

(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
2015年9月17日(17.09.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/137260 A1

- (51) 国際特許分類:
A61B 6/03 (2006.01) *A61B 5/055* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/056745
- (22) 国際出願日: 2015年3月6日(06.03.2015)
- (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 2014-048953 2014年3月12日(12.03.2014) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人大阪大学(OSAKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 Osaka (JP). 東レエンジニアリング株式会社(TORAY ENGINEERING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1030021 東京都中央区日本橋本石町三丁目3番16号(日本橋室町ビル) Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 岡山 慶太(OKAYAMA Keita); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大

阪大学内 Osaka (JP). 南都 伸介(NANTO Shin-suke); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 坂田 泰史(SAKATA Yasushi); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 澤田 聡(SAWADA Satoshi); 〒5202141 滋賀県大津市園山一丁目1番1号 東レエンジニアリング株式会社内 Shiga (JP). 中野 亮(NAKANO Ryo); 〒5202141 滋賀県大津市園山一丁目1番1号 東レエンジニアリング株式会社内 Shiga (JP).

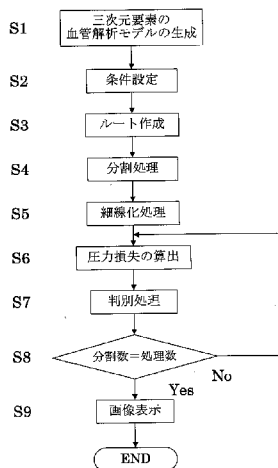
(74) 代理人: 杉谷 勉(SUGITANI Tsutomu); 〒5300047 大阪府大阪市北区西天満1丁目10番8号 西天満第11松屋ビル Osaka (JP).

(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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,

[続葉有]

(54) Title: BLOOD FLOW ANALYSIS SYSTEM AND BLOOD FLOW ANALYSIS PROGRAM

(54) 発明の名称: 血流解析システムおよび血流解析プログラム



- S1 Generate blood vessel analysis model with three-dimensional elements
S2 Set conditions
S3 Create routes
S4 Segmenting
S5 Thinning
S6 Calculation of pressure loss
S7 Identification
S8 Segment number = processed number?
S9 Display image

(57) Abstract: A blood vessel analysis model is created by reading previously stored image data for blood vessels of a subject from a storage unit. Simulation of blood flowing in the blood vessel analysis model is performed according to boundary conditions for any of the positions of multiple capillaries branching downstream of a specified position in the created blood vessel analysis model, the capillary flow resistances, and pressure, flow volume and flow velocity at the blood inflow sections and outflow sections to determine the respective pressure losses for the multiple routes from said specified position to the various capillaries. By comparing the pressure losses for the multiple routes determined by the calculation unit with previously determined reference values, blood vessels with stenotic sites or occluded sites are identified.

(57) 要約: 予め記憶されている被検体の血管の画像データを記憶部から読み出して血管解析モデルを生成し、生成された血管解析モデルの所定位置から下流にかけて分岐している複数本の毛細血管の位置、毛細血管の流動抵抗および血液の流入部および流出部の圧力、流量、流速のいずれかの境界条件に応じて、血管解析モデルに血液を流した場合のシミュレーションを実行し、当該所定位置から各毛細血管までの複数本のルート間の各圧力損失を求め、算出部で求めた複数本の圧力損失と予め決めた基準値の比較から狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別する。



IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, 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.

ロシア (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).

(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

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 血流解析システムおよび血流解析プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、例えば冠動脈などの血管を流れる血液の状態を解析し、当該解析結果から血管内の狭窄部位および閉塞部位を判別することを可能にする血流解析システムおよび血流解析プログラムに関する。

背景技術

[0002] X線CT撮像装置などによって予め撮像された脳内血管の画像データを利用して動脈瘤の破裂の危険性をコンピュータのシミュレーションによって判断している。具体的には、血管部位の三次元形状データ、血管の厚み情報および病理情報などに基づいて、流体解析および構造解析を行い、血管内の脳動脈瘤に作用する剪断応力ベクトルを求める。当該剪断応力ベクトルの向きおよび血流の状態量から動脈瘤の破裂の危険性を判断している（特許文献1を参照）。

[0003] 特許文献1：国際公開公報WO2013-031741号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、上記コンピュータのシミュレーションでは冠動脈などの血管の狭窄部位および閉塞部位の治療が必要な部位を判別することはできない。そこで、現状は次のようにして血管の狭窄部位および閉塞部位を判別している。血管の狭窄部位または閉塞部位は、複数箇所にもわたって存在していることがある。そこで、例えば予め撮像した被検体の冠動脈の画像データから作成された冠動脈の三次元画像を、医師が目視してステント治療に必要な狭窄部位および閉塞部位を判別している。あるいは、狭窄部位と診断した箇所の遠位部までガイドワイヤを挿入し、当該ガイドワイヤに備わった圧力センサによって血管の内圧を測定し、主として各主要三分枝の遠位部の血管の内圧が大動脈（すなわち、冠動脈入口部位）に比べて血管拡張条件下でどの程

度低下しているかを判断している。すなわち、冠血流予備能比を測定することによって治療適用の有無を判断している。

[0005] 医師の目視による判断では、治療すべき狭窄部位および閉塞部位を過小評価したり、過大評価したりするおそれがある。また、圧力センサ付きガイドワイヤを利用する場合、大抵の施設で入院による心臓カテーテル検査が必要となり、患者への身体的、時間的および経済的な負担がかかるばかりでなく、検査自体に伴う脳梗塞や冠動脈穿孔などといった重篤な合併症のリスクが生じ、医療経済的にも非効率である。

[0006] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであって、冠動脈の治療が必要な狭窄部位および閉塞部位を非侵襲的に短時間で精度よく、数値的かつ客観的に判別することのできる血流解析システムおよび血流解析プログラムを提供することを主たる目的としている。

課題を解決するための手段

[0007] この発明は、このような目的を達成するために、次のような構成をとる。

[0008] すなわち、血管内の血液の流れをシミュレーションによって解析する血流解析システムであって、

撮像によって予め取得した被検体の血管の画像データを記憶する記憶部と、

、

前記記憶部から画像データを読み出して血管解析モデルを生成する血管解析モデル生成部と、

前記血管解析モデルを表示する表示部と、

前記血管解析モデルの所定位置から下流にかけて分岐している複数本の毛細血管の位置、毛細血管の流動抵抗および血液の流入部および流出部の圧力、流量、流速のいずれかの境界条件を設定する操作部と、

前記設定された各条件に応じて、血管解析モデルに血液を流した場合のシミュレーションを実行し、所定位置から各毛細血管までの複数本のルート間の各圧力損失を求める算出部と、

前記算出部で求めた複数本の圧力損失と予め決めた基準値の比較から狭窄

部位または閉塞部位を有している血管を判別する判別部と、
を備えたことを特徴とする。

[0009] (作用・効果) この血液解析システムによれば、生成された血管解析モデルの所定位置から毛細血管まで複数本のルートに、所定条件で血液を流した場合の各圧力損失がシミュレーションによって求められる。したがって、当該圧力損失と予め決めた基準値を比較することにより、狭窄部位または閉塞部位を含む血管のルートを判別することができる。すなわち、従来のように患者に負担をかけることなく、シミュレーションによるコンピュータ解析によって短時間で狭窄部位または閉塞部位を精度よく判別することができる。

