～(6)に示した制約条件を課したときの位置C、B、A、Tにおける最適構成例を説明する。

図13は、実施例に係る制約条件を課したときの位置B、A、Tにおける最適構成例を示す図である。

図13の符号g101が示す領域に示すように、位置Bでは、最外層から最内層の順に、7層目Ly7の積層角度が90°、6層目Ly6の積層角度が5°、5層目Ly5の積層角度が90°、4層目Ly4の積層角度が0°、3層目Ly3の積層角度が0°、2層目Ly1の積層角度が-45°、1層目Ly1の積層角度が45°である。

[0063] 図13の符号g102が示す領域に示すように、位置Aでは、最外層から最内層の順に、7層目Ly7の積層角度が90°、6層目Ly6の積層角度が0°、5層目Ly5の積層角度が0°、4層目Ly4の積層角度が0°、3層目Ly3の積層角度が0°、2層目Ly1の積層角度が-45°、1層目Ly1の積層角度が45°である。

[0064] 図13の符号g103が示す領域に示すように、位置Tでは、最外層から最内層の順に、7層目Ly7の積層角度が0°、6層目Ly6の積層角度が0°、5層目Ly5の積層角度が0°、4層目Ly4の積層角度が0°、3層目Ly3の積層角度が0°、2層目Ly1の積層角度が-45°、1層目Ly1の積層角度が45°である。

[0065] 表2に、各位置における比較例と実施例の最適積層の強度評価の結果を示

す。表2は、計算から求めたものを実際に作成して、各位置の強度を測定した結果である。このように、実施例によれば、重量が同じであっても、比較例に対して強度が高まることが確認された。

[0066] [表2]

	位置C強度 [N]	位置B強度 [N]	位置A強度 [N]	位置T強度 [N]	重量[g]
比較例	432	414	428	860	29.5
実施例	470	456	446	952	29.5

[0067] なお、図12および図13に示した計算結果において、位置C、位置B点における外側から2層目の層Ly6がそれぞれ15°、5°である。この設計値をゴルフシャフトに適用すると、ルール違反となる可能性がある。「シャフトが非対称の特性を持つようにデザインされることを効果的に制限」すなわち「故意に左右非対称にしてはならない」というルールがあるためである（例えば、クラブと球についての規則ガイド2016年（第5版）、日本ゴルフ協会）。そこで、材料を約半分の厚みのプリプレグC（表1）を用いて±15°、±5°とすることが望ましい。また、比較例と最適積層のシャフト重量は同等であり、剛性は比較例の方が高かった。この場合では、剛性が小さい方が強度に有利であることが分かる。

剛性評価は1[kg]の錘を用いた片持ち曲げ試験にて行った。ゴルフシャフトの片持ち曲げ試験は、例えば前述したSG基準CPSA0098に従うものであり、詳細は省略する。

[0068] <ゴルフシャフトの一例>

ここで、強度を最大化したゴルフシャフトの最適積層の例について説明する。設計条件は、位置Cの内径が14.1[m]、位置Bの内径が13.0[m]、位置Aの内径が9.8[m]、位置Tの内径が8.4[m]である。

図14は、強度を最大化したゴルフシャフトの最適積層の構成例を示す図である。

[0069] 本実施形態におけるゴルフシャフトは、マンドレルと呼ばれる芯金に、各プリプレグを巻き付け、加熱硬化後にマンドレルを引き抜き、外層を研磨することで得られる。一般的なゴルフシャフト製造方法と同一である。なお、図14では、研磨しろを図示していない。また、図14では、チップ部（位置T側）に外径調整層が存在するが、図示していない。また、位置C側はバット部である。計算の結果、各層に用いた材料は、全てプリプレグE（表1）であった。

[0070] 最内層であるアングル層31の位置C、B、AおよびTそれぞれの積層角度が $+45^\circ$ である。

アングル層32は、位置C、B、AおよびTそれぞれの積層角度が -45° であり、アングル層31に積層して構成される。

[0071] ストレート層33は、位置C、B、AおよびTそれぞれの積層角度が 0° であり、アングル層32に積層して構成される。

ストレート層34は、位置C、B、AおよびTそれぞれの積層角度が 0° であり、ストレート層33に積層して構成される。

[0072] 変化層35cは、積層角度が $+90^\circ$ であり、ストレート層34の位置Cに積層して構成される。

変化層36cは、積層角度が $+15^\circ$ であり、変化層35cに積層して構成される。

変化層37cは、積層角度が $+90^\circ$ であり、変化層36cに積層して構成される。

[0073] 変化層35bは、積層角度が $+90^\circ$ であり、ストレート層34の位置Bに積層して構成される。

変化層36bは、積層角度が 5° であり、変化層35bに積層して構成される。

変化層37bは、積層角度が $+90^\circ$ であり、変化層36bに積層して構成される。

[0074] 変化層35aは、積層角度が 0° であり、ストレート層34の位置Aに積

層して構成される。

変化層 36 a は、積層角度が 0° であり、変化層 35 a に積層して構成される。

変化層 37 a は、積層角度が $+90^\circ$ であり、変化層 36 a に積層して構成される。

[0075] 変化層 35 t は、積層角度が 0° であり、ストレート層 34 の位置 A に積層して構成される。

変化層 36 t は、積層角度が 0° であり、変化層 35 t に積層して構成される。

変化層 37 t は、積層角度が 0° であり、変化層 36 t に積層して構成される。

[0076] なお、各層は、他の隣接する層に巻き付けることで構成するようにしてもよい。

なお、変化層 35 c、変化層 35 b、変化層 35 a、変化層 35 t、変化層 36 c、変化層 36 b、変化層 36 a、変化層 36 t、変化層 37 c、変化層 37 b、変化層 37 a、変化層 37 t それぞれは、各端部が突き合わされるように、すなわち重ね合わせることなく且つ隙間なく配置されるように形成されることが望ましいが、それぞれが単体で巻き付けられてもよい。ここで、図 14 の変化層 35 c、35 b に代表される斜めに突き合わされている部分は応力集中を避けるための逃がし部である。なお、突き合わせた部位に関しては、重ならない限り、例えば、製造上不可避な程度の間隔を有して配置されていてもよい。

[0077] 変化層 35 c、変化層 36 c、変化層 37 c それぞれは、バット端部を起点として $0 - 325 \text{ mm}$ (以下、位置 C 近傍と呼ぶ) 配置される。ここで、長さの基準は、逃がし部の中央までとする。変化層 35 b、変化層 36 b、変化層 37 b それぞれは、 $325 - 625 \text{ mm}$ (以下、位置 B 近傍と呼ぶ) 配置される。また、変化層 35 a、変化層 36 a、変化層 37 a それぞれは、 $625 - 975 \text{ mm}$ (以下、位置 A 近傍と呼ぶ) 配置される。変化層 35

t、変化層36t、変化層37tそれぞれは、975-チップ端まで（以下、位置T近傍と呼ぶ）に配置される。

[0078] 以上の構成は、以下のI~Vの特徴を備えている。

I. バット側からチップ側に向かうに従って、順次垂直積層成分が小さくなる。

ここで垂直積層成分とは、最内層のアングル層の2層を除いた各層の積層角度の和と定義した。なお、アングル層とは、シャフト長手方向に対する繊維の配向が $+20^{\circ} \sim +75^{\circ}$ 、 $-20^{\circ} \sim -75^{\circ}$ である層を指す。また、垂直積層成分は絶対値であり、無次元量とした。

位置C近傍、位置B近傍、位置A近傍、位置T近傍の垂直積層成分を算出する場合は、それぞれの領域において、各層の垂直積層成分を加算した値を各層のプリプレグの枚数で除算してから、求めた各層の垂直積層成分を全層に亘って加算して求める。例えば、 0° 層と 15° 層を比較した場合、垂直積層成分は、 0° 層では0であり、 15° 層では15になるため、垂直積層成分は 15° 層の方が大きい。また、位置C近傍の積層数が3層であり、第一の層が 90° 層の1枚であり、第二の層が 45° と 15° の2枚を突き合わせており、第三の層が 90° を2枚突き合わせている場合、垂直積層成分は $90/1 + (45 + 15)/2 + (90 + 90)/2 = 210$ となる。

