

(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
2016年1月14日(14.01.2016)

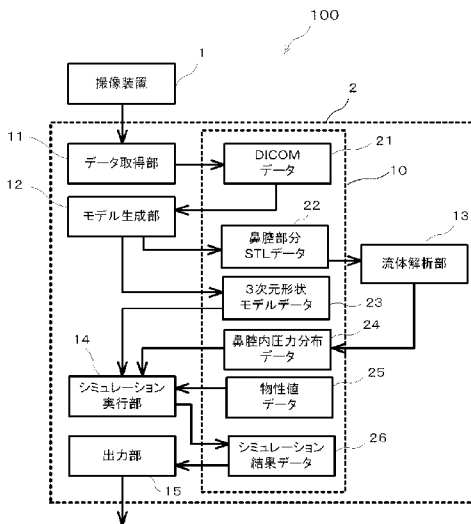


(10) 国際公開番号
WO 2016/006633 A1

- (51) 国際特許分類:
A61B 5/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/069666
- (22) 国際出願日: 2015年7月8日(08.07.2015)
- (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 2014-142076 2014年7月10日(10.07.2014) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人 鹿児島大学(KAGOSHIMA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒8908580 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目2番24号 Kagoshima (JP).
- (72) 発明者: 岩崎 智憲(IWASAKI Tomonori); 〒8908580 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目2番24号 国立大学法人 鹿児島大学内 Kagoshima (JP).
- (74) 代理人: 木村 満(KIMURA Mitsuru); 〒1010054 東京都千代田区神田錦町二丁目7番地 協販ビル2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, 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, 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.
- (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), ユーロピア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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))

(54) Title: DIAGNOSIS DEVICE, DIAGNOSIS SYSTEM, SIMULATION METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 顎顔面部の流体構造連成解析を用いた気道通気状態解析システム



- 1 Imaging device
11 Data acquisition unit
12 Model generation unit
13 Fluid analysis unit
14 Simulation execution unit
15 Output unit
21 DICOM data
22 Nasal cavity portion STL data
23 Three-dimensional shape model data
24 Data for pressure distribution inside nasal cavity
25 Physical property value data
26 Simulation result data

(57) Abstract: According to the present invention, a model generation unit (12) uses a numerical analysis method to generate, on the basis of three-dimensional image data of the inside of a maxillofacial portion of a test subject, a three-dimensional shape model of the upper respiratory tract and tissues surrounding the upper respiratory tract, and a fluid model of air in the upper respiratory tract. A simulation execution unit (14) assigns unique physical property values to the three-dimensional shape model and fluid model generated by the model generation unit (12), and calculates information relating to the state of air passage in the upper respiratory tract, which varies in accordance with respiration, by carrying out a simulation of a fluid structure coupled analysis of the upper respiratory tract, surrounding tissues, and air inside the upper respiratory tract accompanying respiration of the test subject.

(57) 要約: モデル生成部12は、数値解析手法を用いて、被検者の顎顔面部の内部の3次元画像データに基づいて、上気道及び上気道の周囲の組織の3次元形状のモデルと、上気道内の空気の流体モデルとを生成する。シミュレーション実行部14は、モデル生成部12で生成された3次元形状モデル及び流体モデルに固有の物性値を与え、被検者の呼吸に伴う上気道、周囲の組織及び上気道内の空気の流体構造連成解析のシミュレーションを行うことにより、呼吸に合わせて変動する上気道の通気状態に関する情報を算出する。

WO 2016/006633 A1

明 細 書

発明の名称：

顎顔面部の流体構造連成解析を用いた気道通気状態解析システム

技術分野

[0001] この発明は、診断装置、診断システム、シミュレーション方法及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] 閉塞性睡眠時無呼吸症候群（O S A S ; Obstructive Sleep Apnea Syndrome）は、睡眠中に上気道が閉塞して呼吸障害が生じ、全身に様々な悪影響を及ぼす呼吸器系の疾患である。閉塞性睡眠時無呼吸症候群（以下、単に、睡眠時無呼吸症候群という）は、夜間に十分な睡眠が得られず日中に過度の眠気を催すようになることから、重大交通事故の原因として注目されている。

[0003] 睡眠時無呼吸症候群の診断を行う方法が従来より提案されている。例えば、非特許文献1には、3次元C T画像に基づいて上気道の流体モデルをコンピュータ上に構築し、その流体モデルを用いた流体解析を行って、睡眠時無呼吸症候群の診断を行う方法が提案されている。この方法によれば、上気道内の圧力分布、空気の流れ速度分布に基づいて、通気障害部位をある程度、絞り込むことができる。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：Iwasaki et al, "Evaluation of upper airway obstruction in Class II children with fluid-mechanical simulation", [online], February 2011, Vol 139, Issue 2, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 睡眠時無呼吸症候群は、比較的高頻度でかかる疾患である。睡眠時無呼吸

症候群の成人の発症頻度は4%、小児の場合は年齢を問わず幼児期から思春期まで2%と言われている。にもかかわらず、睡眠時無呼吸症候群では、原因部位の有効な特定方法がいまだ確立されておらず、十分な治療成績が得られていないのが実情である。上記非特許文献1で提案された方法は、睡眠時無呼吸症候群の原因部位を絞り込む数少ない有効な方法ではあるが、以下のような不都合のため、必ずしも有効な治療成績が得られるとは限らない。

[0006] (1) 上気道のシミュレーションモデルは、変形しない剛体としてモデル化されている。このため、上気道の弾性変形を考慮した流体解析が困難である。また、上気道の閉塞を再現することが困難である。

[0007] (2) モデル化されているのは上気道のみであり、睡眠時無呼吸症候群の根本的な原因部位であることが多い上気道の周囲の組織についてはモデル化されていない。このため、上気道の周囲の組織の変形を再現することができない。このため、診断を行う者は、根本的な原因部位を流体の解析結果から間接的に推定するしかない。

[0008] 例えば、睡眠時無呼吸症候群の原因部位として最も主なものに、仰向位での重力による舌の落ち込みに伴う上気道の狭窄化がある。しかしながら、非特許文献1に開示された技術では、上気道の周囲の組織である舌についてはモデル化されていない。このため、重力による舌の落ち込みに伴う上気道の狭窄化をシミュレーションで再現することができない。したがって、この技術では、睡眠時無呼吸症候群の原因が、仰向位での重力による舌の落ち込みに伴う上気道の狭窄化であることを、特定するのが困難になる。

[0009] (3) シミュレーションモデルを用いた流体解析において想定される上気道中の空気の流れが一方向となっており、空気の流れが双方向となる実際の呼吸の様相（呼気吸気の周期的変化）とは異なっている。このため、実際の呼吸の様相に従った上気道内の流体の流れを再現できない。

[0010] この発明は、上記のような問題点を解決するためになされたものであり、呼吸器系の疾患について、より確実に良好な治療成績を得ることができる診断装置、診断システム、シミュレーション方法及びプログラムを提供するこ

とを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0011] 上記目的を達成するため、この発明の第1の観点に係る診断装置は、
- 数値解析手法を用いて、被検者の顎顔面部の内部の3次元画像データに基づいて、上気道及び該上気道の周囲の組織の3次元形状モデルと、前記上気道内の空気の流体モデルとを生成するモデル生成部と、
- 前記モデル生成部で生成された前記3次元形状モデル及び前記流体モデルに固有の物性値を与え、前記被検者の呼吸に伴う前記上気道、前記周囲の組織及び前記上気道内の空気の流体構造連成解析のシミュレーションを行うことにより、呼吸に合わせて変動する前記上気道の通気状態に関する情報を算出するシミュレーション実行部と、
- を備える。
- [0012] この場合、前記モデル生成部で生成された前記上気道及び前記周囲の組織の3次元形状モデルを表示するモデル表示部と、
- 前記モデル表示部に表示された前記上気道及び前記周囲の組織の3次元形状モデルの3次元形状を変更する変更部と、
- をさらに備え、
- 前記シミュレーション実行部は、
- 前記変更部で3次元形状が変更された前記上気道及び前記周囲の組織の3次元形状のモデルを用いて前記流体構造連成解析のシミュレーションを行うことにより、前記上気道の通気状態に関する情報を算出する、
- こととしてもよい。
- [0013] また、前記上気道のうち鼻腔の3次元形状のモデルについては剛体として、呼吸1周期に渡る流体解析を行って、前記鼻腔の通気状態に関する情報を算出するとともに、前記鼻腔と咽頭との境界における断面平均圧力を算出する流体解析部をさらに備え、
- 前記シミュレーション実行部は、
- 前記流体解析部で算出された呼吸1周期に渡る前記鼻腔と咽頭との境界に

おける断面平均圧力を初期条件として、前記鼻腔を除く前記上気道及び前記周囲の組織の３次元形状のモデルを用いて、前記流体構造連成解析のシミュレーションを行うことにより、前記上気道の通気状態に関する情報を算出する、

こととしてもよい。

[0014] また、前記シミュレーション実行部は、

重力により前記周囲の組織の３次元形状のモデルを変形させた状態で、前記流体構造連成解析を行い、前記上気道の通気状態に関する情報を算出する、

こととしてもよい。

[0015] また、前記シミュレーション実行部は、

前記上気道の通気状態に関する情報として、

前記上気道内における空気の流れに関する情報又は前記上気道及び前記上気道の周囲の領域の変形に関する情報を算出する、

こととしてもよい。

[0016] また、前記シミュレーション実行部は、

前記上気道内における空気の流れに関する情報として、

前記上気道内における圧力分布又は流速分布を算出する、

こととしてもよい。

[0017] また、前記シミュレーション実行部で算出された前記上気道の通気状態に関する情報を表示する結果表示部を備える、

こととしてもよい。

[0018] この発明の第２の観点に係る診断システムは、

被検者の顎顔面部の内部の３次元画像データを撮像する撮像装置と、

前記撮像装置で撮像された前記３次元画像データを用いるこの発明に係る診断装置と、

を備える。

[0019] この発明の第３の観点に係るシミュレーション方法は、

コンピュータが、数値解析手法を用いて、被検者の顎顔面部の内部の３次元画像データに基づいて、上気道及び該上気道の周囲の組織の３次元形状のモデルと、前記上気道内の空気の流体モデルとを生成するモデル生成工程と、

コンピュータが、前記モデル生成工程で生成された前記３次元形状モデル及び前記流体モデルに固有の物性値を与え、前記被検者の呼吸に伴う前記上気道、前記周囲の組織及び前記上気道内の空気の流体構造連成解析のシミュレーションを行うことにより、呼吸に合わせて変動する前記上気道の通気状態に関する情報を算出するシミュレーション実行工程と、

を備える。

[0020] この発明の第４の観点に係るプログラムは、
コンピュータを、

数値解析手法を用いて、被検者の顎顔面部の内部の３次元画像データに基づいて、上気道及び該上気道の周囲の組織の３次元形状のモデルと、前記上気道内の空気の流体モデルとを生成するモデル生成部、

前記モデル生成部で生成された前記３次元形状モデル及び前記流体モデルに固有の物性値を与え、前記被検者の呼吸に伴う前記上気道、前記周囲の組織及び前記上気道内の空気の流体構造連成解析のシミュレーションを行うことにより、呼吸に合わせて変動する前記上気道の通気状態に関する情報を算出するシミュレーション実行部、

として機能させる。

発明の効果

[0021] この発明によれば、上気道のみならずその周囲の組織の３次元形状のモデルを用いて流体構造連成解析のシミュレーションを行う。このシミュレーションにより、呼吸に伴う上気道内の空気の流れのほか、上気道及びその周囲の組織の変形をも算出することができる。実際の睡眠時における上気道及びその周囲の組織の状態を、シミュレーションにより再現することができるので、呼吸器系の疾患の原因部位をより正確に特定することができる。この結