[0010] また、この発明は、このような目的を達成するために、次のような構成をとる

[0011] すなわち、血管内の血液の流れをシミュレーションによって解析する血流解析システムであって、

撮像によって予め取得した被検体の血管の画像データを記憶する記憶部と、

前記記憶部から画像データを読み出して血管解析モデルを生成する血管解析モデル生成部と、

前記血管解析モデルを表示する表示部と、

前記血管解析モデルの所定位置から下流にかけて分岐している複数本の毛細血管の位置、毛細血管の流動抵抗および血液の流入部および流出部の圧力、流量、流速のいずれかの境界条件を設定する操作部と、

前記設定された各条件に応じて、血管解析モデルに血液を流した場合のシミュレーションを実行し、起点から各毛細血管までの複数本のルート間を流れる血液の各流量を求める算出部と、

前記算出部で求めた複数本の流量と予め決めた基準値の比較から狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別する判別部と、

を備えたことを特徴とする。

[0012] (作用・効果) この血流解析システムによれば、生成された血管解析モデルの所定位置から毛細血管まで複数本のルートに、所定条件で血液を流した場合の各ルート間の各流量がシミュレーションによって求められる。したがって、当該流量と予め決めた基準値を比較することにより、狭窄部位または閉塞部位を含む血管のルートを判別することができる。すなわち、従来のように患者に負担をかけることなく、シミュレーションによるコンピュータ解析によって短時間で狭窄部位または閉塞部位を精度よく判別することができる。

[0013] なお、上記血流解析システムにおいて、判別部は、予め設定された大動脈圧と複数本のルートの遠位部の内圧の圧力損失、または、予め設定された冠動脈入口部の流量と複数本のルートの遠位部の流量の損失を求め、当該算出結果と予め決めた基準値を比較し、有意狭窄部位または閉塞部位を有する血管のルートの候補を判別することが好ましい。

[0014] この血流解析システムによれば、算出された圧力損失または流量の変化から複数本あるルートのうち治療の必要な責任病変（有意狭窄部位または閉塞部位）を含むルートの候補を精度よく判別することができる。例えば、血流などのパラメータを制御することで、血管拡張条件下、いわゆるhyperemia状態においての各主要三分枝の遠位部の血管内圧の大動脈圧に対する比率を求めることができる。圧力センサで測定したときに、治療適応の判断基準として用いられる冠血流予備能比の測定値（FFR_{myo}）が、例えば0.75を下回るか否か、すなわち各主要三分枝の遠位部の血管内圧が大動脈圧に比し、例えば25%以上の圧力損失を伴っているかを判別することができる。

[0015] 上記各血流解析システムにおいて、各ルートを所定間隔で複数個の血管ブロックに分割する分割処理部を備え、

判別部は、血管ブロック同士の継ぎ目間の圧力損失を求め、当該圧力損失と基準値を比較して狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別することが好ましい。

[0016] この血流解析システムによれば、ルート内のどの部位に狭窄部位または閉

塞部位が存在するかを精度よく特定することができる。

[0017] なお、上記各血流解析システムにおいて、血管解析モデルは、例えば、三次元要素または細線化された一次元要素のいずれであってもよい。

[0018] また、上記血流解析システムにおいて血管解析モデルが三次元要素の場合、分割処理部によって分割された血管ブロックを細線化し、当該血管ブロックごとに継ぎ目座標、細線化前の継ぎ目部分の直径および血管ブロックの長さに関連付ける細線化処理部を備え、

判別部は、細線化された血管ブロックの情報を利用して継ぎ目間の圧力損失を求め、当該圧力損失と基準値を比較して狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別することが好ましい。

[0019] この血流解析システムによれば、三次元の画像データから絞り込んだ特定の数値パラメータのみを利用して圧力損失を求めることができる。その結果、三次元の全画像データを利用する場合に比べて演算処理時間を短縮することができる。

[0020] さらに、上記血流解析システムにおいて、例えば、判別部によって判別された狭窄部位または閉塞部位を含む血管ブロックに装着可能なサイズのステントを抽出するステント抽出部を備え、

判別部は、抽出されたステントを装着した場合のシミュレーションを実行させて狭窄部位または閉塞部位の血流が所定値に改善されるか否かを判別することが好ましい。

[0021] この血流解析システムによれば、抽出された複数個のステントを狭窄部位または閉塞部位に装着した場合の血流の状態がシミュレーションによって解析されるので、最適なステントを選択することができる。すなわち、径、長さを指定したステントを狭窄部位、または閉塞部位に留置した状態をシミュレーションすることにより、治療後の血流、あるいは血管内圧の予測値を算出することができる。

[0022] また、この発明は、このような目的を達成するために、次のような構成をとる

[0023] すなわち、血管内の血液の流れをコンピュータによるシミュレーションによって解析する血流解析プログラムであって、

前記コンピュータに予め記憶されている被検体の血管の画像データを記憶部から読み出して血管解析モデルを生成する血管解析モデル生成部と、

設定された前記血管解析モデルの所定位置から下流にかけて分岐している複数本の毛細血管の位置、毛細血管の流動抵抗および血液の流入部および流出部の圧力、流量、流速のいずれかの境界条件に応じて、血管解析モデルに血液を流した場合のシミュレーションを実行し、当該所定位置から各毛細血管までの複数本のルート間の各圧力損失を求める算出部と、

前記算出部で求めた複数本の圧力損失と予め決めた基準値の比較から狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別する判別部とを機能させる

ことを特徴とする。

[0024] また、血管内の血液の流れをコンピュータによるシミュレーションによって解析する血流解析プログラムであって、

前記コンピュータに予め記憶されている被検体の血管の画像データを記憶部から読み出して血管解析モデルを生成する血管解析モデル生成部と、

設定された前記血管解析モデルの所定位置から下流にかけて分岐している複数本の毛細血管の位置、毛細血管の流動抵抗および血液の流入部および流出部の圧力、流量、流速のいずれかの境界条件に応じて、血管解析モデルに血液を流した場合のシミュレーションを実行し、当該所定位置から各毛細血管までの複数本のルート間の各流量を求める算出部と、

前記算出部で求めた複数本の流量と予め決めた基準値の比較から狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別する判別部とを機能させる

ことを特徴とする。

[0025] （作用・効果） これら血流解析プログラムによれば、上記血流解析システムを好適に実施させて、血管内の狭窄部位または閉塞部位を精度よく求めることができる。

[0026] なお、上記血流解析プログラムは、例えば、コンピュータに予め設定され

た大動脈圧と複数本のルートの遠位部の内圧の圧力損失、または、予め設定された冠動脈入口部の流量と複数本のルートの遠位部の流量の損失を求め、当該算出結果と予め決めた基準値を比較し、有意狭窄部位または閉塞部位を有する血管のルートの候補を判別させることが好ましい。

[0027] この血流解析プログラムによれば、血管の複数本のルートから有意狭窄部位または閉塞部位を含むルートの候補をコンピュータによって精度よく判別させることができる。

[0028] また、上記血流解析プログラムにおいて、コンピュータに各ルートを所定間隔で複数個の血管ブロックに分割する分割処理部と、

前記血管ブロック同士の継ぎ目間の圧力損失を求め、当該圧力損失と基準値を比較して狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別する判別部とを機能させることが好ましい。