II. 少なくとも1層が積層角度を変えた複数のプリプレグからなる。複数のプリプレグからなる層は、全長に亘る層であってもよく、部分的に配置された層でもよい。

[0079] III. 位置C近傍では積層構成が内側から順に、 $+45^{\circ}$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 90° 、 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 、 90° である。垂直積層成分は、195~225となる。位置C近傍は剛性が高いため、曲げによるたわみが少ないうちに、潰れて破壊する。すなわち、潰し剛性が支配的になる。潰し剛性を、疑似的かつ相対的に数値化したものである垂直積層成分が195以上であれば、潰し剛性が高くなるため好ましい。垂直積層成分が225以下であれば、曲げ剛性が十分であるため、好ましい。

[0080] IV. 位置B近傍では積層構成が内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 90° 、 $5^\circ \sim 15^\circ$ 、 90° である。垂直積層成分は185~195であり、位置Cの垂直積層成分よりも小さい。位置B近傍は、位置C近傍よりも細く柔らかいため、破壊時に位置C近傍よりも曲げ成分が大きくなる。垂直積層成分を、位置C近傍の垂直積層成分よりも小さい前記範囲とすることで、曲げ剛性を高めることができる。

[0081] V. 位置A近傍では、積層構成が内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 0° 、 90° である。垂直積層成分は90である。位置Bの垂直積層成分より小さい。仮に位置Aでの垂直積層成分が大きすぎる場合、剛性不足に陥る可能性高いため、垂直積層成分が180未満であることが好ましい。位置A近傍は、位置B近傍よりも細く柔らかいため、破壊時に位置B近傍よりも曲げ成分が大きくなる。そのため、曲げ剛性を高めるために、垂直積層成分を位置B近傍の垂直積層成分よりも小さい上記範囲とすることが好ましい。

[0082] VI. 位置T近傍では、積層構成が内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° である。垂直積層成分は0である。位置T近傍では、破壊はほぼ曲げによって起こるため、垂直積層成分は0が好ましい。

[0083] 上記特徴は、バット側ほど曲げ剛性が高いため、3点曲げ実施時には曲げ変形はあまり生じず、潰しで壊れやすいことに依存する。すなわち、円筒形のシャフトが楕円に変形して壊れる。そのため、潰し剛性を高めるための 90° 層を多く配置すべきという結論に達する。

一方、チップ側は曲げ剛性が低く、3点曲げ実施時には曲げ変形が大きく生じ、潰し変形はあまり生じない。よって、曲げ剛性を高めるための 0° 層を多く配置すべきという結論に達する。

[0084] 以上のように、本実施形態の設計手法により、上述した構成(図14)を有するシャフトが得られた。なお、ここでは層数は7層としプリプレグEで構成したが、上記特徴を満たせば同じように強度を高めることが可能となる。各変化層も同様に調節可能である。設計装置1が設計したシャフトは概ね

30 [g] 以下であった（実測は29.5 [g] であった）。剛性は1 [kg] の錘を用いた片持ち曲げ試験にて90 [mm] 以上になるよう設計した。片持ち曲げ試験の実測値は91 [mm] であった。

[0085] 以上のように、実施形態によれば、設計したい目的関数（例えば剛性）が最大又は最小となる設計変数（例えば材料）を求めることができる。

また、実施形態によれば、設計したい目的関数（例えば3点曲げ強度）が最大又は最小となる設計変数（例えば積層角度）を層毎に求めることができる。

[0086] また、実施形態によれば、Space-Filling法等を用いたサンプリング手順を行うことで、少ないサンプリング点で全体を網羅でき、なるべく少ないサンプリング点で全体を網羅でき、解析時間を短縮することができる。

また、実施形態によれば、フーリエ級数近似によるサンプリング手順において、サンプリング空間を拡張したので、2重サンプリングを防ぐことができる。

また、実施形態によれば、サンプリング手順において、フーリエ級数近似が一次の場合、解空間全体を知ることができ、強度を最大化するための最適な積層構成（ここでは設計変数を積層角度としたため各層の積層角度）を知ることができる。また、フーリエ級数近似が二次の場合、局所的な最適点も見つけることができる。

[0087] また、実施形態によれば、積層のうち少なくとも1つの層が複数の領域（例えば、位置C近傍、位置B近傍、位置A近傍、位置T近傍）を備えるため、層毎かつ領域毎に設計したい目的関数が最大又は最小となる設計変数を求めることができる。これにより、実施形態によれば、例えば、重量が同じであっても、比較例に対して強度が高めることができる。

産業上の利用可能性

[0088] 軽量化や高強度化に応用することができ、複数の繊維強化樹脂層からなる管状体に特有の課題を解決できる。

符号の説明

[0089] 1…設計装置、11…目的関数選択部、12…設計変数選択部、13…設計変数変更部、14…解析部、15…目的関数最大化・最小化部、16…記憶部、S1…目的関数選択手順（解析手順）、S2…設計変数選択手順（解析手順）、S3、S31…設計変数選択手順（解析手順）、S4…解析手順、S5、S51…目的関数最大化・最小化手順（探索手順）、S311…サンプリング手順、S511…応答曲面作成手順、31、32…アンクル層、33、34…ストレート層、35、36、37、35a、36a、37a、35b、36b、37b、35c、36c、37c、35t、36t、37t…変化層

請求の範囲

- [請求項1] 複数の繊維強化樹脂層を積層してなる管状体の設計変数の値を順次変化させながら、積層モデルを用いた離散的手法によって繰り返し計算を行って、前記管状体の複数の目的関数を算出する解析手順と、
算出された前記複数の目的関数の中から最大値又は最小値となる前記設計変数の値を探索する探索手順と、
を含む管状体設計方法。
- [請求項2] 前記目的関数は、複数の変数からなる
請求項1に記載の管状体設計方法。
- [請求項3] 前記離散的手法は、有限要素法、境界要素法、個別要素法、Element Free Galerkin (EFG) 法、extended FEM (XFEM) 法、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法、Capsular Particle Methodのうち少なくとも1つであり、
前記目的関数は、前記管状体の強度、重量、曲げ剛性、振り剛性のうちいずれか1つ又は複数の線形結合で表されたものであり、
前記探索手順は、前記管状体の、積層された各層の積層角度、材料定数、パイプ形状のうち少なくとも1つを前記設計変数として選択する、
請求項1または請求項2に記載の管状体設計方法。
- [請求項4] 前記管状体の積層される複数の層のうち少なくとも1つの層は、2つ以上の領域を備え、
前記解析手順は、前記層の領域毎に前記複数の目的関数を算出し、
前記探索手順は、前記層の領域毎に前記設計変数の値を探索する、
請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の管状体設計方法。
- [請求項5] 前記解析手順が、更に、前記設計変数である前記層の積層角度を離散的に選択するサンプリング手順、を含み、
前記解析手順は、前記サンプリング手順によって選択した、前記層

の積層角度を、前記順次変化させた前記設計変数として、前記複数の目的関数を算出し、

前記探索手順は、前記解析手順によって算出した前記複数の目的関数に近似するよう算出した応答曲面を作成する応答曲面作成手順、を含み、

前記探索手順は、前記応答曲面作成手順によって作成した前記応答曲面中で前記目的関数が最大値又は最小値をとるような前記設計変数の値を探索する、

請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の管状体設計方法。

[請求項6] 前記サンプリング手順は、サンプリング空間を繰り返しのある無限空間に拡張し、各サンプリング点同士の距離の最小値を最大化するサンプリングを行う、

請求項 5 に記載の管状体設計方法。

[請求項7] 前記応答曲面作成手順は、フーリエ級数近似にて応答曲面の作成を行う、

請求項 5 または請求項 6 に記載の管状体設計方法。

[請求項8] 前記フーリエ級数近似は、一次近似又は二次近似である、

請求項 7 に記載の管状体設計方法。

[請求項9] 前記管状体は、ゴルフシャフトであり、

請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の管状体設計方法によってゴルフシャフトを設計する、ゴルフシャフト設計方法。