果、より確実に呼吸器系の疾患について、良好な治療成績を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]この発明の実施の形態1に係る診断システムの概略的な構成を示すブロック図である。

[図2]コンピュータのハードウェア構成を示すブロック図である。

[図3]上気道、舌、軟口蓋の3次元画像の一例を示す図である。

[図4]上気道、舌、軟口蓋及び骨の3次元画像の一例を示す図である。

[図5]顎周りの筋肉等の軟組織の3次元画像の一例を示す図である。

[図6]上気道及び上気道の周囲の組織の3次元形状のメッシュモデルの一例が示されている。

[図7]上気道の3次元画像の一例を示す図である。

[図8]呼吸1周期に渡る鼻腔と咽頭との境界における断面平均圧力の一例を示す図である。

[図9]図9（A）は、仰向けになっていないときの上気道の断面の一例を示す図であり、図9（B）は、仰向けになったときの上気道の断面の一例を示す図である。

[図10]呼吸に伴う流体構造連成解析による咽頭上気道部分の圧力分布の一例が示されている。

[図11]呼吸に伴う流体構造連成解析による咽頭上気道部分の変位分布の一例が示されている。

[図12]診断処理のフローチャートである。

[図13]モデル生成工程のフローチャートである。

[図14]シミュレーション実行工程のフローチャートである。

[図15]流体構造連成解析のシミュレーションの処理の流れを示すフローチャートである。

[図16]各要素が受ける力を模式的に示す図である。

[図17]治療対象となる部位を示す図である。

[図18]この発明の実施の形態2に係る診断システムの概略的な構成を示すブロック図である。

[図19]変更前の上気道及び上気道の周囲の組織を模式的に示す図である。

[図20]変更後の上気道及び上気道の周囲の組織を模式的に示す図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、この発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

[0024] 実施の形態1.

まず、この発明の実施の形態1について説明する。

[0025] 図1に示すこの実施の形態1に係る診断システム100は、睡眠時無呼吸症候群の原因部位を特定すべく、被検者である人体の上気道の通気状態をコンピュータ上で再現するために用いられる。診断システム100は、被検者の上気道の通気状態を再現するために、X線CT (Computer Tomography) 装置等により取得された被検者の顎顔面部の内部の3次元画像データに基づいて、顎顔面部における上気道及び上気道の周囲の組織の3次元形状のモデルと、上気道内の空気の流体モデルとを生成する。上気道とは、鼻から鼻腔、鼻咽腔、咽頭、喉頭までをいう。

[0026] さらに、診断システム100は、上気道及び上気道の周囲の組織の3次元形状のモデルと、上気道内の空気の流体モデルとを用いて、流体構造連成解析のシミュレーションを行う。上気道、周囲の組織の3次元形状のモデル及び上気道内の空気の流体モデルにそれぞれ固有の物性値を与え、流体構造連成解析のシミュレーションを行えば、呼吸に合わせて変動する上気道、周囲の組織の変形と上気道内の呼吸による空気の流れとの相互作用を明らかにすることができる。また、上気道中の空気の流れ（圧力分布、流速分布）と、呼吸中の周囲の組織の変形による上気道の変形を両方正確に再現することができる。これらの再現により、睡眠時無呼吸症候群の原因部位をより正確に特定することができる。

[0027] 図1に示すように、診断システム100は、撮像装置1とコンピュータ2とを備える。撮像装置1とコンピュータ2との間は、通信ネットワークで接

続されている。この通信ネットワークにより、撮像装置 1 とコンピュータ 2 との間でデータの送受信が可能となる。

[0028] 撮像装置 1 は、X 線 CT 装置である。撮像装置 1 は、被検者の顎顔面部の 3 次元 X 線 CT 画像を撮像する。撮像装置 1 は、X 線管と検出器とを備える。X 線 CT スキャンが実行されると、X 線管から照射され、被検体を透過した X 線が検出器により検出される。検出器の検出結果は、生データとして撮像装置 1 に保存される。

[0029] さらに、撮像装置 1 において、保存された生データに基づいて画像再構成処理を施すことにより被検者の顎顔面部の横断面データ（スライス画像データ）が生成される。さらに、撮像装置 1 は、スライス画像データに基づいて、被検者の顎顔面部の内部の 3 次元画像データを生成する。以上のようにして、被検体の顎顔面部の内部の 3 次元画像データが得られる。得られた 3 次元画像データは、D I C O M (Digital Imaging and Communications in Medicine) データとして、通信ネットワークを介してコンピュータ 2 に送信される。

[0030] D I C O M データとは、D I C O M 規格に基づいて生成されたデータをいう。D I C O M 規格は、主に医療用画像データのフォーマットとして用いられている。D I C O M データは、上記 3 次元画像データと D I C O M 規格に準じた付帯情報とで構成される。付帯情報は、患者情報、撮影条件情報、画像情報及び表示情報等の画像データの属性情報であり、D I C O M データにタグ情報として埋め込まれる。

[0031] コンピュータ 2 は、受信した D I C O M データに含まれる 3 次元 X 線 CT 画像データに基づいて、被検体の顎顔面部における上気道及び上気道の周囲の組織の 3 次元形状のモデルを生成する。このモデルは、有限要素法に基づいて生成される。このモデルは、節点を境界とする有限数の要素に物体を分割することにより生成される。すなわち、生成される上気道及び上気道の周囲の組織のモデルは、複数の要素が節点でメッシュ状に接合されて構成されたいわゆるメッシュモデルとなる。要素の分割は、医療用画像データを構成

するボクセルデータを基準として行うようにすればよい。

[0032] さらに、コンピュータ 2 は、上気道及びその顎顔面の周囲の組織の 3 次元形状のメッシュモデルに、それぞれ固有の物性値を与え、被検者の呼吸に伴う流体構造連成解析シミュレーションを行って、上気道の通気状態に関する情報を取得する。

[0033] 図 2 は、図 1 のコンピュータ 2 のハードウェア構成を示す。図 2 に示すように、コンピュータ 2 は、制御部 3 1、主記憶部 3 2、外部記憶部 3 3、操作部 3 4、表示部 3 5 及び通信部 3 6 を備える。主記憶部 3 2、外部記憶部 3 3、操作部 3 4、表示部 3 5 及び通信部 3 6 はいずれも内部バス 3 0 を介して制御部 3 1 に接続されている。

[0034] 制御部 3 1 は、CPU (Central Processing Unit) 等から構成されている。この CPU が、外部記憶部 3 3 に記憶されているプログラム 3 9 を実行することにより、図 1 に示すコンピュータ 2 の各構成要素が実現される。

[0035] 主記憶部 3 2 は、RAM (Random-Access Memory) 等から構成されている。主記憶部 3 2 には、外部記憶部 3 3 に記憶されているプログラム 3 9 がロードされる。この他、主記憶部 3 2 は、制御部 3 1 の作業領域（データの一時記憶領域）として用いられる。

[0036] 外部記憶部 3 3 は、フラッシュメモリ、ハードディスク、DVD-RAM (Digital Versatile Disc Random-Access Memory)、DVD-RW (Digital Versatile Disc ReWritable) 等の不揮発性メモリから構成される。外部記憶部 3 3 には、制御部 3 1 に実行させるためのプログラム 3 9 があらかじめ記憶されている。また、外部記憶部 3 3 は、制御部 3 1 の指示に従って、このプログラム 3 9 の実行の際に用いられるデータを制御部 3 1 に供給し、制御部 3 1 から供給されたデータを記憶する。

[0037] 操作部 3 4 は、キーボード及びマウスなどのポインティングデバイス等と、キーボード及びポインティングデバイス等を内部バス 3 0 に接続するインターフェイス装置から構成されている。操作部 3 4 を介して、操作者が操作した内容に関する情報が制御部 3 1 に入力される。

- [0038] 表示部 35 は、CRT (Cathode Ray Tube)、LCD (Liquid Crystal Display) 又は有機 EL (ElectroLuminescence) などから構成される。操作者が操作情報を入力する場合は、表示部 35 には、操作用の画面が表示される。また、表示部 35 には、後述のとおり、被検者の上気道の通気状態に関する情報などが表示される。
- [0039] 通信部 36 は、シリアルインターフェイスまたはパラレルインターフェイスから構成されている。通信部 36 が、通信ネットワークを介して、撮像装置 1 と接続され、撮像装置 1 から送られた 3 次元 X 線 CT 画像データを受信する。
- [0040] 図 1 に示すコンピュータ 2 の各種構成要素は、図 2 に示すプログラム 39 が、制御部 31、主記憶部 32、外部記憶部 33、操作部 34、表示部 35 及び通信部 36 などをハードウェア資源として用いて実行されることによってその機能を発揮する。
- [0041] 図 2 に示すようなハードウェア構成を有するコンピュータ 2 は、その機能構成として、図 1 に示すように、記憶部 10 と、データ取得部 11 と、モデル生成部 12 と、流体解析部 13 と、シミュレーション実行部 14 と、出力部 15 と、を備える。
- [0042] 記憶部 10 は、図 2 に示すハードウェア構成のうち、図 2 の外部記憶部 33 に対応する。記憶部 10 は、各種データを記憶する。記憶部 10 によって記憶されるデータの 1 つに DICOM データ 21 がある。
- [0043] データ取得部 11 は、図 2 に示すハードウェア構成のうち、制御部 31 及び通信部 36 に対応する。データ取得部 11 は、撮像装置 1 から送信された顎顔面部の 3 次元 X 線 CT 画像データ (DICOM データ) を受信する。データ取得部 11 は、受信した DICOM データ 21 を記憶部 10 に記憶する。
- [0044] モデル生成部 12 は、図 2 に示すハードウェア構成のうち、制御部 31 に対応する。モデル生成部 12 は、記憶部 10 に記憶された DICOM データ 21、すなわち被検者の顎顔面部の内部の 3 次元画像データを入力する。モ

デル生成部 12 は、DICOM データ 21 に基づいて、有限要素法を用いて、上気道及び該上気道の周囲の組織の 3 次元形状モデルと、上気道内の空気の流体モデルとを生成する。

[0045] 上気道及び上気道の周囲の組織の 3 次元形状モデルは、各組織の構造及び形状の変形を示す支配方程式に基づいて構築される。上気道の周囲の組織としては、骨、舌、軟口蓋、顎顔面の筋肉等の軟組織が含まれる。

[0046] 流体モデルは、流体の圧力及び流速等を空気の流れに関する情報を変数とする流体の支配方程式（例えば、ベルヌーイの方程式、ナビエストークスの方程式等）に基づいて構築される。

[0047] 図 3 には、上気道、舌、軟口蓋の 3 次元画像の一例が示されている。A1 の部分が上気道であり、A2 の部分が軟口蓋であり、A3 の部分が舌である。図 3 に示すように、舌 A3、軟口蓋 A2 は、上気道 A1 に隣接する上気道の周囲の組織である。舌 A3 は、睡眠時無呼吸症候群の主な原因部位として知られている。仰向位に寝たときに、舌 A3 が、落ち込んで、上気道を圧迫するためである。

[0048] 図 4 では、上気道、軟口蓋、舌に加え、骨の 3 次元画像が示されている。A4 の部分が骨である。図 4 に示すように、上気道、舌、軟口蓋の周りには、下顎骨及び頸椎が存在する。下顎骨及び頸椎についても、上気道の周囲の組織として、それらの 3 次元形状モデルが生成される。

[0049] 図 5 には、顎周りの筋肉、脂肪等の軟組織の 3 次元画像の一例が示されている。このような顎周りの軟組織についても、上気道の周囲の組織として、3 次元形状モデルが生成される。顎周りの軟組織の肥大化は、呼吸に多大な影響を与えるためである。