[0029] なお、上記各血流解析プログラムにおいて利用される血管解析モデルは、例えば、三次元要素または細線化された一次元要素のいずれであってもよい。

[0030] さらに、利用する血管解析モデルが三次元要素である場合、コンピュータに分割処理部によって分割された血管ブロックを細線化し、当該血管ブロックごとに継ぎ目座標、細線化前の継ぎ目部分の直径および血管ブロックの長さに関連付けて記憶部にさせる細線化処理部と、

細線化された前記血管ブロックの情報を利用して継ぎ目間の圧力損失を求め、当該圧力損失と基準値を比較して狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別する判別部とを機能させることが、さらに好ましい。

[0031] この血流解析プログラムによれば、血管の複数本のルートから判別された狭窄部位または閉塞部位を含むルート内のどの部位に狭窄部位などが存在するかをコンピュータによって精度よく判別させることができる。

[0032] なお、上記血流解析プログラムは、例えば、コンピュータに判別部によって判別された狭窄部位または閉塞部位を含む血管ブロックに装着可能なサイズのステントを抽出するステント抽出部と、

前記ステントを装着した場合のシミュレーションを実行させて狭窄部位または閉塞部位の血流が所定値に改善されるか否かを判別する判別部を機能させてもよい。

[0033] この血流解析プログラムによれば、狭窄部位などの血流を改善させる最適なステントをコンピュータによって抽出させることができる。

発明の効果

[0034] 本発明の血流解析システムおよび血流解析プログラムによれば、血管の所定位置から毛細血管に分岐している複数本のルート間のどの部位に狭窄部位または閉塞部位が存在するかを短時間で精度よく判別することができる。

図面の簡単な説明

[0035] [図1]血流解析システムの概略全体構成を示すブロック図である。

[図2]血流解析システムを利用した血流解析の処理を示すフローチャートである。

[図3]三次元要素からなる血管解析モデルの画像を示す図である。

[図4]血管解析モデルの画像の分割処理を示す模式図である。

[図5]分割後の血管ブロックを細線化した画像を示す図である。

[図6]血管ブロックの圧力損失を求める模式図である。

[図7]変形例の血流解析システムの概略全体構成を示すブロック図である。

[図8]変形例の血流解析システムを利用した血流解析の処理を示すフローチャートである。

[図9]変形例の血流解析システムを利用した血流解析の処理を示すフローチャートである。

符号の説明

- [0036]
- 1 … 記憶部
 - 2 … 血管解析モデル生成部
 - 3 … 分割処理部
 - 4 … 細線化処理部
 - 5 … 算出部

- 6 … 判別部
- 7 … 表示部
- 8 … 操作部
- 9 … ステント抽出部
- D … 血管ブロック
- R … ルート

発明を実施するための最良の形態

[0037] 以下、図面を参照して本発明の一実施例を説明する。

[0038] 図1に示すように、血流解析システムは、記憶部1、血管解析モデル生成部2、分割処理部3、細線化処理部4、算出部5、判別部6、表示部7および操作部8などから構成されている。以下、各部の構成については、図2に示すフローチャートの動作説明に沿って詳述する。

[0039] 記憶部1は、被検体の冠動脈などの血管を、例えば、X線CT撮像装置、MRI（磁気共鳴画像診断装置）およびDSA装置（デジタル差引血管造影法）などによって予め撮像された画像データを記憶している。また、記憶部1には、後述するように、操作部8から設定入力された各種条件、予め決めたレシピ、算出結果なども記憶する。

[0040] 血管解析モデル生成部2が、記憶部1から予め記憶されている画像データを読み出し、三次元要素の血管解析モデルを生成する。例えば、本実施例では、図3に示すように、冠動脈の三次元要素の血管解析モデルを生成し、当該血管解析モデルの画像を表示部7に表示する（ステップS1）。

[0041] キーボード、マウスおよび操作パネルなどの操作部8を操作して各種条件を設定する。例えば、冠動脈の基端側の位置A（起点）、毛細血管の流動抵抗および当該位置Aから下流にかけて分岐している毛細血管の位置A1、A2…、心臓から冠動脈に送り出される血液の流入部および流出部の圧力、流量および流速のいずれか、および血管をブロック（区画）分割するピッチなどを設定する（ステップS2）。

[0042] ここで、毛細血管の流動抵抗、血液の圧力、流量および流速は、被検体の

平常時および運動レベルに応じた複数のレシピが記憶部 1 に予め設定登録されており、適宜に設定を変更可能になっている。毛細血管の位置は、画面に表示された血管解析モデルを回転させながら選択してもよいし、指定した冠動脈の基端の血管の直径と表示領域内の下流側の血管の直径とを比較して求めてもよい。すなわち、冠動脈の基端と下流側の血管との直径を比較すると下流側が小さいので、当該直径の相対的な比較によって抽出することもできる。

[0043] なお、血管解析モデルには、毛細血管の末端までが生成されていないので、毛細血管の流動抵抗は、一定流量の血液が流れたときの圧力損失が所定の値になるように毛細血管の半径および距離を相対的に変化させた複数パターンのレシピを予め作成してある。

[0044] 設定状態に基づいて、演算処理用のモデルデータが作成される。例えば、冠動脈の基端から複数箇所の毛細血管の先端までの複数本のルート $R_1 \sim R_i$ (i は正の整数) が作成される (ステップ S 3)。

[0045] 分割処理部 3 が、図 4 の点線の楕円で示すように、設定された所定ピッチで各ルートを短小の血管ブロック D (D_1 、 $D_2 \dots$) に分割する (ステップ S 4)。

[0046] 分割処理が完了すると、図 5 に示すように、血管ブロック D ごとに中心線を求めて細線化する (ステップ S 5)。この細線化処理に伴い、隣接する血管ブロック D 同士の継ぎ目の中心線の座標、継ぎ目の血管ブロックの直径または半径、血管ブロック D の長さ (ピッチ) を血管ブロック D ごとに関連付けて演算処理用のモデルデータを作成する。なお、モデルデータは、記憶部 1 に記憶される。

[0047] モデルデータの作成が完了すると、シミュレーションを実行し、血液の流れを解析する。すなわち、設定した条件で冠動脈の基端側 (流入部) から各ルートの末端 (流出部) まで血液を流すシミュレーションを実行する。例えば、流体解析法的一种である有限要素法などによってシミュレーションを実行し、血管ブロック D ごとに圧力損失を算出する (ステップ S 6)。