[請求項10] 最内層のアンクル層 2 層を除いた各層の積層角度の和である垂直積層成分が、バット側からチップ側に向かうにしたがって小さくなるゴルフシャフト。

[請求項11] 少なくとも 1 層が積層角度を変えた複数のプリプレグからなる

請求項 10 に記載のゴルフシャフト。

[請求項12] バット端部を基準とし、0 mm 以上かつ 325 mm 未満を位置 C 近傍、325 mm 以上かつ 625 mm 未満を位置 B 近傍、625 mm 以

上～975mmを位置A近傍、975mm以上かつチップ端までを位置T近傍と定義したとき、1)～4)を満たす、

請求項10または請求項11に記載のゴルフシャフト。

1) 位置C近傍での垂直積層成分が、195以上、225未満である

2) 位置B近傍での垂直積層成分が、185以上であり、C点の垂直積層成分よりも小さい

3) 位置A近傍での垂直積層成分が、90以上、180未満である

4) 位置T近傍での垂直積層成分が、0である

[請求項13]

位置C近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 90° 、 $15^\circ \sim 45^\circ$ 、 90° であり、位置B近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 90° 、 $5^\circ \sim 15^\circ$ 、 90° であり、位置A近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° 、 90° であり、位置T近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° である、

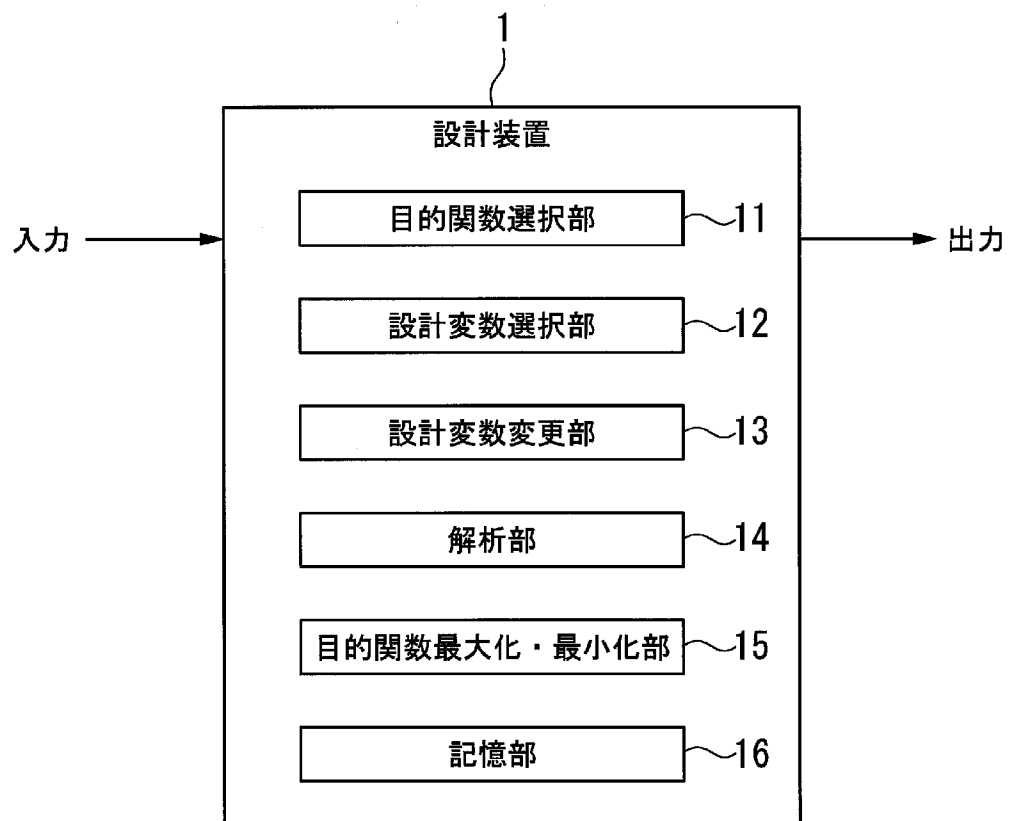
請求項10から12のいずれか1項に記載のゴルフシャフト。

[請求項14]

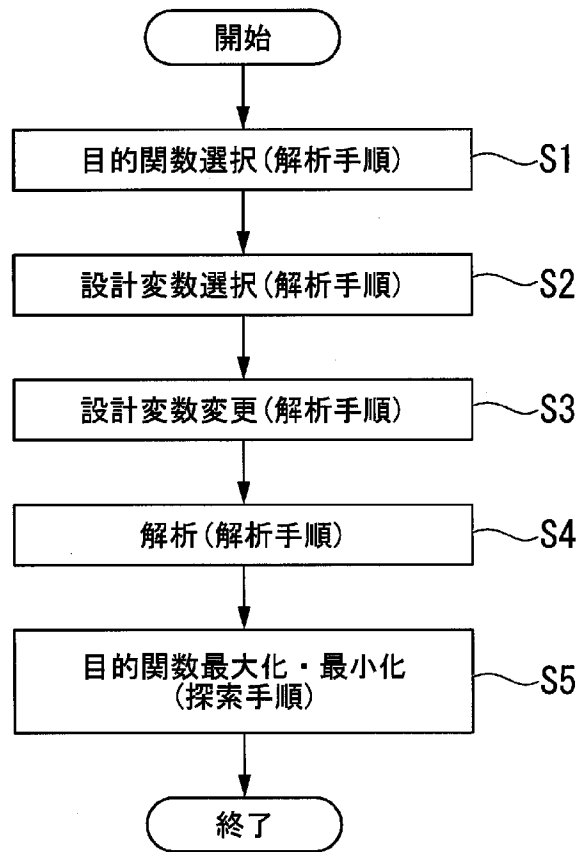
位置C近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 90° 、 $+15^\circ \sim 45^\circ$ 、 $-15^\circ \sim -45^\circ$ 、 90° であり、位置B近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 90° 、 $-5^\circ \sim -15^\circ$ 、 $+5^\circ \sim +15^\circ$ 、 90° であり、位置A近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° 、 90° であり、位置T近傍での積層角度が前記管状体の内側から順に、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° 、 0° である、

請求項10または請求項11に記載のゴルフシャフト。

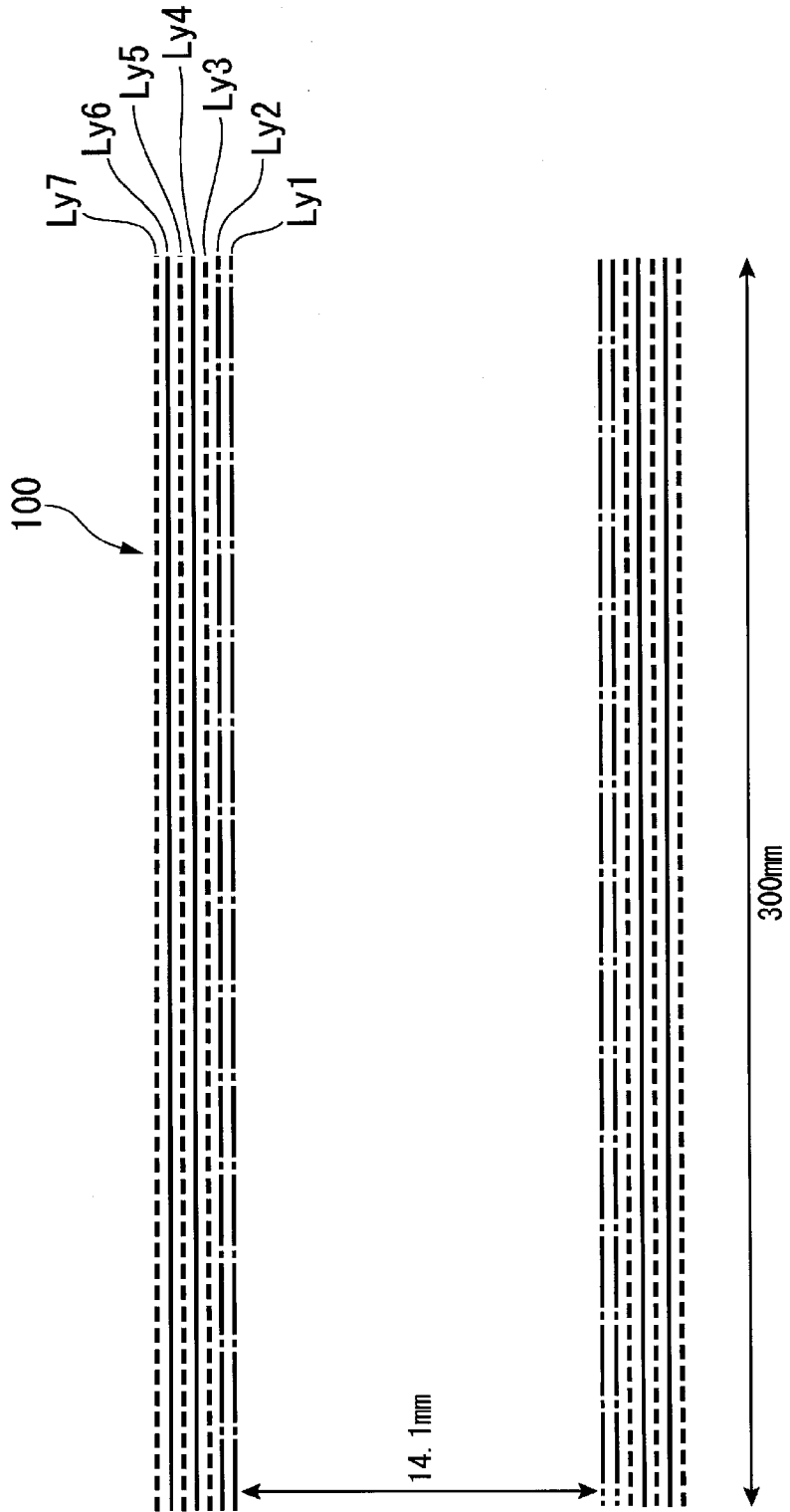
[図1]