[0050] 図 6 には、上気道、舌、軟口蓋、骨、顎周りの軟組織の部分の 3 次元形状のメッシュモデルの一例が示されている。これらの 3 次元形状のモデルでは、各組織の境界面において、要素同士を結ぶ節点が共通となっている。このため、上気道及びその周囲の領域が、1 つの 3 次元形状モデルとみなすことができるように形成されている。このようにすれば、各組織の変形により、

隣接する組織も変形していく様子を３次元形状モデルにより、再現することが可能になる。

[0051] モデル生成部１２は、上気道については、鼻腔の部分と、咽頭以下の部分とに分けて、３次元形状のモデルを生成する。鼻腔の部分についてはＳＴＬ（Standard Triangulated Language）データとして生成される。ＳＴＬデータとは、立体を近似するために使用される三角パッチの３点を表わすデータであり、物体表面が三角形パッチ（ファセット）による多角形として表されている。

[0052] 図７には、上気道の３次元画像の一例が示されている。図７では、線Ｌより上の部分が、鼻腔部分となっている。ここでは、線Ｌより上の部分が、鼻腔部分ＳＴＬデータ２２として記憶部１０に記憶される。

[0053] モデル生成部１２は、咽頭以下の上気道については、３次元形状のメッシュモデルとして生成される。生成された咽頭以下の上気道の３次元形状のメッシュモデル及び他の組織の３次元形状メッシュモデルは、３次元形状モデルデータ２３として、記憶部１０に格納される。

[0054] 流体解析部１３は、図２に示すハードウェア構成のうち、制御部３１に対応する。流体解析部１３は、鼻腔部分ＳＴＬデータ２２を用いて、鼻腔については剛体として、呼吸１周期に渡る流体解析を行って、鼻腔の通気状態に関する情報を算出する。鼻腔については、その内部構造が複雑であり、気道の形状にほとんど変化がなく、流体構造連成解析が困難であるためである。算出される鼻腔の通気状態に関する情報としては、例えば、鼻腔内の圧力分布がある。

[0055] 流体解析部１３は、鼻腔内の圧力分布に基づいて、鼻腔と咽頭との境界における断面平均圧力 $P(t)$ を算出する。図８には、呼吸１周期に渡る鼻腔と咽頭との境界における断面平均圧力 $P(t)$ の一例が示されている。図８に示すように、断面平均圧力 $P(t)$ は、周期 T で呼気と吸気とを繰り返す。呼気において鼻腔内の空気は外気圧に対して正圧となり、吸気において、鼻腔内の空気は外気圧に対して負圧となる。

- [0056] シミュレーション実行部 14 は、図 2 に示すハードウェア構成のうち、制御部 31 に対応する。シミュレーション実行部 14 は、モデル生成部 12 で生成された 3 次元形状モデル及び流体モデルに固有の物性値を与え、被検者の呼吸に伴う上気道、周囲の組織及び上気道内の空気の流体構造連成解析のシミュレーションを行うことにより、呼吸に合わせて変動する上気道の通気状態に関する情報を算出する。
- [0057] 流体構造連成解析のシミュレーションとは、流体の流れが及ぼす力によって固体構造物が変形する現象を解析する数値解析シミュレーションである。睡眠時無呼吸症候群は、上気道の周囲の組織が根本的な原因部位であることが多い。このため、上気道の周囲の組織を含めて流体構造連成解析のシミュレーションを行って、睡眠時の上気道の周囲の組織の変形を再現するようにすれば、睡眠時無呼吸症候群の原因部位をより正確に特定することができる。
- [0058] 3 次元形状モデルの固有の物性値には、各組織のヤング率、線膨張係数、ポアソン比、せん断弾性係数等があり、流体については空気の粘性係数、密度、体積弾性率、レイノルズ数などがある。これらの物性値としては、物性値データ 25 として記憶部 10 に記憶されたものが用いられる。物性値として、その組織の物性値として既知のものを用いてもよいが、被検者ごとに測定したのものを用いてもよい。
- [0059] シミュレーション実行部 14 は、算出された呼吸 1 周期に渡る鼻腔と咽頭との境界における断面平均圧力 $P(t)$ を初期条件として、鼻腔を除く上気道及び周囲の組織の 3 次元形状のメッシュモデルを用いて被検者の呼吸に伴う上気道及び周囲の組織の流体構造連成解析のシミュレーションを行う。
- [0060] シミュレーション実行部 14 は、周囲の組織の 3 次元形状のモデルを重力により変形させた状態で、被検者の呼吸に伴う上気道及び周囲の組織の流体構造連成解析のシミュレーションを行う。
- [0061] 図 9 (A) には、仰向けになっていないときの上気道の断面の一例が示されており、図 9 (B) には、仰向けになったときの上気道の断面の一例が示

されている。図9（A）及び図9（B）を比較するとわかるように、仰向けになった場合の方が、上気道が狭くなっている。これは、舌の部分が重力により沈下し、上気道を圧迫しているためである。

[0062] このように、シミュレーション実行部14は、重力を考慮して流体構造連成解析のシミュレーションを行うので、被検者の姿勢に応じて変形する上気道を正確に再現した状態で、上気道の通気状態を算出することが可能となる。

[0063] シミュレーション実行部14は、上気道における空気の流れに関する情報及び上気道及び上気道の周囲の組織の3次元形状モデルの変形状態を算出する。シミュレーション実行部14は、上気道における空気の流れに関する情報として、上気道における圧力分布、流速分布又は上気道及び上気道の周囲の組織の3次元形状モデルの変位分布を算出する。これらの情報は、シミュレーション結果データ26として記憶部10に記憶される。

[0064] 出力部15は、図2のハードウェア構成における制御部31及び表示部35に対応する。出力部15は、上気道内の圧力分布、流速分布又は上気道等の変形状態を表示する。

[0065] 図10には、呼吸に伴う流体構造連成解析による咽頭気道部分の圧力分布の一例が示されている。また、図11には、呼吸に伴う流体構造連成解析による咽頭上気道部分の変位分布の一例が示されている。図10では、圧力が高くなればなるほど色が濃くなるように表示されている。図11では、変位が大きくなればなるほど色が濃くなるように表示されている。図10に示す圧力分布では、上気道の上の方の圧力が高くなっている。また、図11に示す変位分布では、局所的に変位が大きくなっている場所はない。

[0066] 出力部15は、流体構造連成解析のシミュレーションにより変形する上気道及び上気道の周囲の組織の3次元形状も合わせて表示出力することが可能である。

[0067] 次に、この診断システム100による診断処理の流れについて説明する。図12に示すように、まず、撮像装置1において撮像工程を行う（ステップ

S 1)。この撮像工程において、被検者の顎顔面部の内部の3次元画像データが得られる。この3次元画像データは、コンピュータ2に送られ、データ取得部11により、DICOMデータ21として、コンピュータ2の記憶部10に記憶される。

[0068] 続いて、コンピュータ2は、モデル生成工程を行う（ステップS2）。モデル生成工程では、図13に示すように、モデル生成部12が、被検者の顎顔面部の内部の3次元画像データ（DICOMデータ21）に基づいて、上気道及び周囲の組織の3次元形状モデル及び上気道内の流体モデルを生成し、生成された流体モデルのデータを3次元形状モデルデータ23として、記憶部10に記憶する（ステップS21）。ここで、モデル生成部12は、上気道については、鼻腔部分の3次元形状のモデルと、鼻腔以外の部分の3次元形状のモデルとを分けて生成する。続いて、モデル生成部12は、鼻腔部分のSTLデータを生成し、鼻腔部分STLデータ22として記憶部10に記憶する（ステップS22）。

[0069] 続いて、流体解析部13は、鼻腔部分STLデータ22に基づいて、鼻腔部分の流体解析を行い、鼻腔内の圧力分布を算出し、鼻腔内圧力分布データ24として、記憶部10に記憶する（ステップS23）。流体解析は、鼻腔部分が剛性であり変形しないものとして行われる。流体解析部13は、流体解析により得られた圧力分布に基づいて、鼻腔と咽頭との間の平均断面圧力 $P(t)$ を算出して、あわせて鼻腔内圧力分布データ24に含んで記憶部10に記憶する（ステップS24）。

[0070] 図12に戻り、続いて、コンピュータ2は、シミュレーション実行工程を行う（ステップS3）。シミュレーション実行工程では、図14に示すように、シミュレーション実行部14は、記憶部10に記憶された物性値データ25を参照して、上気道及び周囲の組織の物性値をそれぞれの3次元形状モデルに設定する（ステップS31）。

[0071] 例えば、咽頭以下の上気道の3次元形状モデルについては、各組織に固有のヤング率、ポアソン比などの物性値が3次元形状モデルに設定される。例

例えば、舌の３次元形状モデルについては、舌の物性値が設定され、軟口蓋の３次元形状モデルについては、軟口蓋の物性値が設定され、骨の３次元形状モデルについては、骨の物性値が設定され、顎周りの軟組織の３次元形状モデルについては、軟組織の物性値が設定される。

[0072] 続いて、シミュレーション実行部１４は、重力方向を設定する（ステップＳ３２）。この設定は操作部３４の操作入力により行われる。例えば、仰向位での上気道の通気状態を診断する場合には、被検者の後頭部側が下側として設定される。

[0073] 続いて、シミュレーション実行部１４は、流体構造連成解析のシミュレーションを行う（ステップＳ３３）。上気道及び周囲の組織の３次元形状のモデルと上気道の流体モデルとは一体化された状態でシミュレーションが行われる。

[0074] このシミュレーションでは、上気道における鼻腔と咽頭との間の平均断面圧力 $P(t)$ が、初期条件として用いられる。そして、上気道内の空気の流れを解析する流体解析と、上気道及び周囲の組織の変形を解析する構造解析とが、それらの３次元形状のモデルと流体モデルとの相互の影響を考慮して同時に行われ、一呼吸における上気道内の圧力分布、流速分布及び上気道の変位分布が算出される。

[0075] 図１５には、ステップＳ３３において行われる流体構造連成解析のシミュレーションの処理の流れが示されている。まず、シミュレーション実行部１４は、重力計算を行って、周囲の組織の３次元形状のモデルを変形させた状態とする（ステップＳ４１）。この状態で、上気道及び周囲の組織を含む３次元形状モデルは、図９（Ｂ）に示される状態となる。

[0076] 図１６には、仰向位における上気道及び上気道の周辺の組織が模式的に示されている。図１６に示すように、被検者が仰向けに寝ている場合、上気道Ａ１は、舌Ａ３と下側の骨Ａ４との間に上下に挟まれるようになる。さらに、重力 G による舌Ａ３の落ち込みにより、上気道Ａ１は、変形して、起きている状態よりも狭くなっている。

[0077] 図15に戻り、シミュレーション実行部14は、まず、上気道A1内の流体モデルA5の流体解析を行い、上気道内の圧力Pを求める（ステップS42）。ここで、シミュレーション実行部14は、流体解析により求められた圧力P（図16参照）に基づいて、上気道A5の内壁面（境界面）への荷重条件を求める。

[0078] 続いて、シミュレーション実行部14は、荷重条件を境界条件として上気道A1及び周囲の組織の構造解析を行って、重力Gと圧力Pとが均衡する状態での上気道の内壁面の変位（例えば、図16の Δx ）等を求める（ステップS43）。シミュレーション実行部14は、構造解析によって求められた内壁面の変位に基づいて、上気道及び上気道の周囲の組織のモデルの3次元形状を更新する。

[0079] 続いて、シミュレーション実行部14は、終了条件を満たしているか否かを判定する（ステップS44）。終了条件は、荷重条件及び壁面の変位が許容範囲内に収束することとすることができる。

[0080] 終了条件を満たさない場合（ステップS44；No）、シミュレーション実行部14は、構造解析によって変位した内壁面に基づいて、流体解析を行う（ステップS42）。このように、ステップS41→S42が繰り返される。この繰り返しにより、荷重条件（圧力P）及び内壁面の変位（ Δx ）が、一定の値に収束していく。