- [0048] 具体的には、算出部5が、各血管ブロックDのモデルデータを読み出し、図6に示すように、基端側の圧力 P_1 と終端側の圧力 P_2 を求める。ここで、血管ブロックD内の圧力損失 ΔP は、 $\Delta P = P_1 - P_2$ によって求まる。なお、図6は、狭窄部位を含む血管ブロックDを例にとって説明している。
- [0049] 血管ブロックDの圧力損失が求まるごとに、判別部6が、狭窄部位や閉塞部位などの有無を判別する（ステップS7）。すなわち、異常がない場合の血管ブロックDの圧力損失の基準値と求めた圧力損失の算出値を比較する。比較の結果、判別部6は、算出値が基準値を超える場合、狭窄部位または閉塞部位と判別する。なお、狭窄部位と閉塞部位の判別は、予め決めた圧力損失のレベルに応じて判別する。
- [0050] 分割した全ての血管ブロックDの判別処理が完了するまで、ステップS6からステップS7の処理が繰り返し実行される（ステップS8）。
- [0051] 上記一連の処理が完了し、狭窄部位または閉塞部位を含む血管ブロックDが検出されると、検出結果が記憶部1に記憶される。当該記憶された検出結果は、血管解析モデルの対応する部位をハイカラーなどのマーキングなどを施して適宜に表示部7に表示する（ステップS9）。なお、表示画像は、例えば、三次元の血管解析モデルの画像上に狭窄部位を含む血管ブロックの箇所をマーキングしてもよい。または、細線化した画像上の部位をマーキングしてもよい。以上で、一連の処理が完了する。
- [0052] なお、上記ステップS3からステップS4の処理は、コンピュータのプログラムによって実行される。
- [0053] この構成によれば、三次元要素の血管解析モデルを細線化した血管ブロックDごとに基端と終端の中心座標、血管の直径およびピッチを関連付けたデータ量の小さいモデルデータを作成し、当該モデルデータを利用して圧力損失を求めるので、三次元要素の全ての画像データを利用する場合に比べて演算処理の時間を大幅に短縮することができる。
- [0054] また、血管ブロックごとに圧力損失を求めるので、狭窄部位または閉塞部位を精度よく特定することができる。

[0055] さらに、狭窄部位などは、X線CT撮像装置、MRIおよびDSA装置などによって予め撮像された画像データを用いたコンピューターシミュレーションによって判別されるので、患者には一切の負担がかからない。

[0056] 本発明は上述した実施例のものに限らず、次のように変形実施することもできる。

[0057] (1) 上記実施例装置は、以下のようなシミュレーションも実行することができる。例えば、図7に示すように、判別結果によって求めた狭窄部位などを含む血管ブロックDの形状（例えば、直径、長さ）に応じたステントを抽出するステント抽出部9を上述の血流解析システムに付加した構成にする。この構成により、図8に示すフローチャートに沿ってシミュレーションを実行することができる。なお、ステップS1からステップS9までの処理は、上記実施例と同じであるので説明を省略し、追加されたステップS10移行の処理について詳述する。

[0058] 判別部6によって狭窄部位を含む血管ブロックDが求めると、ステント抽出部9が、記憶部1から該当する血管ブロックDのモデルデータを読み出し、当該血管ブロックDの直径および長さに応じたステントを記録部1に記録されているステントタイプのデータベースから複数種類の候補を抽出する（ステップS10）。

[0059] 候補のステントごとに装着した血管の修正解析モデルを再作成する（ステップS11）。修正解析モデルごとの血流状態を確認するために、先の判別時と同じ条件で血液を流したシミュレーションを実行し、装着部位の血管ブロックDのみの圧力損失を求め（ステップS12）、算出値と基準値との比較によって血流状態の改善レベルを判別する（ステップS13）。全て候補のステントについての処理が繰り返されて（ステップS14）終了すると、圧力損失の結果一覧を表示部7に表示させる（ステップS15）。当該結果一覧から圧力損失が最小となるものなど最適条件となるステントを選択する。

[0060] この血管解析システムによれば、狭窄部位または閉塞部位の血流を改善す

るのに最適なステントを短時間で選択することができる。

[0061] (2) 上記各実施例システムにおいて、狭窄部位または閉塞部位を特定する前に、これら狭窄部位などを含む血管の候補を複数本のルートから判別するように構成してもよい。例えば、上記各実施例のステップS 7の判別処理において、次のような処理を実施すればよい。

[0062] 予め設定された大動脈圧と複数本のルートの遠位部の内圧の圧力損失、または、予め設定された冠動脈入口部の流量と複数本のルートの遠位部の流量の損失を求め、当該算出結果と予め決めた基準値を比較し、有意狭窄部位または閉塞部位を有する血管のルートの候補を判別する。

[0063] 例えば、血流などの複数個のパラメータを制御することにより、血管拡張条件下、いわゆるhyperemia状態においての各主要三分枝の遠位部の血管内圧の大動脈圧に対する比率を求めることができる。圧力センサ付きガイドワイヤで測定したときに、治療適応の判断基準として用いられる冠血流予備能比の測定値 (FFR_{myo} : Fractional Flow Reserve myo) が、例えば0.75を下回るか否か、すなわち各主要三分枝の遠位部の血管内圧が大動脈圧に比し、例えば25%以上の圧力損失を伴っているかを判別することができる。

[0064] (3) 上記各実施例システムにおいて、狭窄部位などを含む血管ブロックDが求まった場合、血管ブロックDのどの部位に含まれるかを、さらに解析するようシミュレーションを実行してもよい。

[0065] 例えば、抽出された血管ブロックDを所定ピッチで前後にシフトさせ、シフトごとにシミュレーションを実行し、当該血管ブロックDのみの圧力損失の変化を求める。算出値が、最大値と最小までの間の偏差の変化量から位置を特定してもよい。あるいは、当該血管ブロックのピットを拡大および縮小したときのシミュレーションを実行して当該血管ブロックDのみの圧力損失を求めるようにしてもよい。

[0066] (4) 上記各実施例システムでは、血管ブロックDごとに圧力損失を求めていたが、流量または流速の変化に基づいて、狭窄部位または閉塞部位を判別してもよい。すなわち、圧力、流量および流速は、流体のシミュレーショ

ンにおいて相対的な関係を有するので、これらのパラメータを予め設定することにより、いずれのパラメータを選択して実行しても、狭窄部位または閉塞部位を同じ精度で判別することができる。

[0067] すなわち、各血管ブロックの基端から終端を通過する血液の流量または流速をそれぞれ算出し、当該算出値と予め決めた基準値を比較することにより、狭窄部位または閉塞部位を判別することができる。

[0068] (5) 上記各実施例では、三次元要素の血管解析モデルを利用していたが、一次元要素の血管解析モデルを利用してもよい。

[0069] 例えば、図9に示すフローチャートに示すように、最初にX線CT画像データで作成される三次元画像を細線化し、一次元要素の血管解析モデルを作成する(ステップS1)。その後、上記実施例と同様に、条件設定し(ステップS2)、複数本の血管のルートを作成する(ステップS3)。ルートが作成されると、所定ピッチでルートを分割する。このとき、分割ブロックの節点ごとに座標および血管の直径または半径がそれぞれ関連付けられ、一次元要素のモデルデータを作成する(ステップS4)。以後、当該モデルデータを利用して分割ブロックごとに圧力損失求め(ステップS5)、当該算出値と基準値を比較して狭窄部位または閉塞部位を判別する(ステップS6)。当該圧力損失は、分割ブロックの全てに対して実施例される(ステップS8)。

[0070] 当該実施例によれば、一次元要素の血管解析モデルのデータ量が、三次元要素の血管解析モデルのデータ量よりも小さいので、演算負荷が小さくなり、ひいては演算処理速度を向上させることができる。

[0071] なお、一次元要素の血管解析モデルを利用した場合であっても、上記変形例のように、判別結果によって狭窄部位が求まると、当該狭窄部位に応じたステントの候補を抽出し、血管修正モデルを再作成してシミュレーションを実行し、最適なステントを選択するようにもできる。