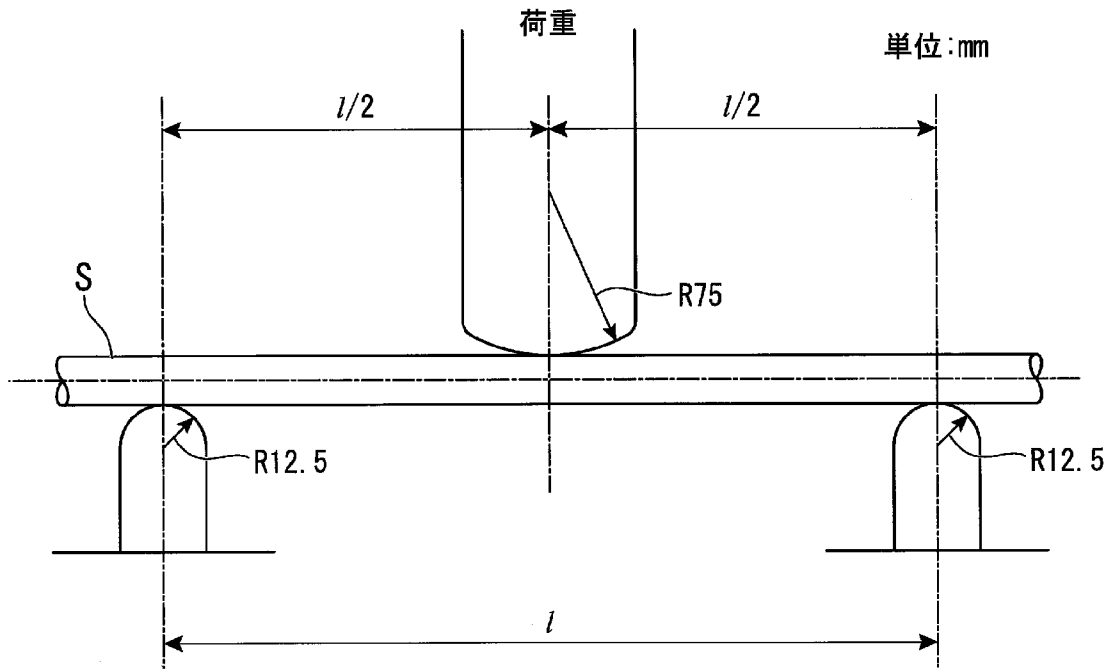
[図2]



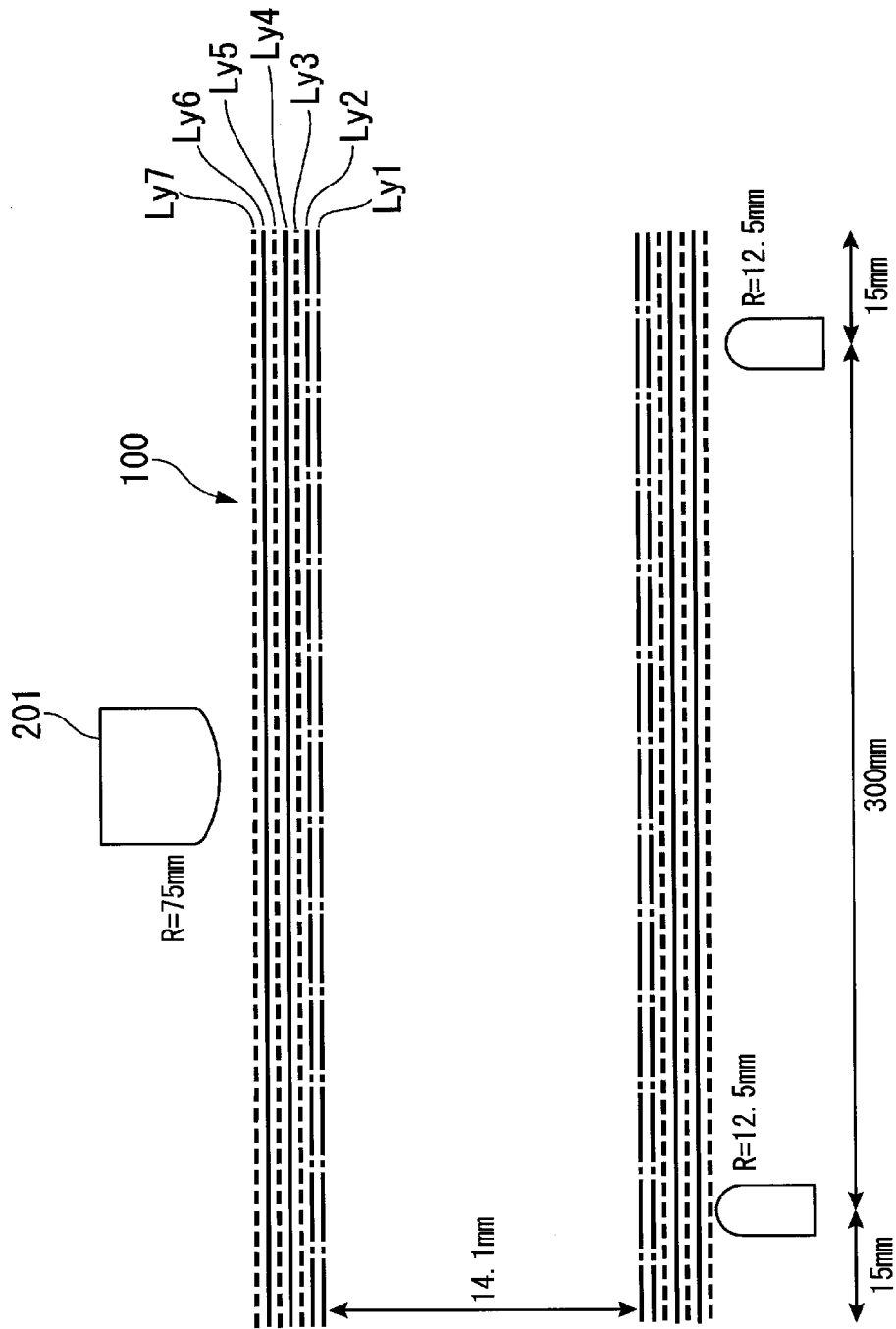
[図3]