[0081] 図16に示すように、呼吸中、吸気段階において、上気道内には負圧Pが発生する。この負圧Pにより、上気道がさらに狭くなり、その境界面が変位する。このシミュレーションでは、上気道内の流体モデルを用いた流体解析と、上気道及び周囲の組織のモデルを用いた構造解析とが繰り返し行われ、各境界要素における許容範囲内に収束した最終的な荷重条件（圧力P）及び内壁面の変位（ Δx ）の集合が、上気道における圧力分布や変位分布として求められる。

[0082] 上気道内の圧力Pと、重力Gとにより、均衡がとれた状態となり、終了条件が満たされると（ステップS44；Yes）、シミュレーション実行部1

4 は、シミュレーションを終了して、シミュレーション結果を記憶部 10 に記憶する（ステップ S 4 5）。これにより、流体構造連成解析のシミュレーションが終了する。記憶部 10 に記憶されるシミュレーション結果データ 26 は、終了条件が満たされた時点での、上気道内の圧力分布、上気道の変位分布、上気道の周囲の組織の変形した 3 次元形状などのデータである。

[0083] 図 14 に戻り、続いて、出力部 15 は、シミュレーション結果を表示出力する（ステップ S 3 4）。これにより、表示部 35 に、上気道内の圧力分布及び流速分布、上気道の周囲の組織の変形した 3 次元形状のモデルなどが表示される。

[0084] 出力部 15 に表示されたシミュレーション結果を見れば、被検者の上気道における呼吸中の圧力分布及び上気道の変形、周囲の組織の変形等を知ることができる。これらの情報に基づいて、上気道のどの部分が狭窄しているかを検出することができる。上気道が狭窄している部分がわかれば、睡眠時無呼吸症候群の原因部位を特定するのは容易である。

[0085] このように、出力部 15 は、上気道内の圧力分布又は上気道の変位分布とともに、上気道の周囲の組織のモデルの 3 次元形状の変形を表示することができるようになっていて、このようにすれば、上気道内の狭窄が、周囲の組織のどの部分によってもたらされているのかをより正確に特定することができるようになる。

[0086] 例えば、図 17 に示すように、B 1 の部分で圧力が極端に高い場合には、鼻腔が睡眠時無呼吸症候群の原因として考えられる。鼻閉や鼻カタルなどである。この場合には、治療すべき部位は、鼻である。

[0087] また、B 2 の部分で圧力が極端に高い場合には、アデノイドが睡眠時無呼吸症候群の原因として考えられる。この場合には、アデノイドの切除が適切な治療方法として挙げられる。

[0088] また、B 3 の部分で圧力が極端に高い場合には、口蓋扁桃が睡眠時無呼吸症候群の原因として考えられる。この場合には、治療すべき部位は、軟口蓋である。

[0089] B 4 の部分で圧力が極端に高い場合には、顎の部分、睡眠時無呼吸症候群の原因として考えられる。この場合には、治療すべき部位は、下顎となる。上歯と下歯との噛み合わせの矯正又は減量などが主な治療方法となる。

[0090] また、睡眠時無呼吸症候群の原因部位は 1 つとは限らない。図 17 に示す B 1 ～ B 4 の部位のうち、複数の部位が原因部位となっていることもある。この実施の形態に係る流体構造連成解析のシミュレーションを行えば、複数の部位が睡眠時無呼吸症候群の原因となっていることも突き止め易くなる。

[0091] 以上詳細に説明したように、この実施の形態によれば、上気道のみならずその周囲の組織の 3 次元形状のモデルを用いて流体構造連成解析のシミュレーションを行う。この解析により、呼吸に伴う上気道内の空気の流れのほか、上気道及びその周囲の組織の変形をも算出することができる。実際の睡眠時における上気道及びその周囲の組織の状態を、シミュレーションにより再現することができるので、呼吸器系の疾患の原因部位をより正確に特定することができる。この結果、より確実に呼吸器系疾患の良好な治療成績を得ることができる。

[0092] 実施の形態 2.

次に、この発明の実施の形態 2 について説明する。

[0093] この発明の実施の形態 2 に係る診断システムは、呼吸器系疾患である睡眠時無呼吸症候群の治療計画の立案に用いられる。

[0094] 図 18 に示すように、この実施の形態に係る診断システム 100 では、出力部 15 が、モデル生成部 12 で生成された上気道及び上気道の周囲の組織の 3 次元形状モデルを表示出力することができるうえ、コンピュータ 2 に変更部 16 が設けられている点が、上記実施の形態 1 と異なっている。

[0095] 出力部 15 は、操作入力に応じて、記憶部 10 に記憶された鼻腔部分 STL データ 22 及び 3 次元形状モデルデータ 23 に基づいて、上気道及び上記上気道の周囲の組織を表示出力する。

[0096] ユーザは、出力部 15 で表示出力された上気道及び上気道の周囲の組織の 3 次元モデルを見ながら、操作部 34 を操作して（例えばマウスの操作によ

り)、3次元モデル内の特定の領域を指定する。操作部34から入力される操作入力制御部31に入力され、制御部31はその操作入力に応じた処理を行う。この処理が、図18の変更部16に対応する。

[0097] 例えば、操作部34の操作入力により、特定の領域として図19に示す領域Dが指定されたとする。この場合、変更部16は、操作部34の操作入力に応じて、指定された領域Dを切除するように、上気道及び該上気道の周囲の組織の3次元形状メッシュモデルを変更する。出力部15では、変更後の上気道及び該上気道の周囲の組織の3次元形状メッシュモデルが表示される。このように、変更部16は、操作入力に従って、上気道及び該上気道の周囲の組織の3次元形状メッシュモデルを変更する。

[0098] 図20には、指定された領域Dの切除後の上気道及び該上気道の周囲の組織が示されている。変更後の3次元モデルは、3次元形状モデルデータ23として記憶部10に記憶される。変更された領域Dが鼻腔部分である場合には、変更後の鼻腔部分のSTLデータが、鼻腔部分STLデータ22として記憶部10に記憶される。

[0099] 変更部16による変更が完了した後、シミュレーション実行部14は、変更部16で編集され記憶部10に記憶された上気道及び上気道の周囲の組織の3次元形状メッシュモデルを用いて被検者の呼吸に伴う上気道及び上気道の周囲の組織の流体構造連成解析のシミュレーションを行って、上気道における空気の流れに関する情報及び上気道の変形に関する情報を算出する。算出されたシミュレーション結果は、シミュレーション結果データ26として記憶部10に記憶され、出力部15により、表示出力される。この情報を参照すれば、指定領域Dを削除した後の、上気道の通気状態を確認することが可能となる。

[0100] 以上詳細に説明したように、この実施の形態によれば、変更部16により変更された上気道及びその周囲の組織の3次元形状のモデルを用いて、流体構造連成解析のシミュレーションを行う。このシミュレーションにより、治療後の上気道の通気状態に関する情報を予測することができる。術後の睡眠

時における上気道及びその周囲の組織の状態を、シミュレーションにより予測することができるようになれば、最適な組織の切除量などを術前に求めることができ、適切な治療計画を立てることができる。この結果、より確実に呼吸器系疾患の良好な治療成績を得ることができる。

[0101] 前述のように、睡眠時無呼吸症候群の原因部位は1カ所でない場合もある。この場合、この実施の形態に係る診断システム100を用いて、原因部位として疑われるそれぞれの組織の3次元形状を変更し、シミュレーションを行って上気道の通気状態がどのように変化するかを解析することにより、複合的な原因部位を的確に特定することも可能である。

[0102] 上記各実施の形態に係る被検者については、特に制限はない。子供であっても成人であっても、睡眠時無呼吸症候群の診断及び治療を行うことが可能である。小児の睡眠時無呼吸症候群は、発育に深刻な影響を及ぼす。睡眠時無呼吸症候群は、ダウン症の小児では、発症率が50%を超えとも言われている。このため、睡眠時無呼吸症候群の正確な原因部位の特定は、社会にとって多大な利益をもたらす。睡眠時無呼吸症候群の原因部位を正確に特定することができれば、医療費を大幅に削減することができるうえ、重大事故を未然に防止することができるので、経済損失を低減し、より安全な社会を実現することができる。

[0103] 上記各実施の形態では、弱連成の手法（時差解法）で、流体構造連成解析を行ったが、流体と構造の支配方程式を厳密に同時に満たすように解く強連成（一体型解法）等で、流体構造連成解析を行うようにしてもよい。このように流体構造連成解析のシミュレーションの手法は、上述したものに限らず、様々な方法を適用可能である。

[0104] 上記各実施の形態では、有限要素法を用いて上気道及び該上気道の周囲の組織の3次元形状モデルと、前記上気道内の空気の流体モデルとを生成したが、これには限られない。例えば、有限要素法その他、有限差分法、境界要素法、有限体積法等の数値解析手法を用いて、上気道及び該上気道の周囲の組織の3次元形状モデルと、前記上気道内の空気の流体モデルとを生成するよ

うにしてもよい。

[0105] 上記各実施の形態では、撮像装置 1 と X 線 C T 装置としたが、この発明はこれには限られない。MRI (Magnetic Resonance Imaging) 装置又は超音波診断装置を撮像装置 1 としてもよい。さらに、X 線 C T 装置、MRI 装置、超音波診断装置から得られる複数の 3 次元画像データから 1 つの 3 次元画像データを生成し、生成された画像データから、各組織の 3 次元形状のモデルを生成するようにしてもよい。

[0106] 上記各実施の形態では、睡眠時無呼吸症候群の診断及び治療を行う場合について説明したが、この発明はこれには限られない。呼吸器系の疾患であって上気道の形状に係る疾患であれば、診断及び治療に評価システムを用いることができる。また、高血圧等の症状の原因の特定にもこの発明を用いることができる。

[0107] その他、コンピュータ 2 のハードウェア構成やソフトウェア構成は一例であり、任意に変更および修正が可能である。

[0108] 制御部 3 1、主記憶部 3 2、外部記憶部 3 3、操作部 3 4、表示部 3 5 及び通信部 3 6、内部バス 3 0 などから構成されるコンピュータ 2 の処理を行う中心となる部分は、専用のシステムによらず、通常のコンピュータシステムを用いて実現可能である。例えば、前記の動作を実行するためのコンピュータプログラムを、コンピュータが読み取り可能な記録媒体（フレキシブルディスク、CD-ROM、DVD-ROM 等）に格納して配布し、当該コンピュータプログラムをコンピュータにインストールすることにより、前記の処理を実行するコンピュータ 2 を構成してもよい。また、インターネット等の通信ネットワーク上のサーバ装置が有する記憶装置に当該コンピュータプログラムを格納しておき、通常のコンピュータシステムがダウンロード等することでコンピュータ 2 を構成してもよい。

[0109] コンピュータ 2 の機能を、OS（オペレーティングシステム）とアプリケーションプログラムの分担、または OS とアプリケーションプログラムとの協働により実現する場合などには、アプリケーションプログラム部分のみを

記録媒体や記憶装置に格納してもよい。

[0110] 搬送波にコンピュータプログラムを重畳し、通信ネットワークを介して配信することも可能である。たとえば、通信ネットワーク上の掲示板（BBS, Bulletin Board System）にコンピュータプログラムを掲示し、ネットワークを介してコンピュータプログラムを配信してもよい。そして、このコンピュータプログラムを起動し、OSの制御下で、他のアプリケーションプログラムと同様に実行することにより、前記の処理を実行できるように構成してもよい。