[0072] (6) 上記実施例システムは、個々の病院内に設置したコンピュータのみによって構成してもよいし、個々の病院に設置された複数台のコンピュータ

と特定の場所に設置されたホストコンピュータをネットワークによって接続して構成してもよい。ネットワークによる構成の場合、個々の病院に設置したコンピュータから画像データを送信し、ホストコンピュータによって血流解析シミュレーションを実行した後に、当該結果を個々の病院のコンピュータにフィードバックするよう構成すればよい。

産業上の利用可能性

[0073] 以上のように、本発明は、冠動脈の治療が必要な狭窄部位および閉塞部位を非侵襲的に短時間で精度よく判別するのに適している。

請求の範囲

[請求項1]

血管内の血液の流れをシミュレーションによって解析する血流解析システムであって、

撮像によって予め取得した被検体の血管の画像データを記憶する記憶部と、

前記記憶部から画像データを読み出して血管解析モデルを生成する血管解析モデル生成部と、

前記血管解析モデルを表示する表示部と、

前記血管解析モデルの所定位置から下流にかけて分岐している複数本の毛細血管の位置、毛細血管の流動抵抗および血液の流入部および流出部の圧力、流量、流速のいずれかの境界条件を設定する操作部と、

前記設定された各条件に応じて、血管解析モデルに血液を流した場合のシミュレーションを実行し、所定位置から各毛細血管までの複数本のルート間の各圧力損失を求める算出部と、

前記算出部で求めた複数本の圧力損失と予め決めた基準値の比較から狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別する判別部と、

を備えたことを特徴とする血流解析システム。

[請求項2]

血管内の血液の流れをシミュレーションによって解析する血流解析システムであって、

撮像によって予め取得した被検体の血管の画像データを記憶する記憶部と、

前記記憶部から画像データを読み出して血管解析モデルを生成する血管解析モデル生成部と、

前記血管解析モデルを表示する表示部と、

前記血管解析モデルの所定位置から下流にかけて分岐している複数本の毛細血管の位置、毛細血管の流動抵抗および血液の流入部および流出部の圧力、流量、流速のいずれかの境界条件を設定する操作部と

、

前記設定された各条件に応じて、血管解析モデルに血液を流した場合のシミュレーションを実行し、起点から各毛細血管までの複数本のルート間を流れる血液の各流量を求める算出部と、

前記算出部で求めた複数本の流量と予め決めた基準値の比較から狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別する判別部と、

を備えたことを特徴とする血流解析システム。

[請求項3] 請求項1または請求項2記載の血流解析システムにおいて、

前記判別部は、予め設定された大動脈圧と複数本のルートの遠位部の内圧の圧力損失、または、予め設定された冠動脈入口部の流量と複数本のルートの遠位部の流量の損失を求め、算出結果と予め決めた基準値を比較し、有意狭窄部位または閉塞部位を有する血管のルートの候補を判別する

ことを特徴とする血流解析システム。

[請求項4] 請求項1ないし請求項3のいずれかに記載の血流解析システムにおいて、

前記各ルートを所定間隔で複数個の血管ブロックに分割する分割処理部を備え、

前記判別部は、血管ブロック同士の継ぎ目間の圧力損失を求め、当該圧力損失と基準値を比較して狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別する

ことを特徴とする血流解析システム。

[請求項5] 請求項1ないし請求項4のいずれかに記載の血流解析システムにおいて、

前記血管解析モデルは、細線化された一次元要素から生成されている

ことを特徴とする血流解析システム。

[請求項6] 請求項1ないし請求項4のいずれかに記載の血流解析システムにお

いて、

前記血管解析モデルは、三次元要素から生成されている
ことを特徴とする血流解析システム。

[請求項7]

請求項6に記載の血流解析システムにおいて、

前記分割処理部によって分割された血管ブロックを細線化し、当該
血管ブロックごとに継ぎ目座標、細線化前の継ぎ目部分の直径および
血管ブロックの長さを関連付ける細線化処理部を備え、

前記判別部は、細線化された血管ブロックの情報を利用して継ぎ目
間の圧力損失を求め、当該圧力損失と基準値を比較して狭窄部位また
は閉塞部位を有している血管を判別する

ことを特徴とする血流解析システム。

[請求項8]

請求項4ないし請求項7のいずれかに記載の血流解析システムにお
いて、

前記判別部によって判別された狭窄部位または閉塞部位を含む血管
ブロックに装着可能なサイズのステントを抽出するステント抽出部を
備え、

前記判別部は、抽出されたステントを装着した場合のシミュレーシ
ョンを実行させて狭窄部位または閉塞部位の血流が所定値に改善され
るか否かを判別する

ことを特徴とする血流解析システム。

[請求項9]

血管内の血液の流れをコンピュータによるシミュレーションによっ
て解析する血流解析プログラムであって、

前記コンピュータに予め記憶されている被検体の血管の画像データ
を記憶部から読み出して血管解析モデルを生成する血管解析モデル生
成部と、

設定された前記血管解析モデルの所定位置から下流にかけて分岐し
ている複数本の毛細血管の位置、毛細血管の流動抵抗および血液の流
入部および流出部の圧力、流量、流速のいずれかの境界条件に応じて

、血管解析モデルに血液を流した場合のシミュレーションを実行し、当該所定位置から各毛細血管までの複数本のルート間の各圧力損失を求める算出部と、

前記算出部で求めた複数本の圧力損失と予め決めた基準値の比較から狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別する判別部とを機能させる

ことを特徴とする血流解析プログラム。

[請求項10] 血管内の血液の流れをコンピュータによるシミュレーションによって解析する血流解析プログラムであって、

前記コンピュータに予め記憶されている被検体の血管の画像データを記憶部から読み出して血管解析モデルを生成する血管解析モデル生成部と、

設定された前記血管解析モデルの所定位置から下流にかけて分岐している複数本の毛細血管の位置、毛細血管の流動抵抗および血液の流入部および流出部の圧力、流量、流速のいずれかの境界条件に応じて、血管解析モデルに血液を流した場合のシミュレーションを実行し、当該所定位置から各毛細血管までの複数本のルート間の各流量を求める算出部と、

前記算出部で求めた複数本の流量と予め決めた基準値の比較から狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別する判別部とを機能させる

ことを特徴とする血流解析プログラム。

[請求項11] 請求項9または請求項10に記載の血流解析プログラムにおいて、

前記予め設定された大動脈圧と複数本のルートの遠位部の内圧の圧力損失、または、予め設定された冠動脈入口部の流量と複数本のルートの遠位部の流量の損失を求め、算出結果と予め決めた基準値を比較し、有意狭窄部位または閉塞部位を有する血管のルートの候補を判別する判別部を機能させる

ことを特徴とする血流解析プログラム。

[請求項12] 請求項9ないし請求項10のいずれかに記載の血流解析プログラムにおいて、

前記コンピュータに各ルートを所定間隔で複数個の血管ブロックに分割する分割処理部と、

前記血管ブロック同士の継ぎ目間の圧力損失を求め、当該圧力損失と基準値を比較して狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別する判別部とを機能させる

ことを特徴とする血流解析プログラム。

[請求項13] 請求項9ないし請求項12のいずれかに記載の血流解析プログラムにおいて、

前記血管解析モデルは、細線化された一次元要素から生成されている

ことを特徴とする血流解析プログラム。

[請求項14] 請求項9ないし請求項12のいずれかに記載の血流解析プログラムにおいて、

前記血管解析モデルは、三次元要素から生成されている

ことを特徴とする血流解析プログラム。

[請求項15] 請求項14に記載の血流解析プログラムにおいて、

前記コンピュータに分割処理部によって分割された血管ブロックを細線化し、当該血管ブロックごとに継ぎ目座標、細線化前の継ぎ目部分の直径および血管ブロックの長さを関連付けて記憶部にさせる細線化処理部と、