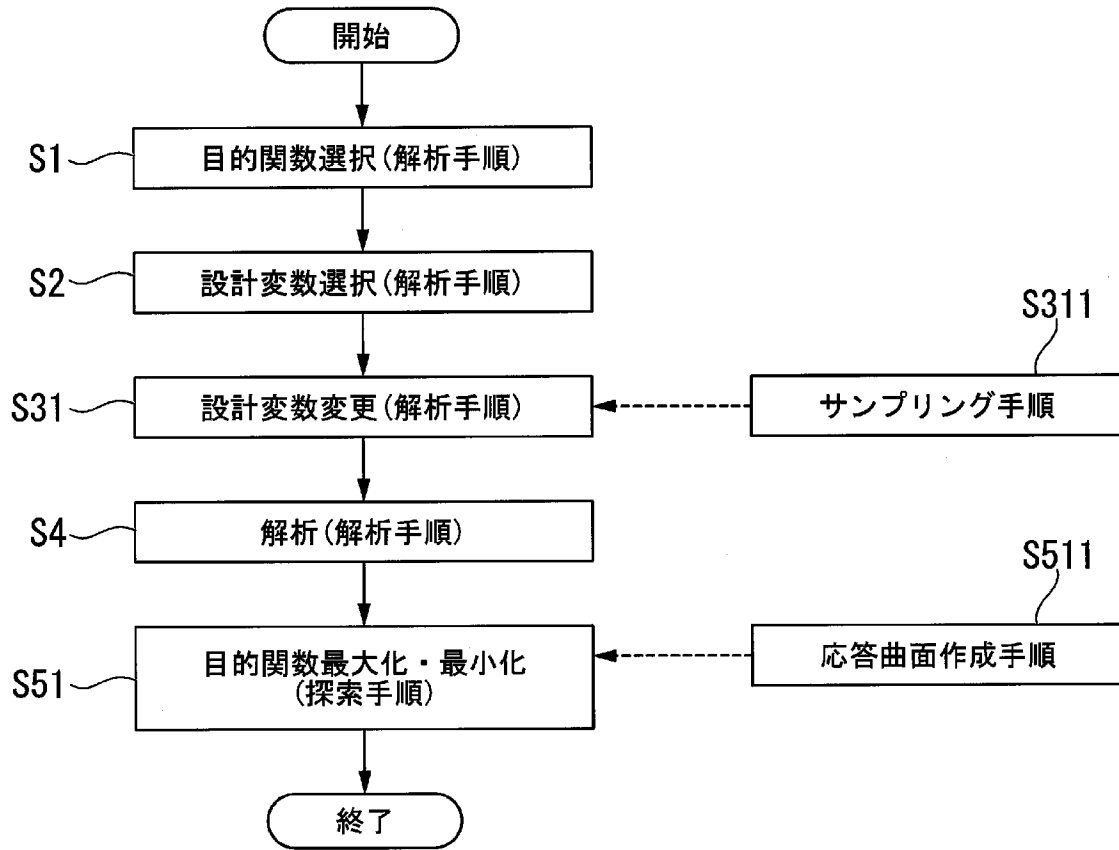
[図4]



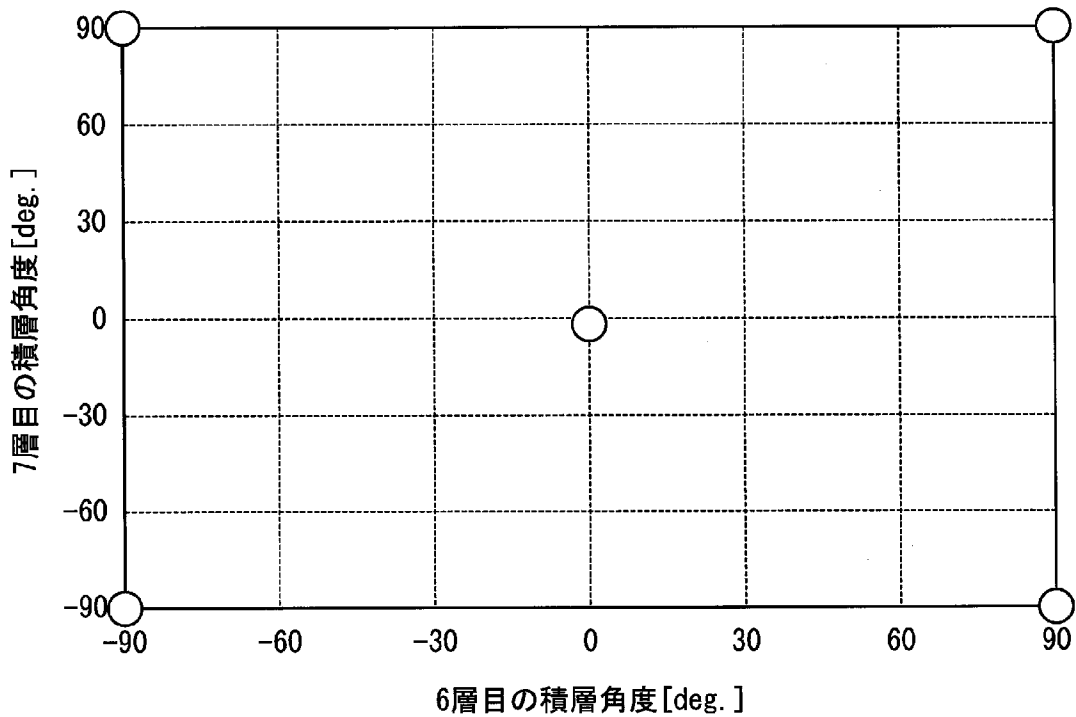
[図5]



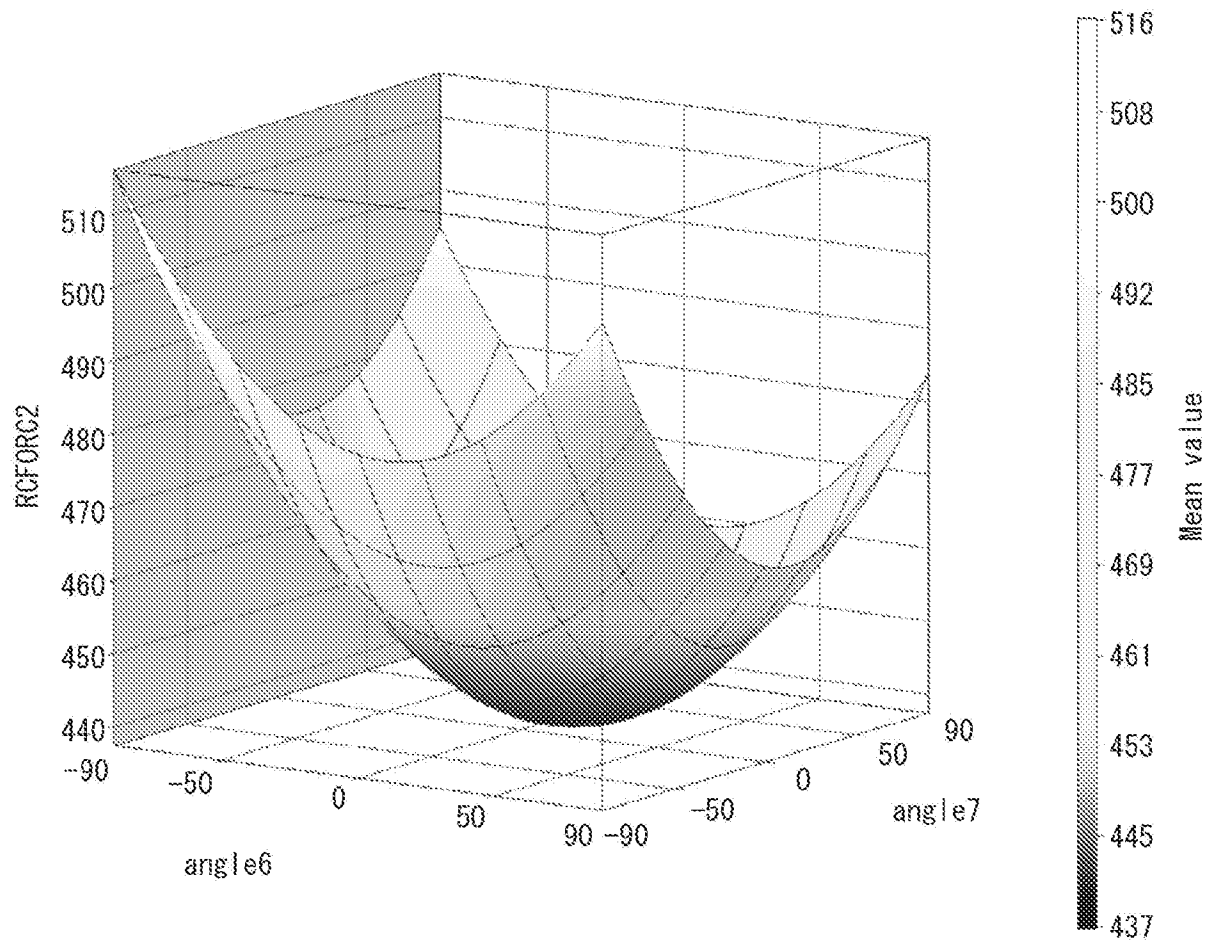
[図6]