[0111] この発明は、この発明の広義の精神と範囲を逸脱することなく、様々な実施の形態及び変形が可能とされるものである。また、上述した実施の形態は、この発明を説明するためのものであり、この発明の範囲を限定するものではない。すなわち、この発明の範囲は、実施の形態ではなく、特許請求の範囲によって示される。そして、特許請求の範囲内及びそれと同等の発明の意義の範囲内で施される様々な変形が、この発明の範囲内とみなされる。

[0112] なお、本願については、2014年7月10日に出願された日本国特許出願2014-142076号を基礎とする優先権を主張し、本明細書中に日本国特許出願2014-142076号の明細書、特許請求の範囲、図面全体を参照として取り込むものとする。

符号の説明

[0113] 1 撮像装置、2 コンピュータ、10 記憶部、11 データ取得部、12 モデル生成部、13 流体解析部、14 シミュレーション実行部、15 出力部、16 変更部、21 DICOMデータ、22 鼻腔部分STLデータ、23 3次元形状モデルデータ、24 鼻腔内圧力分布データ、25 物性値データ、26 シミュレーション結果データ、30 内部バス、31 制御部、32 主記憶部、33 外部記憶部、34 操作部、35 表示部、36 通信部、39 プログラム、100 診断システム。

請求の範囲

- [請求項1] 数値解析手法を用いて、被検者の顎顔面部の内部の3次元画像データに基づいて、上気道及び該上気道の周囲の組織の3次元形状モデルと、前記上気道内の空気の流体モデルとを生成するモデル生成部と、
 前記モデル生成部で生成された前記3次元形状モデル及び前記流体モデルに固有の物性値を与え、前記被検者の呼吸に伴う前記上気道、前記周囲の組織及び前記上気道内の空気の流体構造連成解析のシミュレーションを行うことにより、呼吸に合わせて変動する前記上気道の通気状態に関する情報を算出するシミュレーション実行部と、
 を備える診断装置。
- [請求項2] 前記モデル生成部で生成された前記上気道及び前記周囲の組織の3次元形状モデルを表示するモデル表示部と、
 前記モデル表示部に表示された前記上気道及び前記周囲の組織の3次元形状モデルの3次元形状を変更する変更部と、
 をさらに備え、
 前記シミュレーション実行部は、
 前記変更部で3次元形状が変更された前記上気道及び前記周囲の組織の3次元形状のモデルを用いて前記流体構造連成解析のシミュレーションを行うことにより、前記上気道の通気状態に関する情報を算出する、
 請求項1に記載の診断装置。
- [請求項3] 前記上気道のうち鼻腔の3次元形状のモデルについては剛体として、呼吸1周期に渡る流体解析を行って、前記鼻腔の通気状態に関する情報を算出するとともに、前記鼻腔と咽頭との境界における断面平均圧力を算出する流体解析部をさらに備え、
 前記シミュレーション実行部は、
 前記流体解析部で算出された呼吸1周期に渡る前記鼻腔と咽頭との境界における断面平均圧力を初期条件として、前記鼻腔を除く前記上

気道及び前記周囲の組織の３次元形状のモデルを用いて、前記流体構造連成解析のシミュレーションを行うことにより、前記上気道の通気状態に関する情報を算出する、

請求項１又は２に記載の診断装置。

[請求項４]

前記シミュレーション実行部は、

重力により前記周囲の組織の３次元形状のモデルを変形させた状態で、前記流体構造連成解析を行い、前記上気道の通気状態に関する情報を算出する、

請求項１から３のいずれか一項に記載の診断装置。

[請求項５]

前記シミュレーション実行部は、

前記上気道の通気状態に関する情報として、

前記上気道内における空気の流れに関する情報又は前記上気道及び前記上気道の周囲の領域の変形に関する情報を算出する、

請求項１から４のいずれか一項に記載の診断装置。

[請求項６]

前記シミュレーション実行部は、

前記上気道内における空気の流れに関する情報として、

前記上気道内における圧力分布又は流速分布を算出する、

請求項５に記載の診断装置。

[請求項７]

前記シミュレーション実行部で算出された前記上気道の通気状態に関する情報を表示する結果表示部を備える、

請求項１から６のいずれか一項に記載の診断装置。

[請求項８]

被検者の顎顔面部の内部の３次元画像データを撮像する撮像装置と、

前記撮像装置で撮像された前記３次元画像データを用いる請求項１から７のいずれか一項に記載の診断装置と、

を備える診断システム。

[請求項９]

コンピュータが、数値解析手法を用いて、被検者の顎顔面部の内部の３次元画像データに基づいて、上気道及び該上気道の周囲の組織の

3次元形状のモデルと、前記上気道内の空気の流体モデルとを生成するモデル生成工程と、

コンピュータが、前記モデル生成工程で生成された前記3次元形状モデル及び前記流体モデルに固有の物性値を与え、前記被検者の呼吸に伴う前記上気道、前記周囲の組織及び前記上気道内の空気の流体構造連成解析のシミュレーションを行うことにより、呼吸に合わせて変動する前記上気道の通気状態に関する情報を算出するシミュレーション実行工程と、

を備えるシミュレーション方法。

[請求項10]

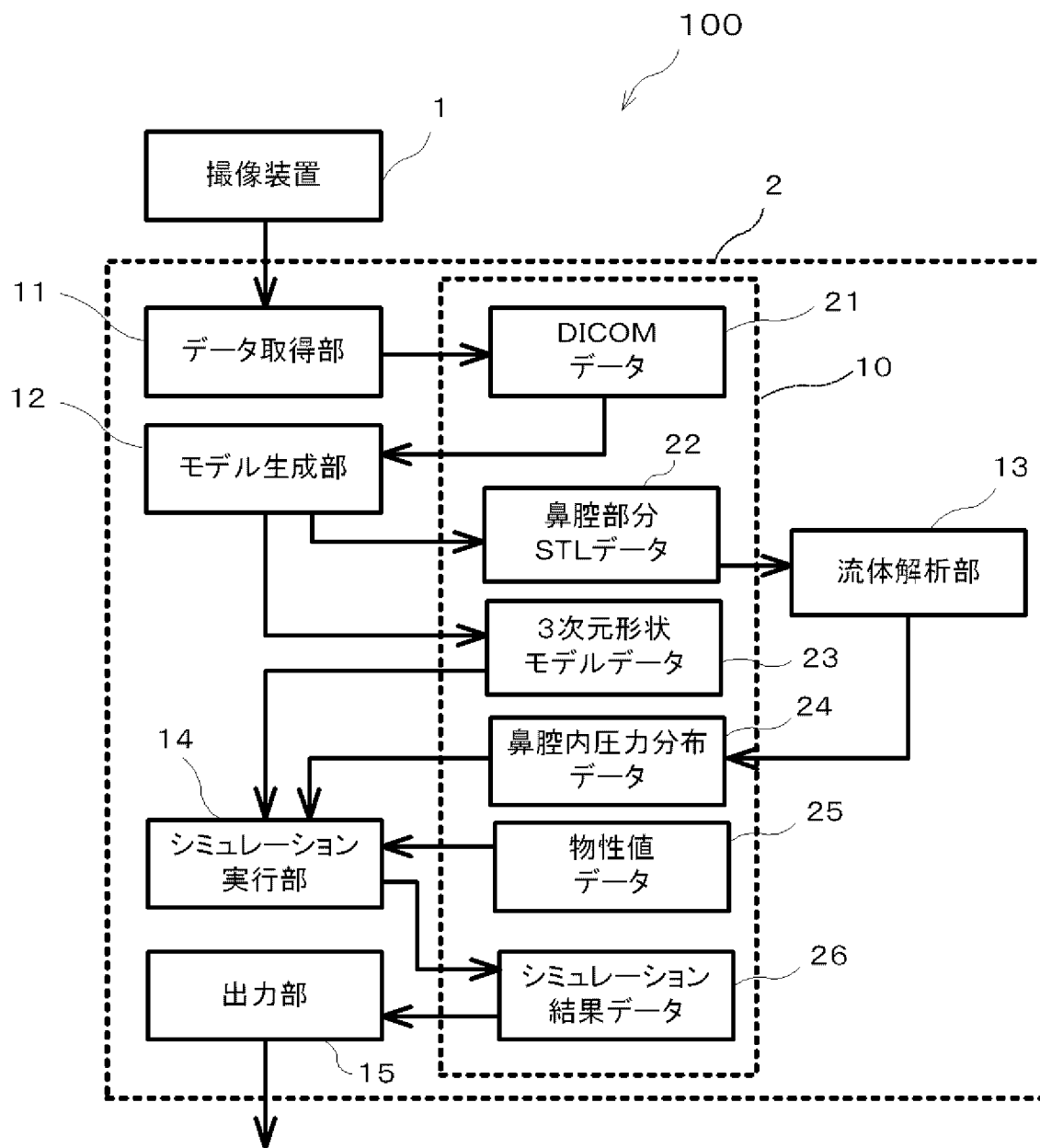
コンピュータを、

数値解析手法を用いて、被検者の顎顔面部の内部の3次元画像データに基づいて、上気道及び該上気道の周囲の組織の3次元形状のモデルと、前記上気道内の空気の流体モデルとを生成するモデル生成部、

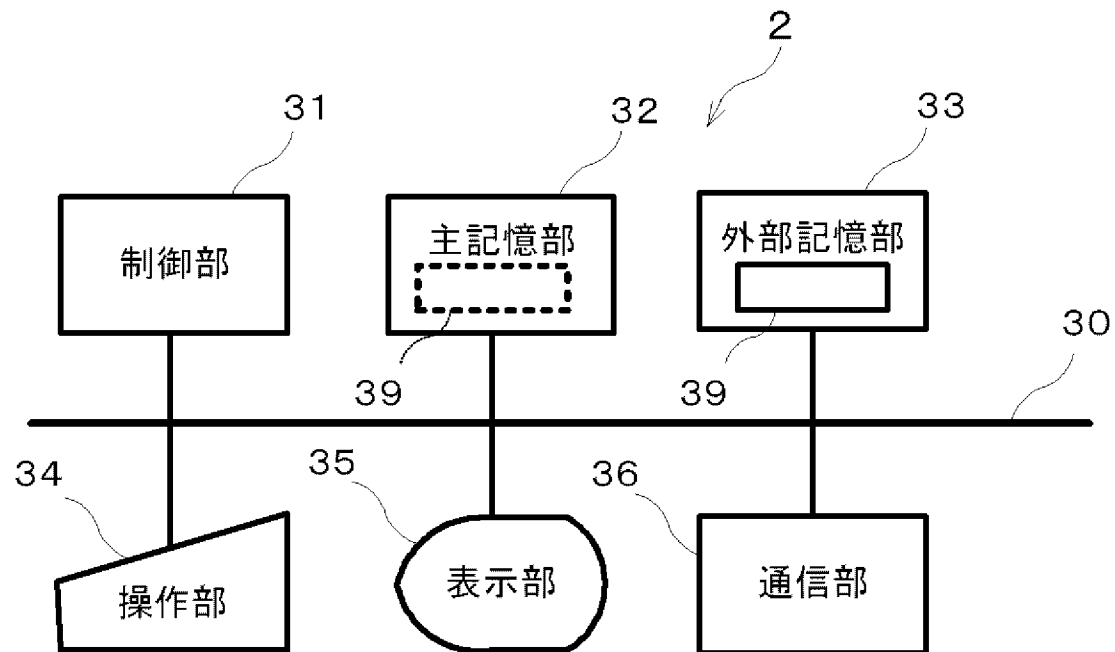
前記モデル生成部で生成された前記3次元形状モデル及び前記流体モデルに固有の物性値を与え、前記被検者の呼吸に伴う前記上気道、前記周囲の組織及び前記上気道内の空気の流体構造連成解析のシミュレーションを行うことにより、呼吸に合わせて変動する前記上気道の通気状態に関する情報を算出するシミュレーション実行部、