細線化された前記血管ブロックの情報を利用して継ぎ目間の圧力損失を求め、当該圧力損失と基準値を比較して狭窄部位または閉塞部位を有している血管を判別する判別部とを機能させる

ことを特徴とする血流解析プログラム。

[請求項16] 請求項12ないし請求項15のいずれかに記載の血流解析プログラ

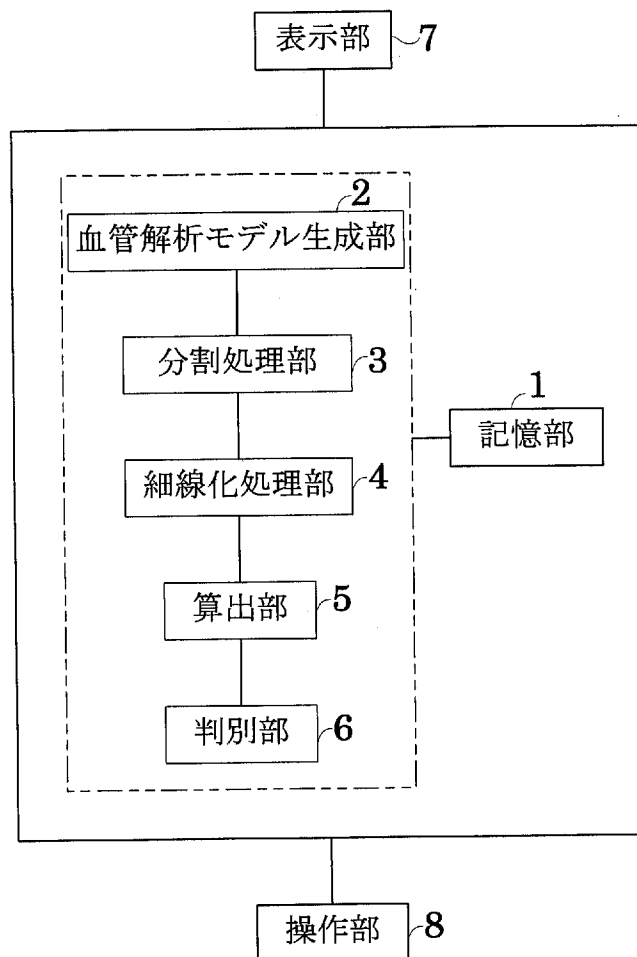
ムにおいて、

前記判別部によって判別された狭窄部位または閉塞部位を含む血管ブロックに装着可能なサイズのステントを抽出するステント抽出部と、

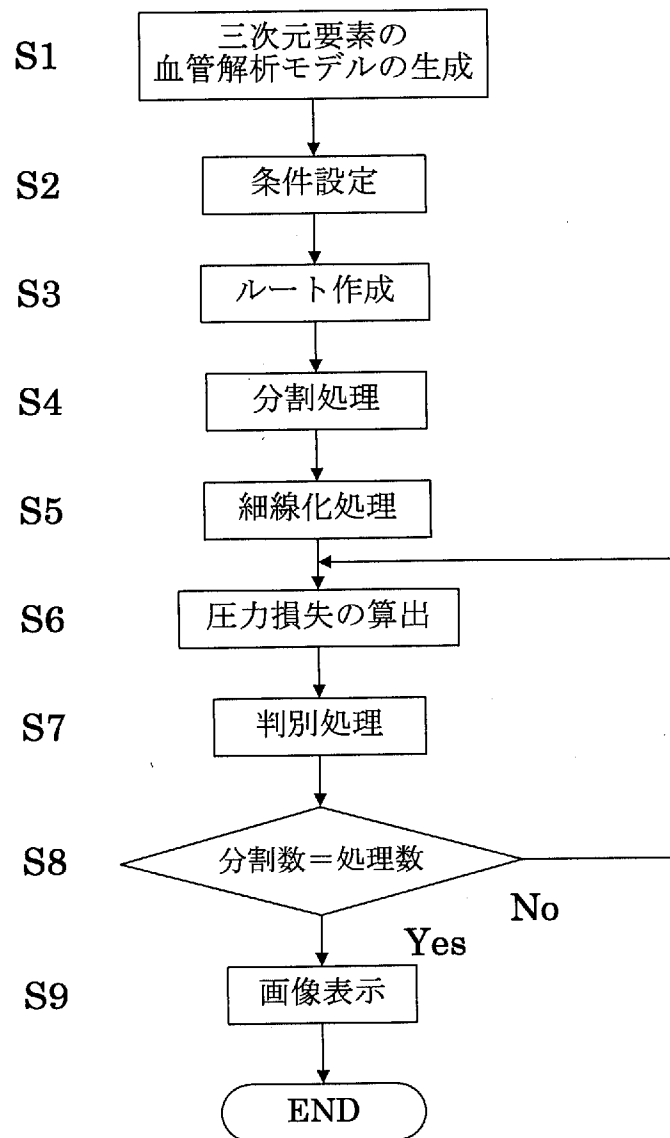
前記ステントを装着した場合のシミュレーションを実行させて狭窄部位または閉塞部位の血流が所定値に改善されるか否かを判別する判別部とを機能させる

ことを特徴とする血流解析プログラム。

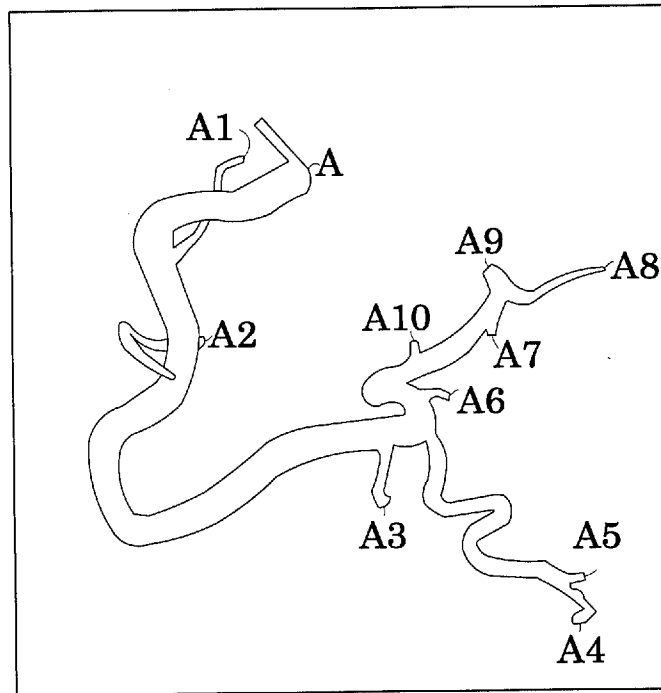
[図1]