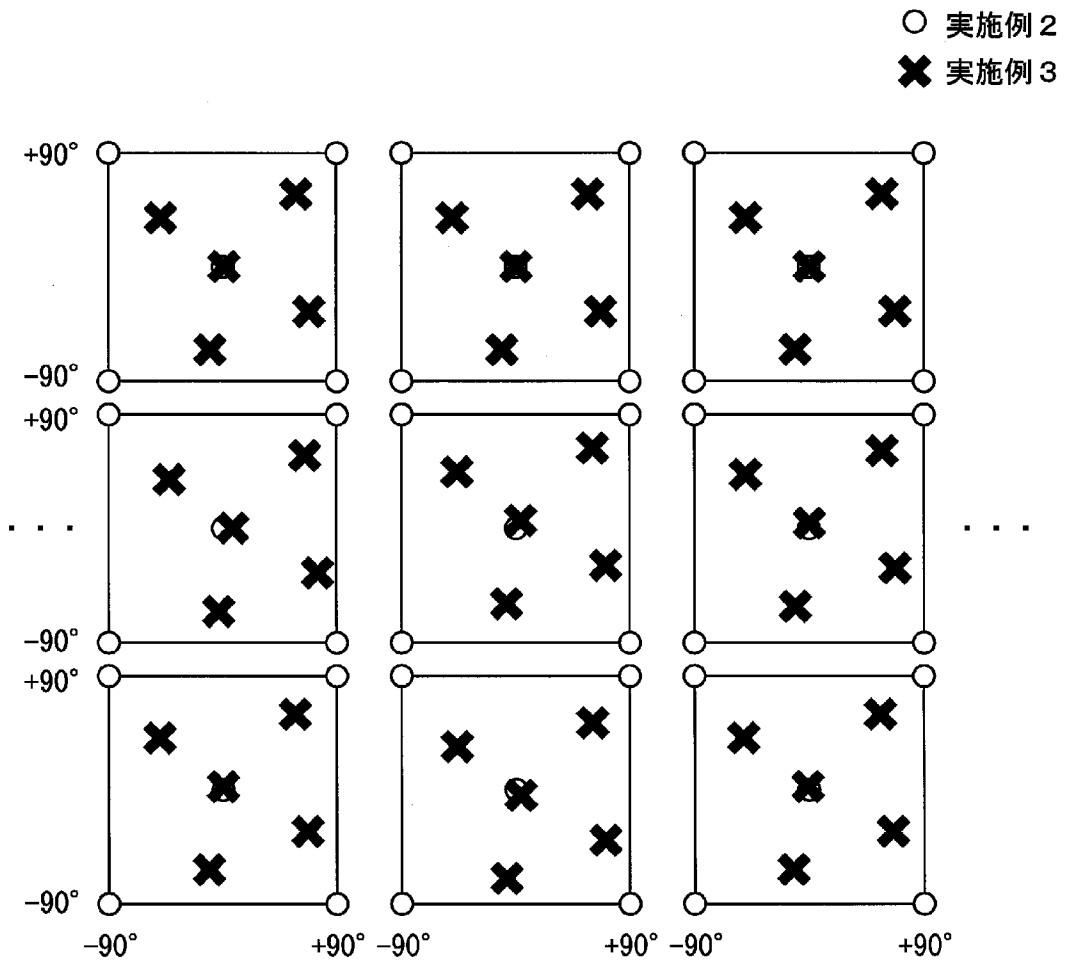
[図7]



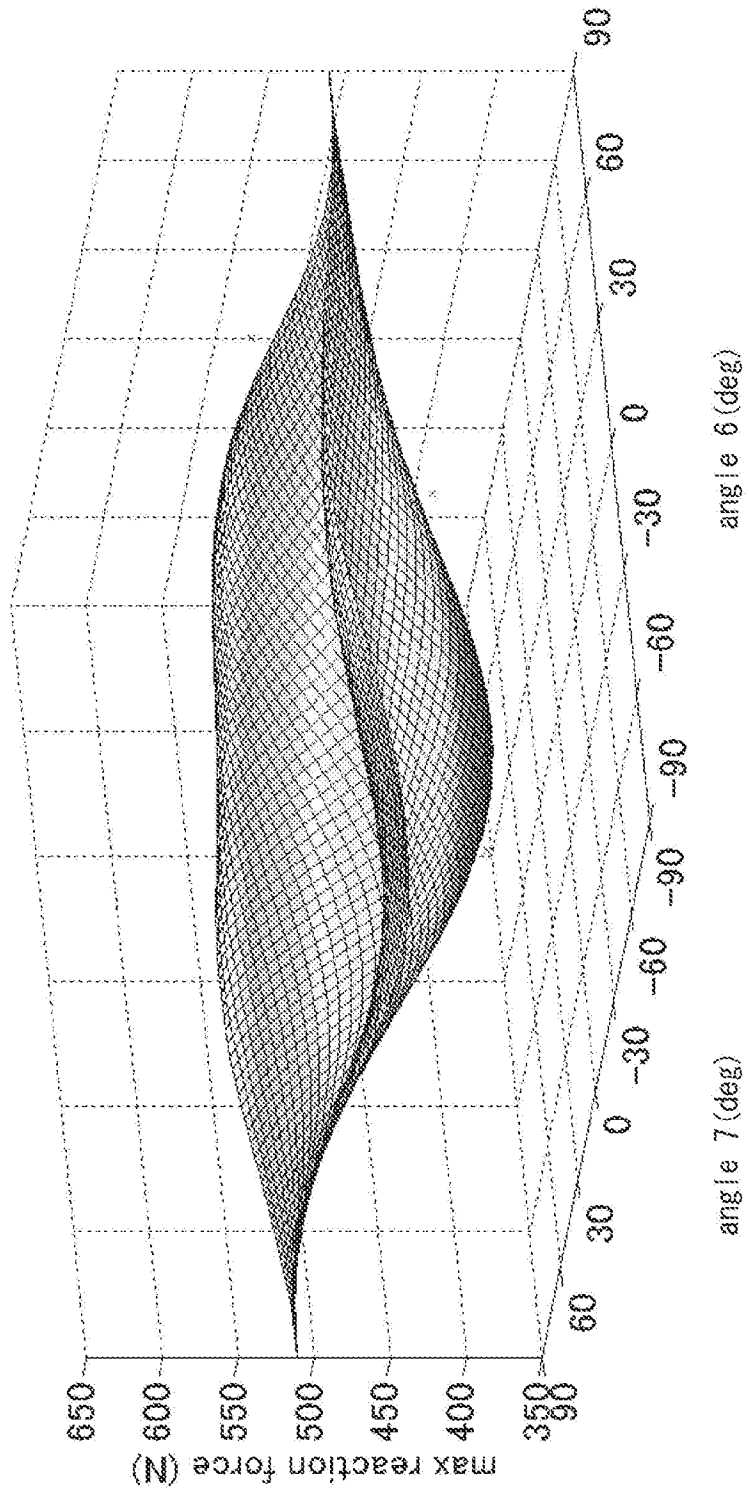
[圖8]