として機能させるプログラム。

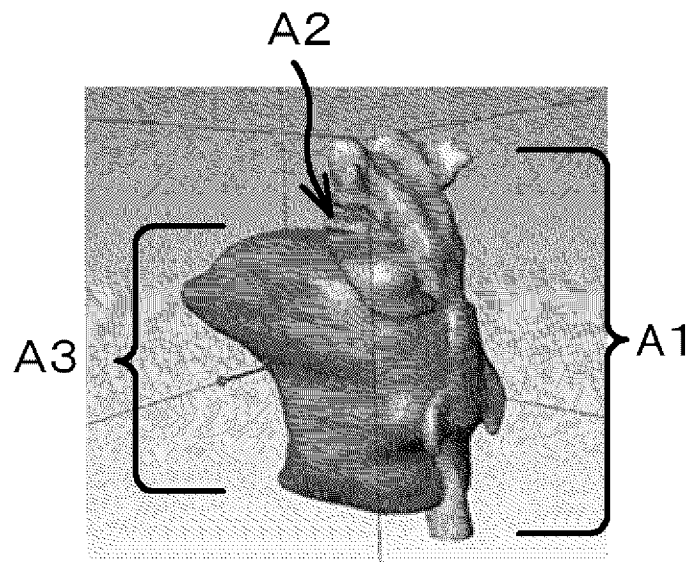
[図1]



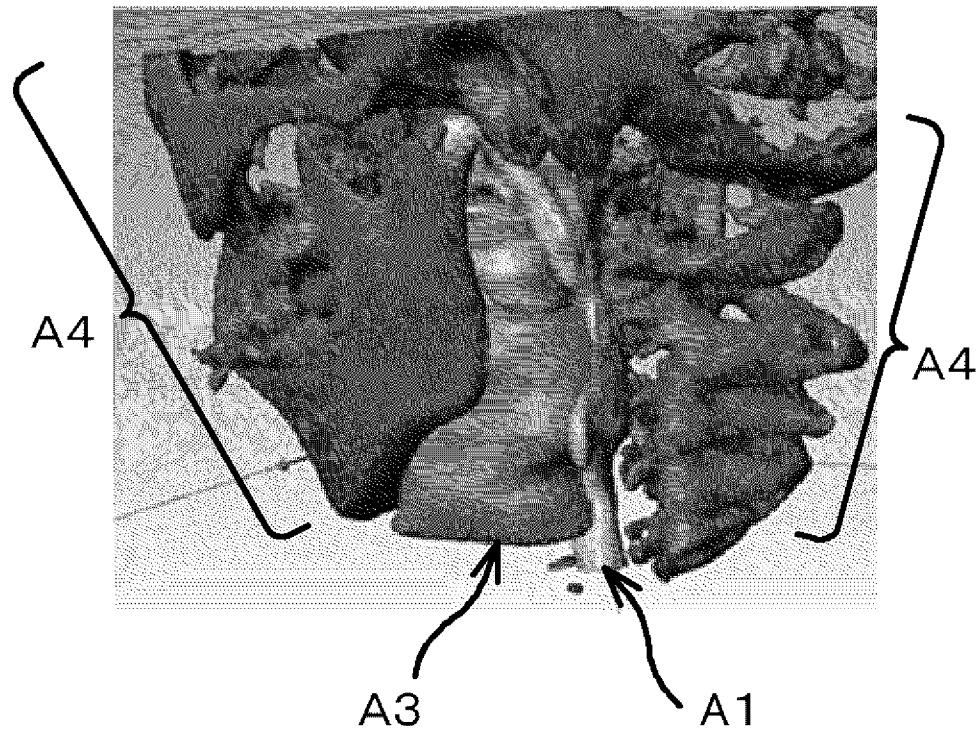
[図2]



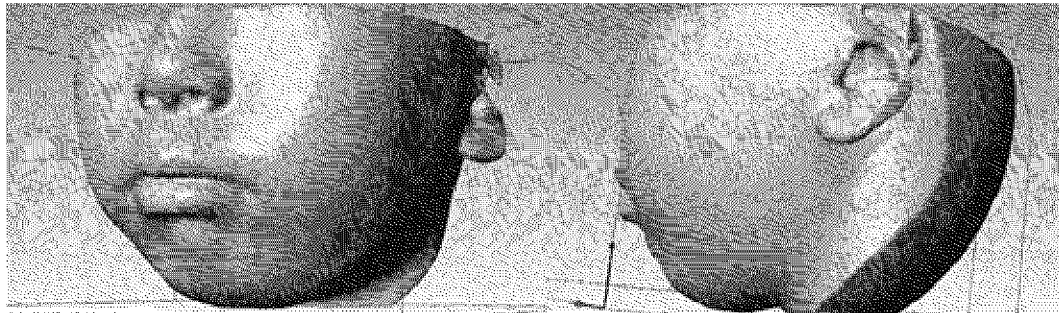
[図3]



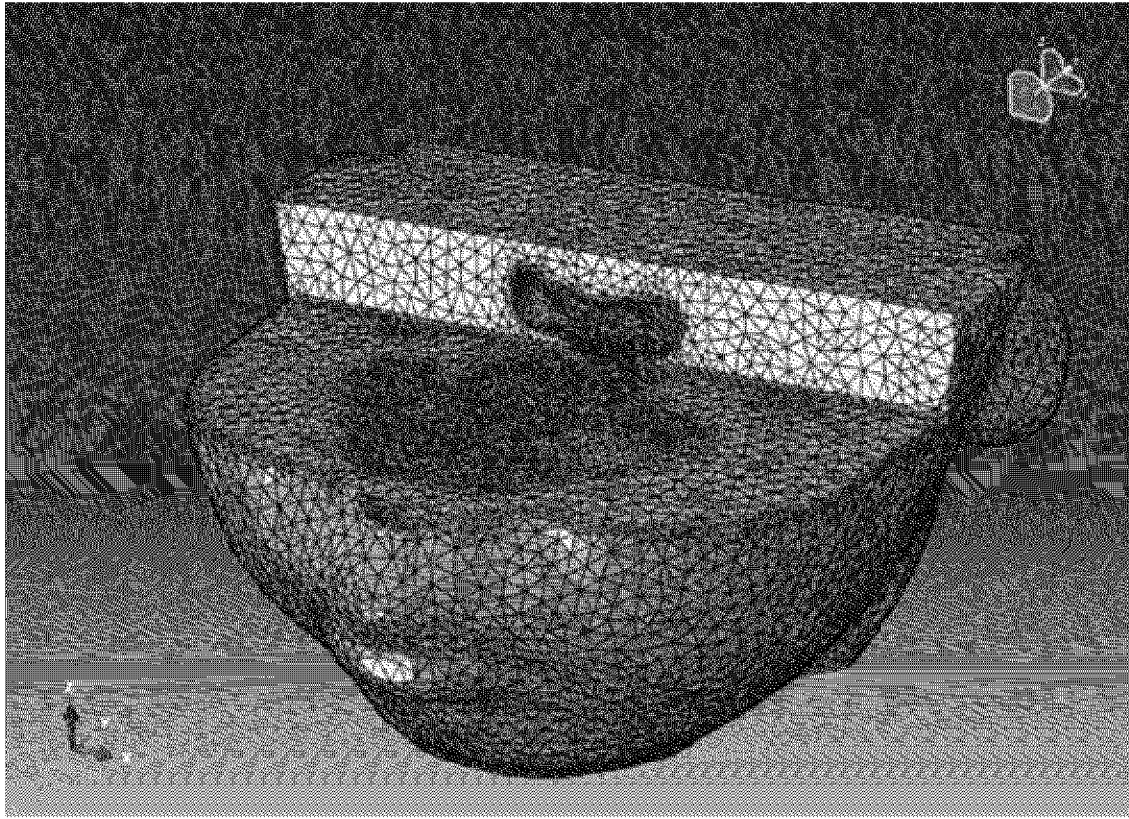
[図4]



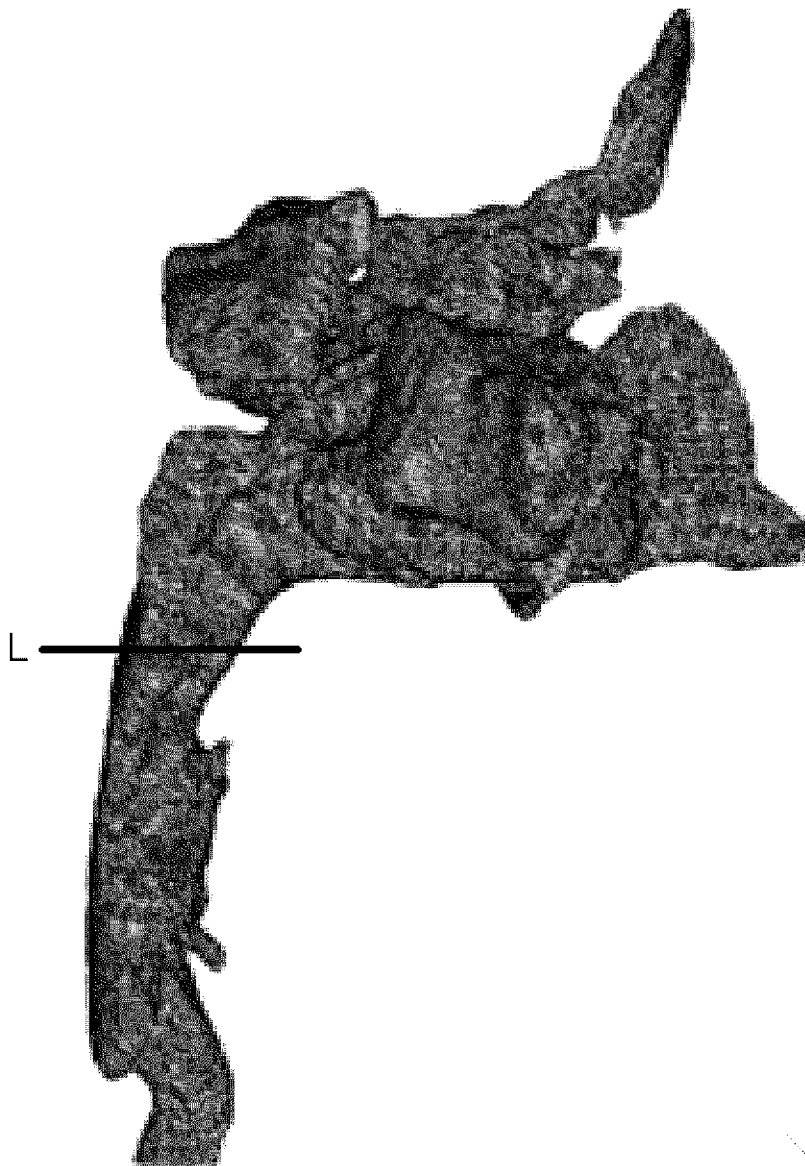
[図5]



[図6]