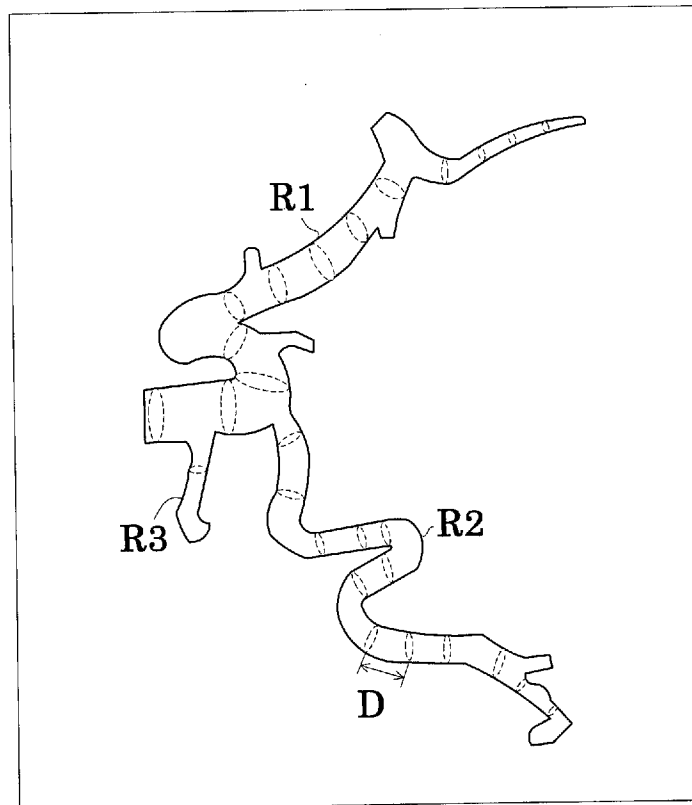
[図2]



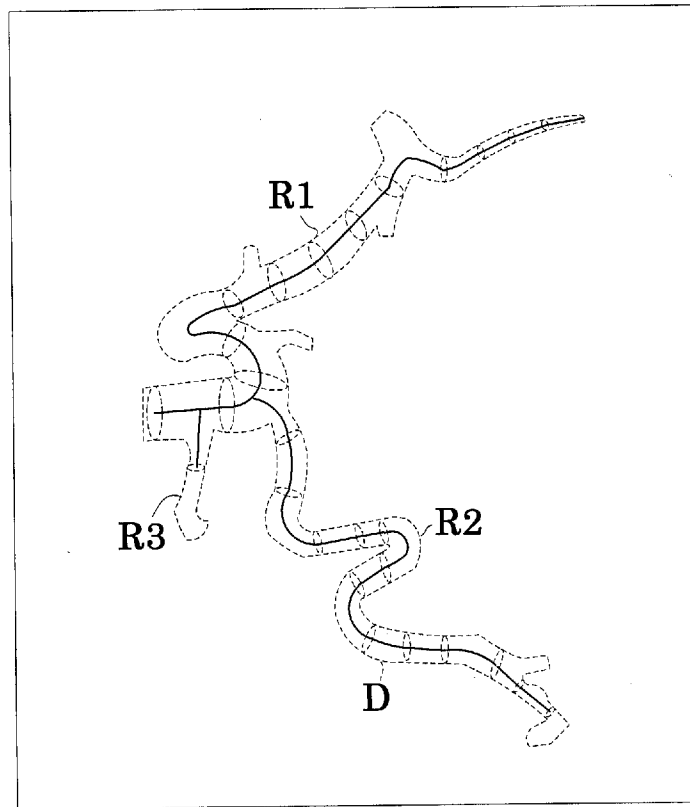
[図3]



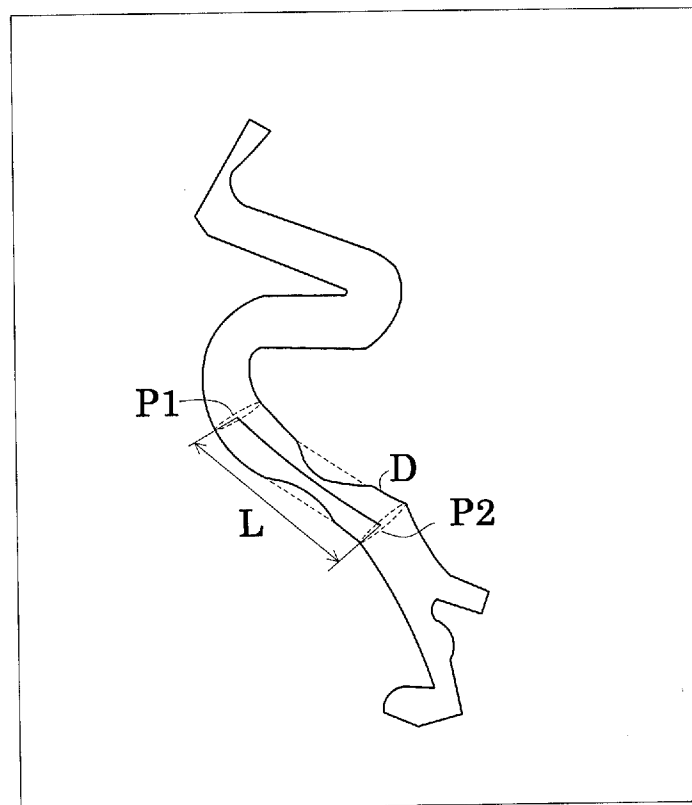
[図4]



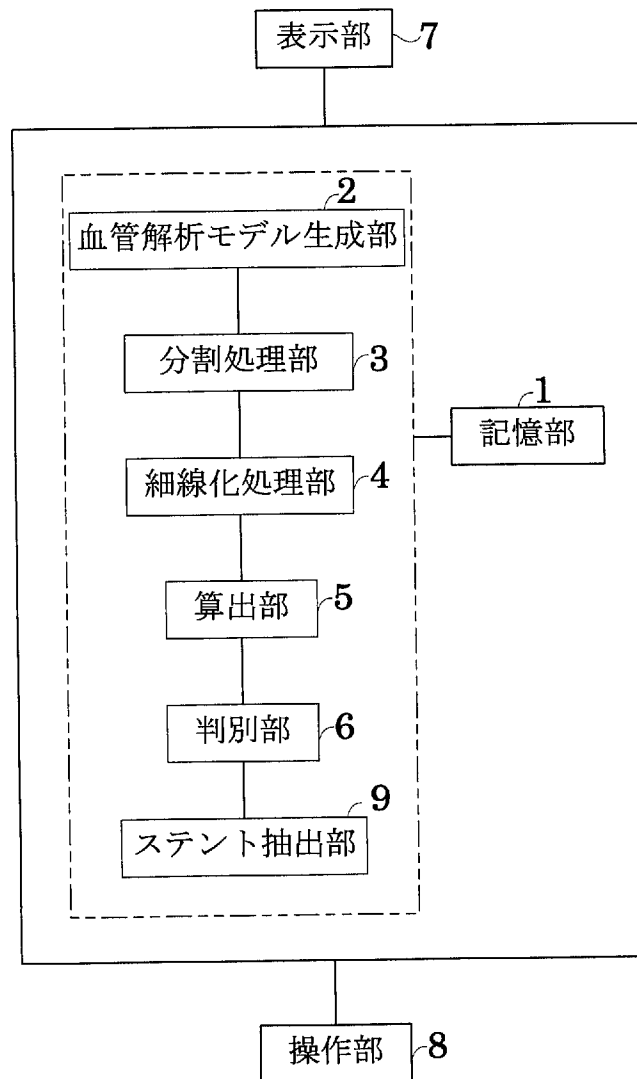
[図5]