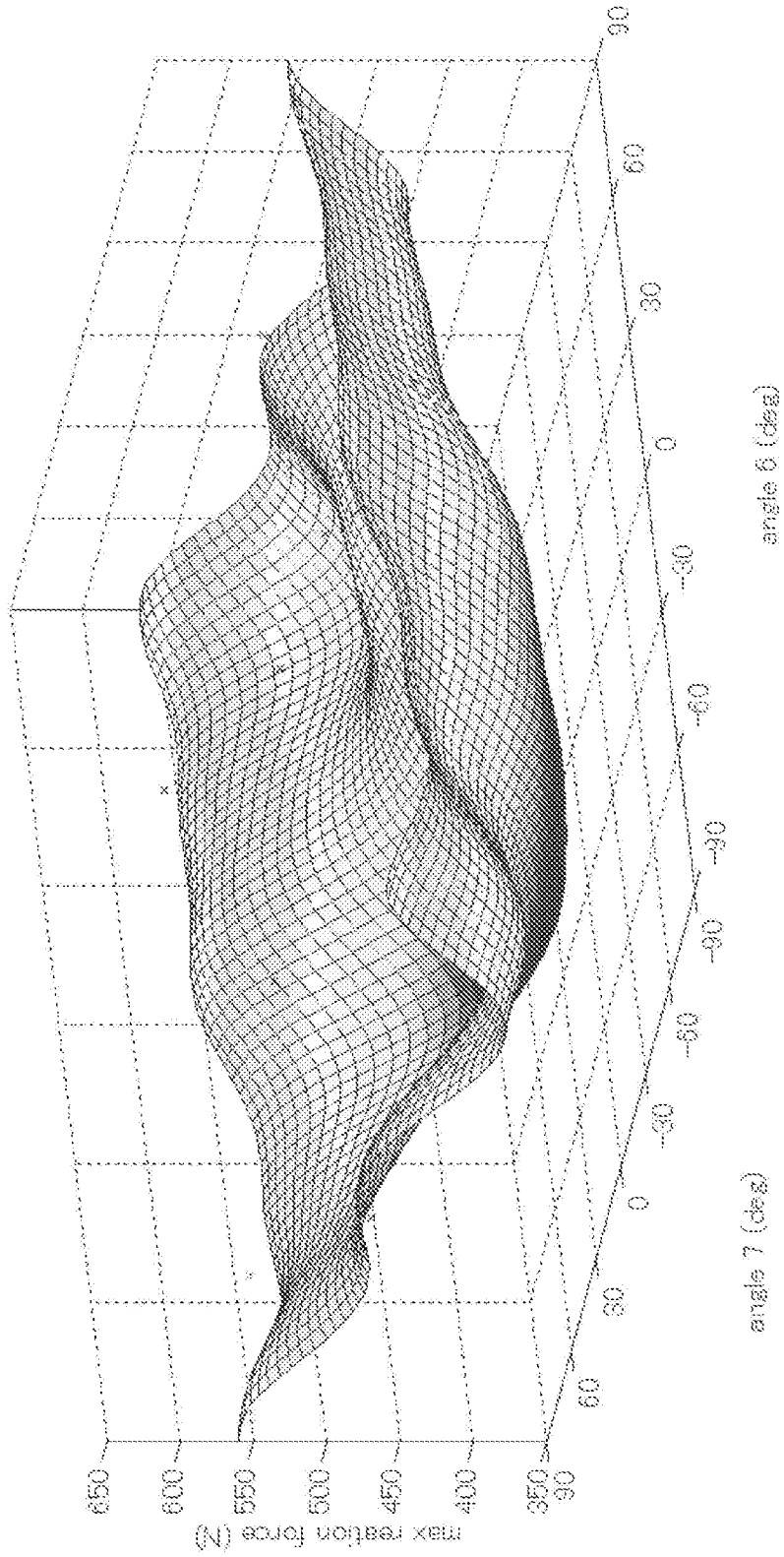
[図9]



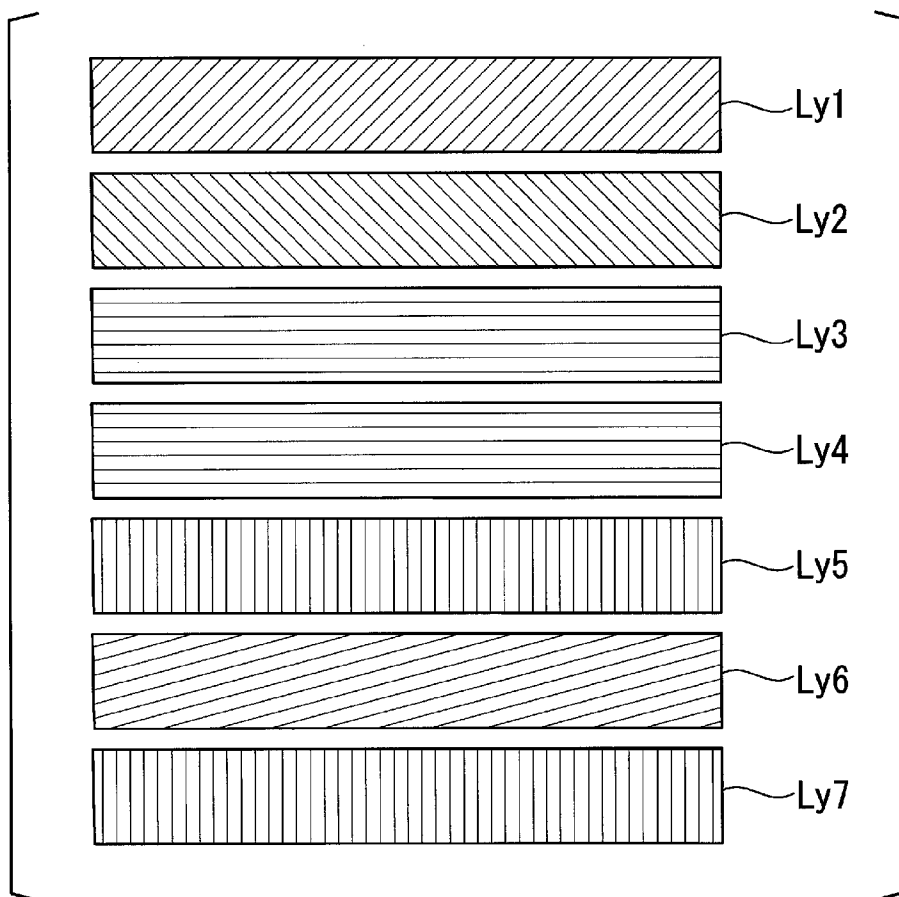
[図10]