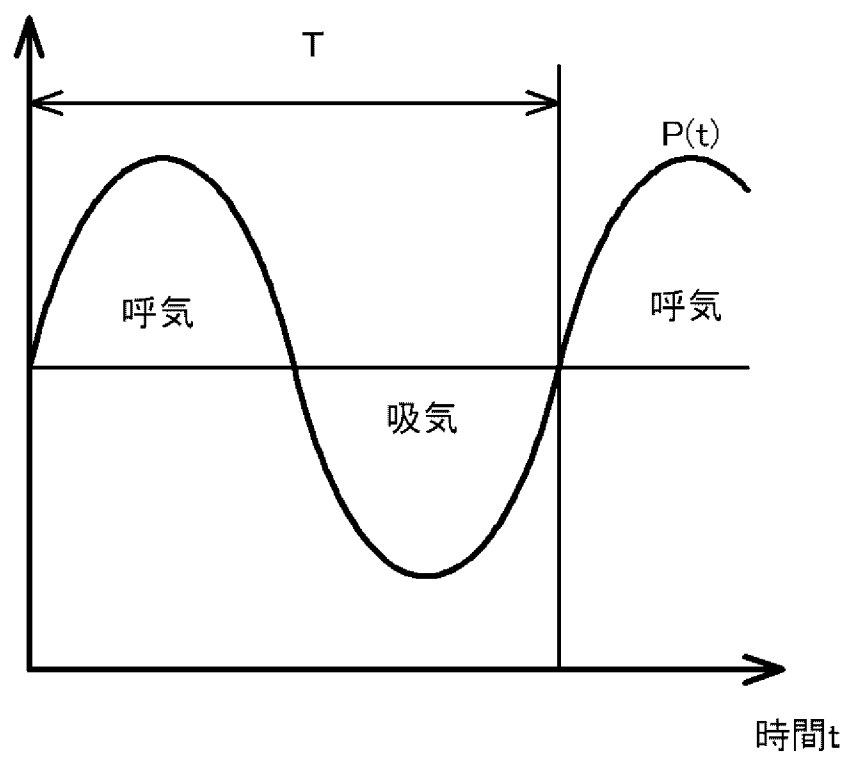


[図7]



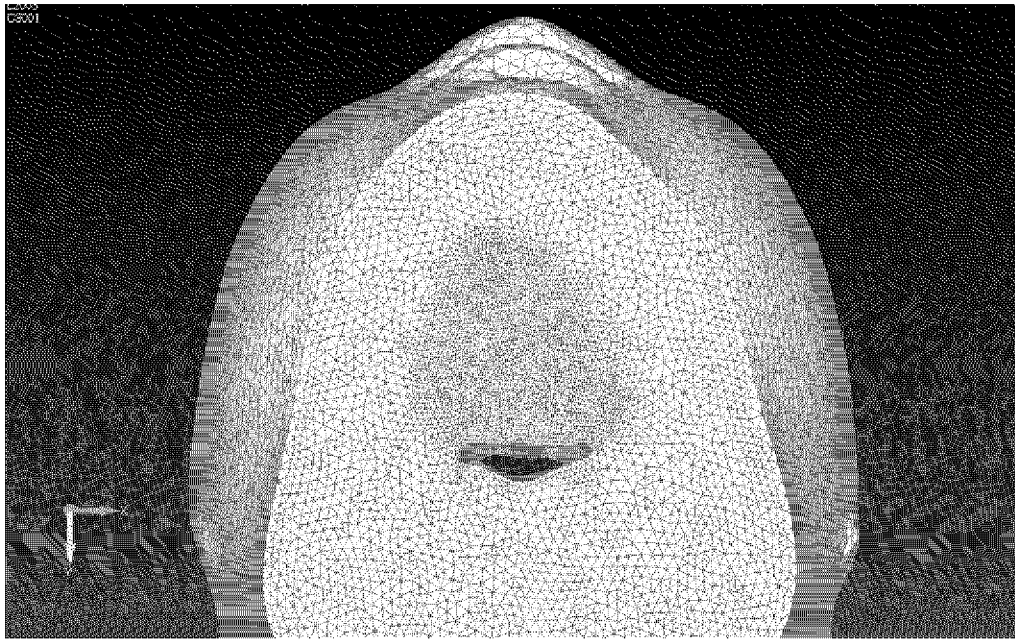
[図8]

压力P

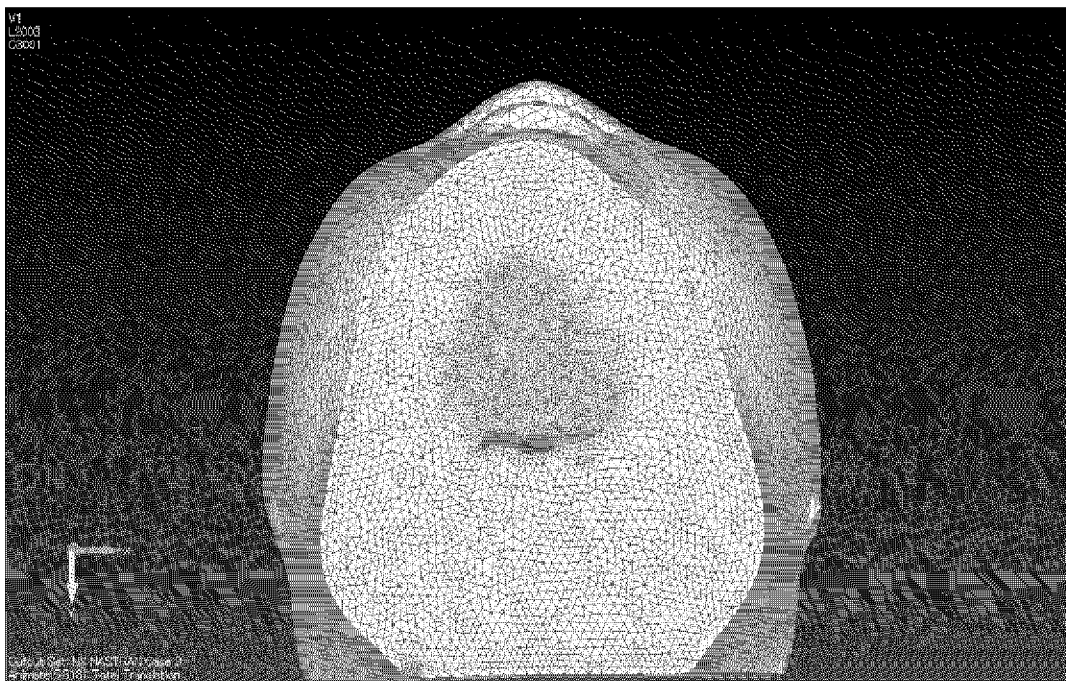


[図9]

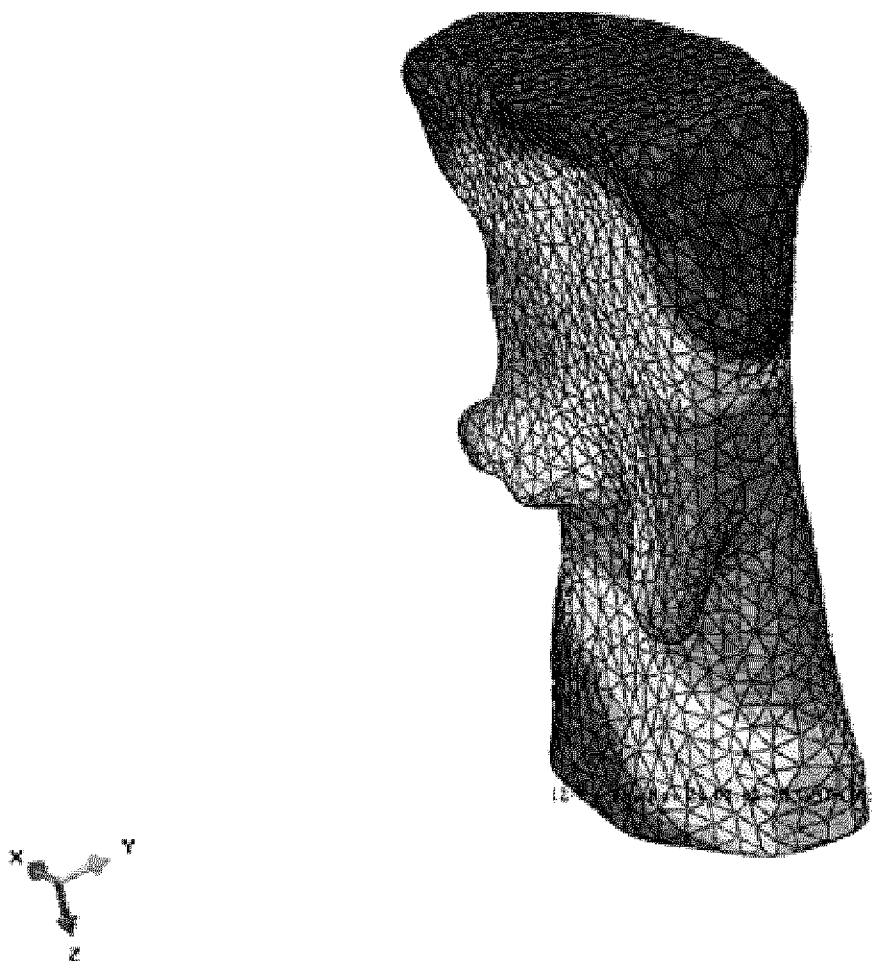
(A)



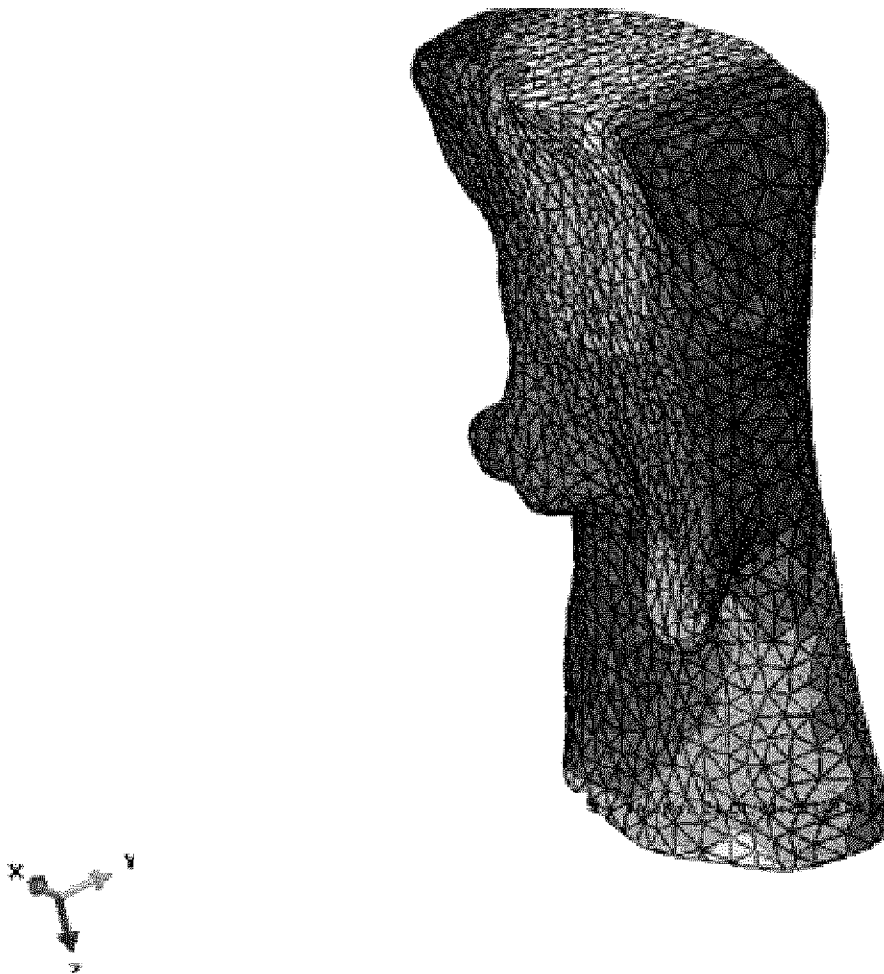
(B)