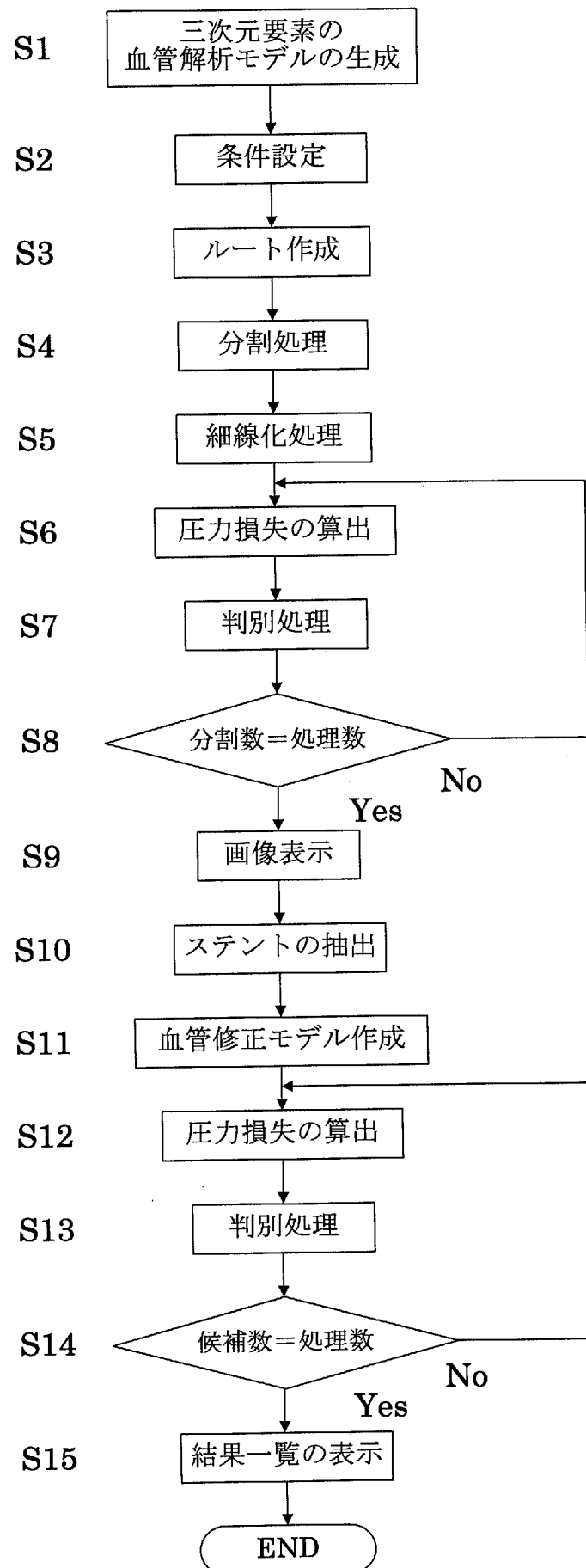
[図6]



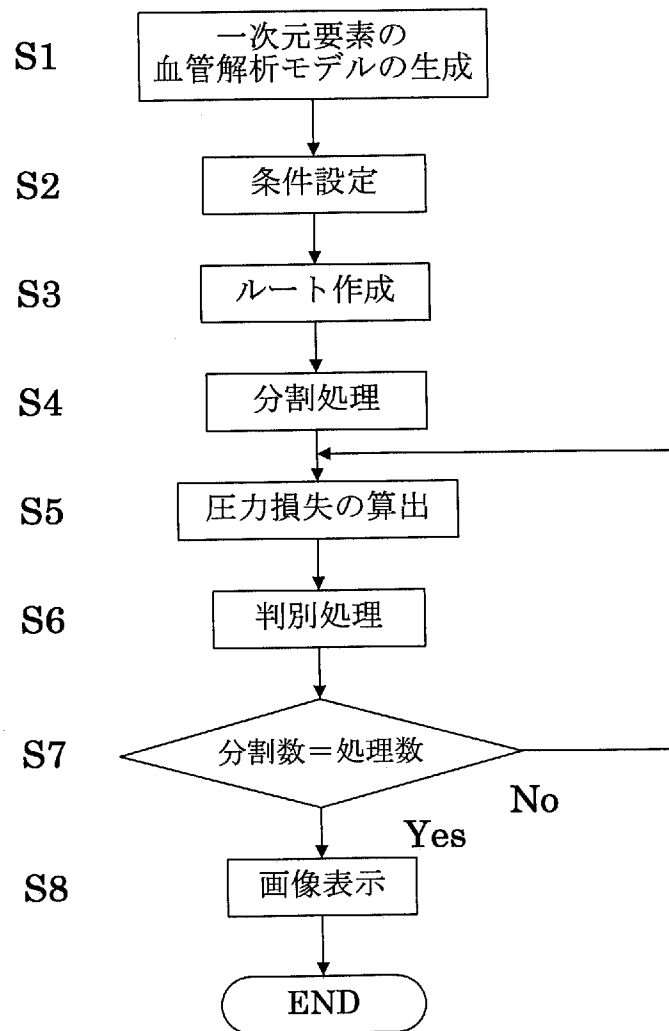
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/056745

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B6/03(2006.01) i, A61B5/055(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)

A61B6/03, A61B5/055

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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	JP 2013-534154 A (Heartflow, Inc.), 02 September 2013 (02.09.2013), entire text; all drawings & WO 2012/021307 A2 & CA 2807586 A & EP 2538361 A2 & EP 2538362 A2 & US 2013/0151163 A1 & US 2013/0211728 A1	1-16
A	JP 2013-240517 A (Tohoku University), 05 December 2013 (05.12.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-16
A	WO 2013/071219 A1 (SIEMENS CORP.), 16 May 2013 (16.05.2013), entire text; all drawings & US 2013/0132054 A1 & JP 2014-534889 A	1-16



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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
08 May 2015 (08.05.15)

Date of mailing of the international search report
19 May 2015 (19.05.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/056745

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-233369 A (Fujitsu Ltd., The University of Tokyo), 21 November 2013 (21.11.2013), entire text; all drawings & EP 2662794 A2 & US 2013/0304445 A1	1-16

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. A61B6/03(2006.01)i, A61B5/055(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（I P C）） Int.Cl. A61B6/03, A61B5/055		
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 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015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	JP 2013-534154 A（ハートフロー インコーポレイテッド） 2013.09.02, 全文、全図 & WO 2012/021307 A2 & CA 2807586 A & EP 2538361 A2 & EP 2538362 A2 & US 2013/0151163 A1 & US 2013/0211728 A1	1-16
A	JP 2013-240517 A（国立大学法人東北大学） 2013.12.05, 全文、全図 （ファミリーなし）	1-16
☒ 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 08.05.2015	国際調査報告の発送日 19.05.2015	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / 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） 亀澤 智博 電話番号 03-3581-1101 内線 3292	2 Q 4 7 4 6

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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	WO 2013/071219 A1 (SIEMENS CORPORATION) 2013.05.16, 全文、全図 & US 2013/0132054 A1 & JP 2014-534889 A	1-16
A	JP 2013-233369 A (富士通株式会社、国立大学法人 東京大学) 2013.11.21, 全文、全図 & EP 2662794 A2 & US 2013/0304445 A1	1-16