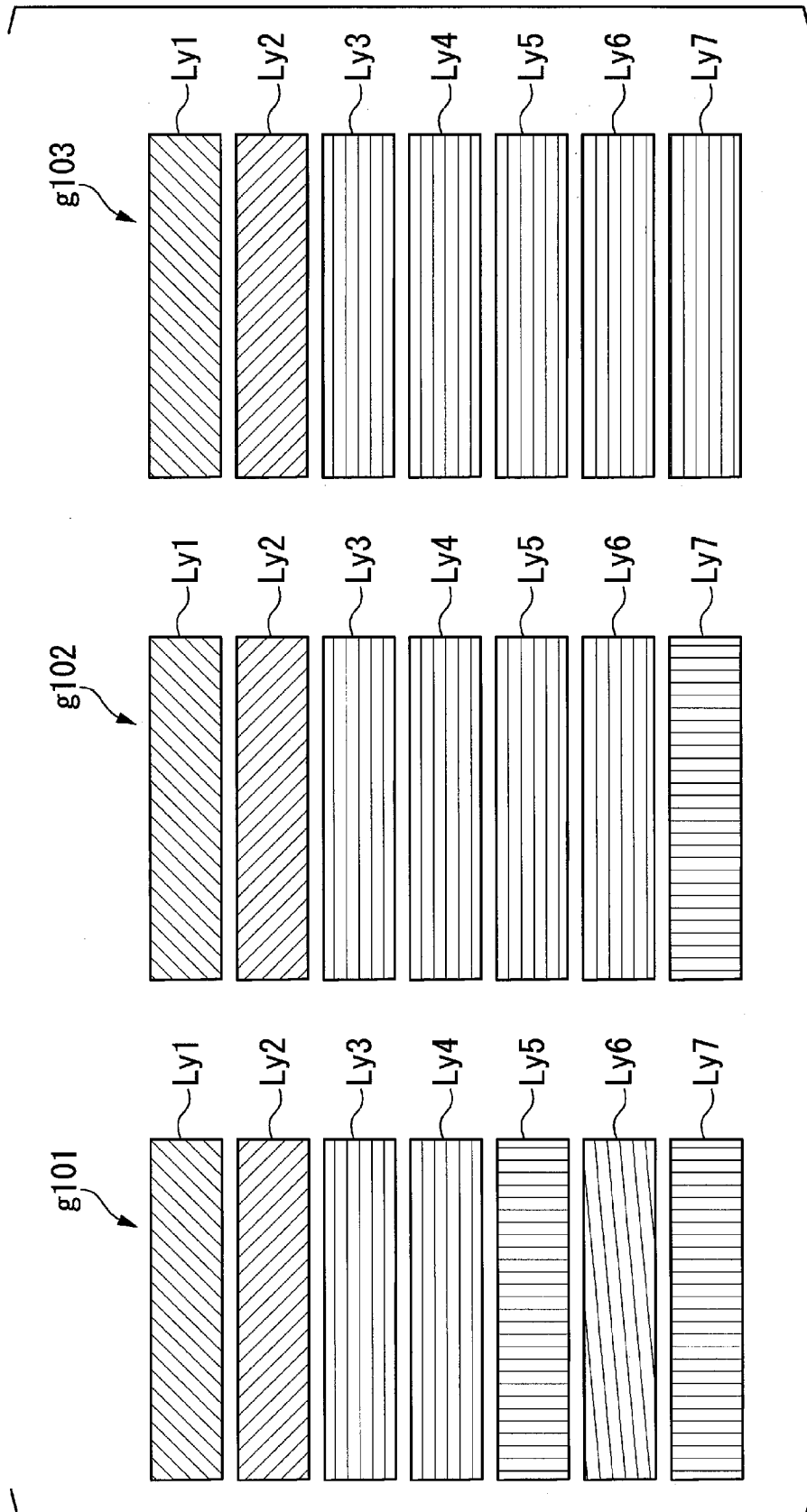
[図11]



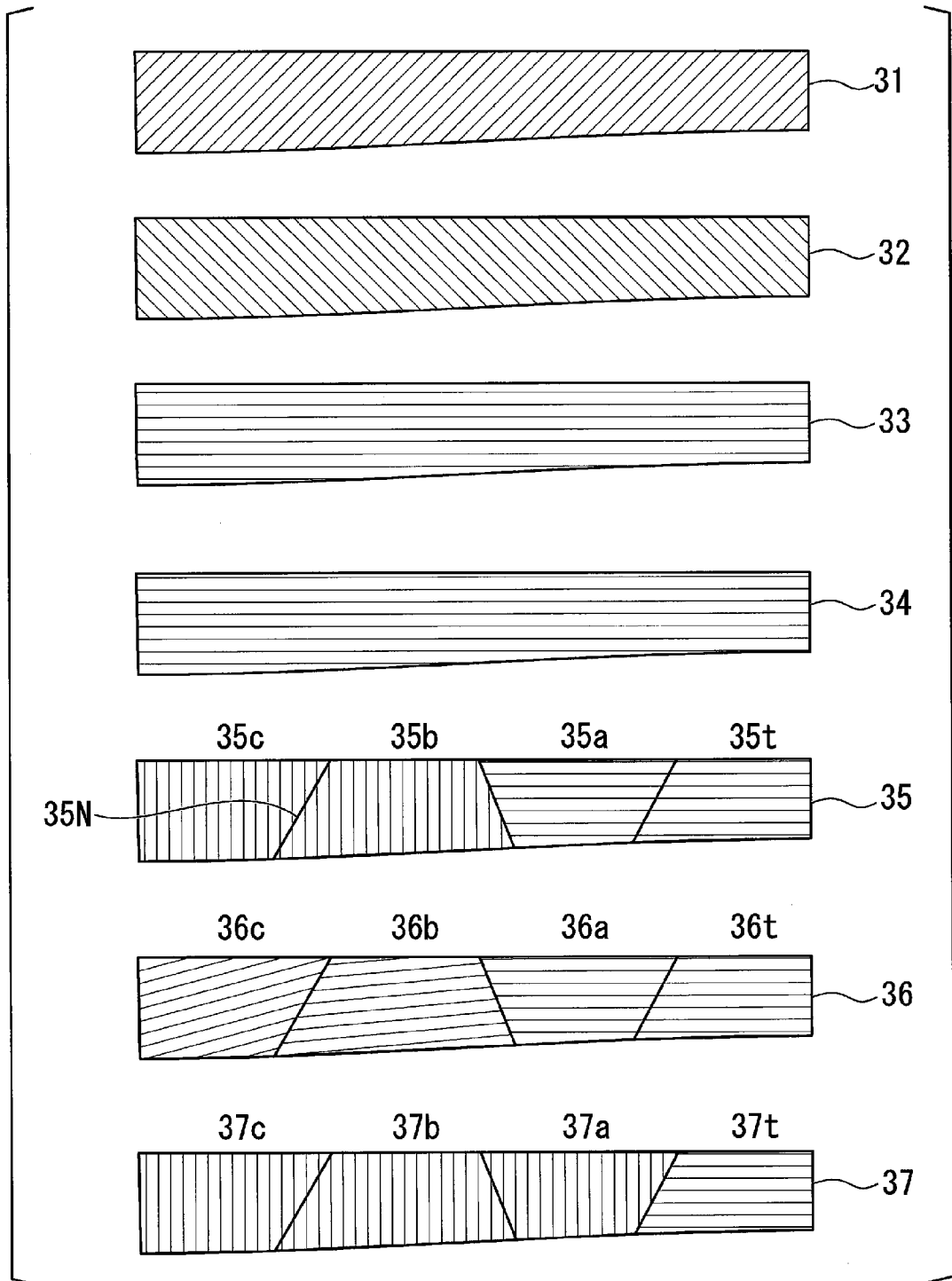
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/018087

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B29C70/10(2006.01)i, A63B53/10(2015.01)i, B32B1/08(2006.01)i, G06F17/50(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)
B29C70/10, A63B53/10, B32B1/08, G06F17/50

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

<i>Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1922-1996</i>	<i>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</i>	<i>1996-2017</i>
<i>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1971-2017</i>	<i>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1994-2017</i>

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2010-240209 A (Sumitomo Rubber Industries, Ltd.), 28 October 2010 (28.10.2010), claims; paragraphs [0019] to [0025], [0034], [0051] (Family: none)	1-9 10-14
X A	JP 2004-8521 A (The Yokohama Rubber Co., Ltd.), 15 January 2004 (15.01.2004), claims; paragraphs [0001] to [0003], [0021], [0034], [0040], [0046] (Family: none)	1-3, 5-9 4, 10-14
A	JP 2008-302017 A (SRI Sports Ltd.), 18 December 2008 (18.12.2008), entire text (Family: none)	1-14

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" 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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 30 June 2017 (30.06.17)	Date of mailing of the international search report 11 July 2017 (11.07.17)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. B29C70/10(2006.01)i, A63B53/10(2015.01)i, B32B1/08(2006.01)i, G06F17/50(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. B29C70/10, A63B53/10, B32B1/08, G06F17/50

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

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）

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 A	JP 2010-240209 A（住友ゴム工業株式会社）2010.10.28, 特許請求の範囲、【0019】-【0025】、【0034】、【0051】（ファミリーなし）	1-9 10-14
X A	JP 2004-8521 A（横浜ゴム株式会社）2004.01.15, 特許請求の範囲、【0001】-【0003】、【0021】、【0034】、【0040】、【0046】（ファミリーなし）	1-3, 5-9 4, 10-14

C欄の続きにも文献が列挙されている。

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

「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
 「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
 「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）
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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
 「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
 「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
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30.06.2017

国際調査報告の発送日

11.07.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）
 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）

辰己 雅夫

電話番号 03-3581-1101 内線 3471

4R

2941

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
A	JP 2008-302017 A (S R I スポーツ株式会社) 2008. 12. 18, 全文 (ファミリーなし)	1-14