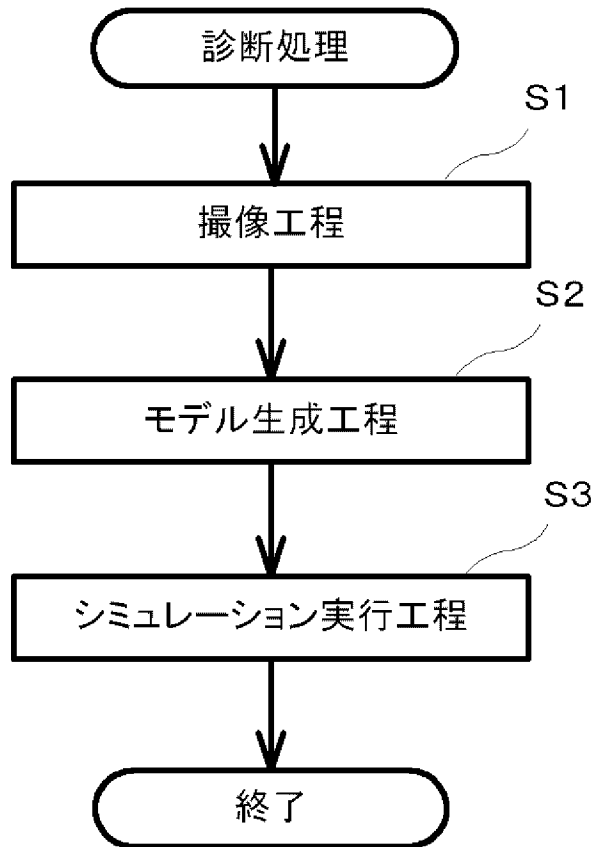
[図10]



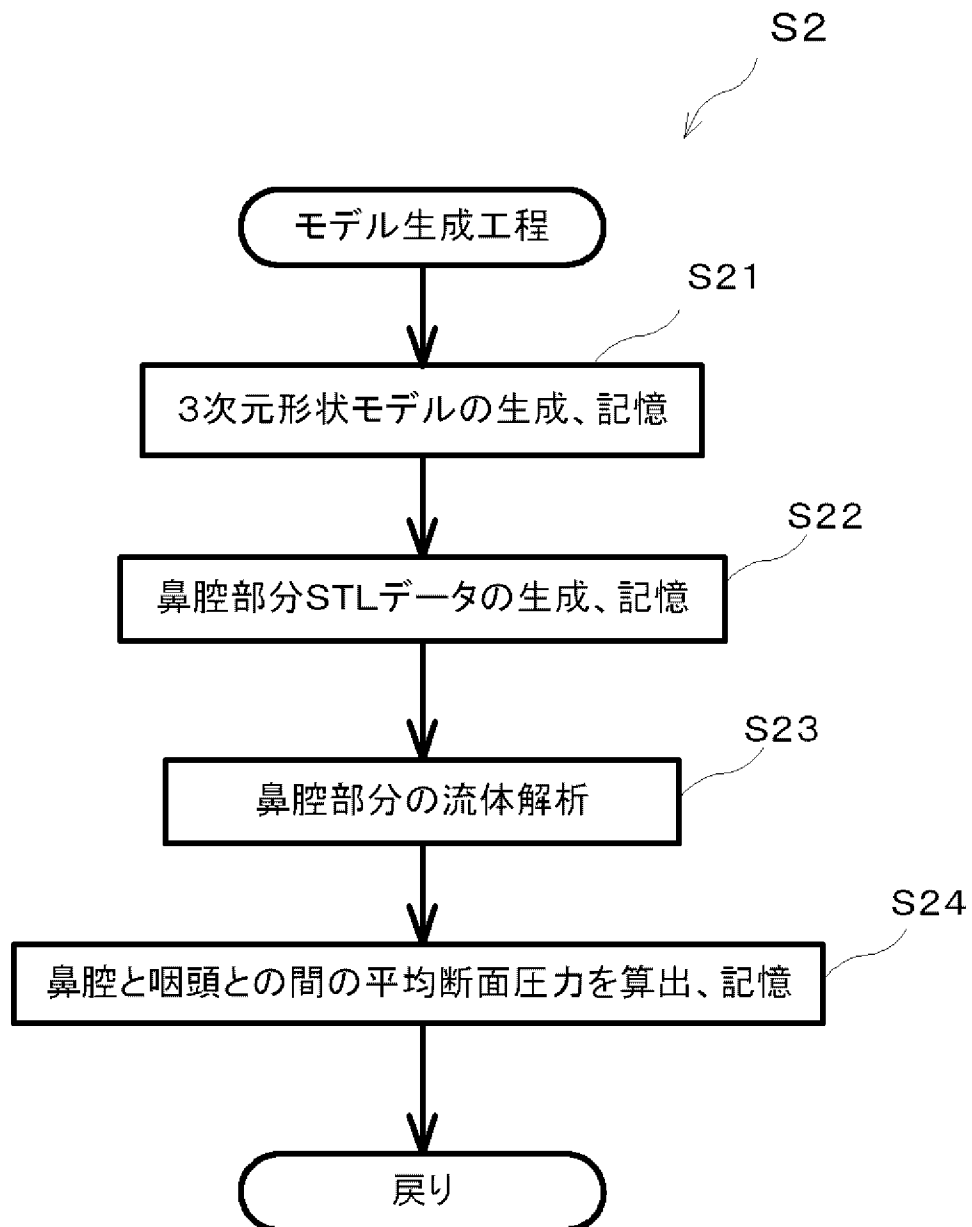
[図11]



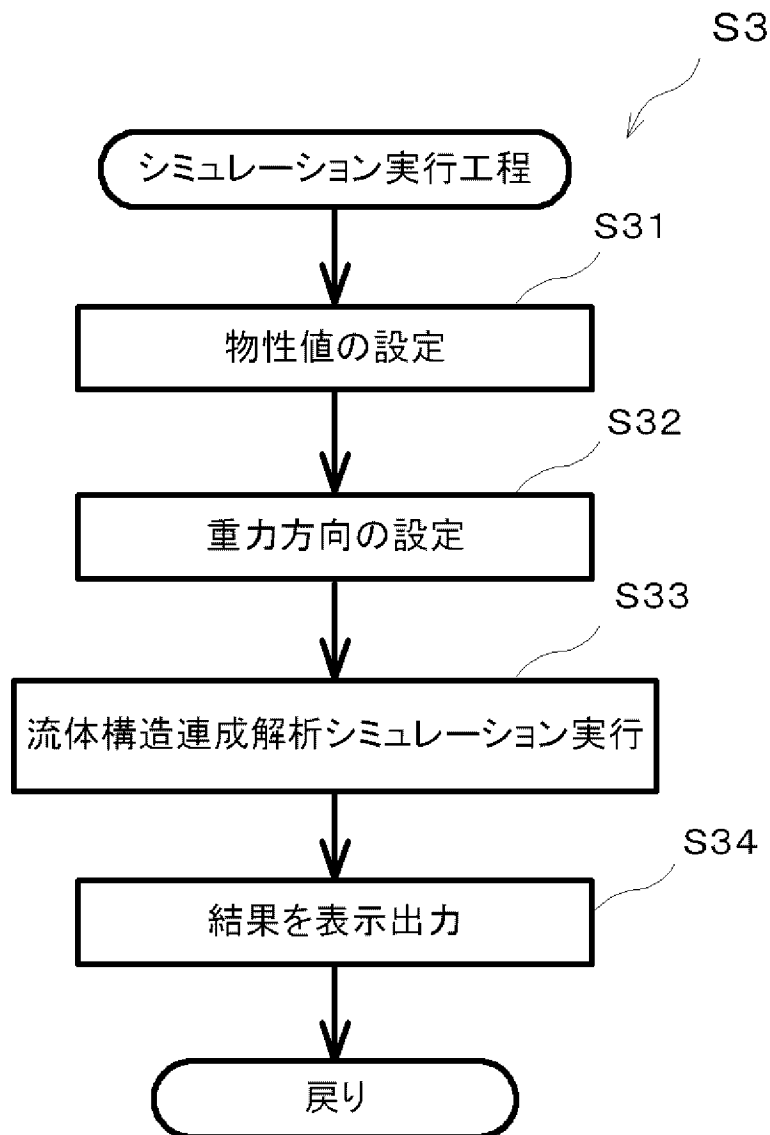
[図12]



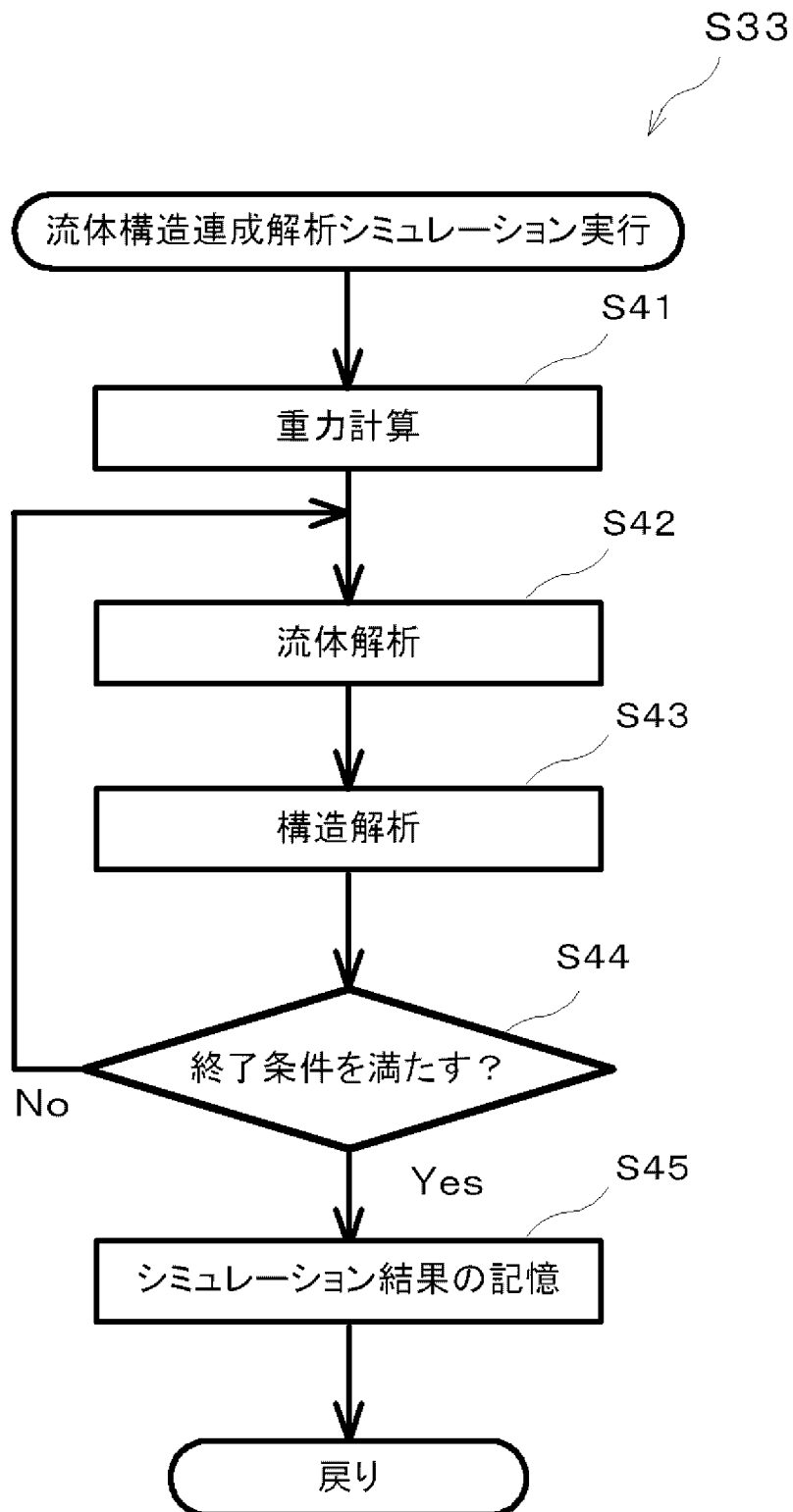
[図13]



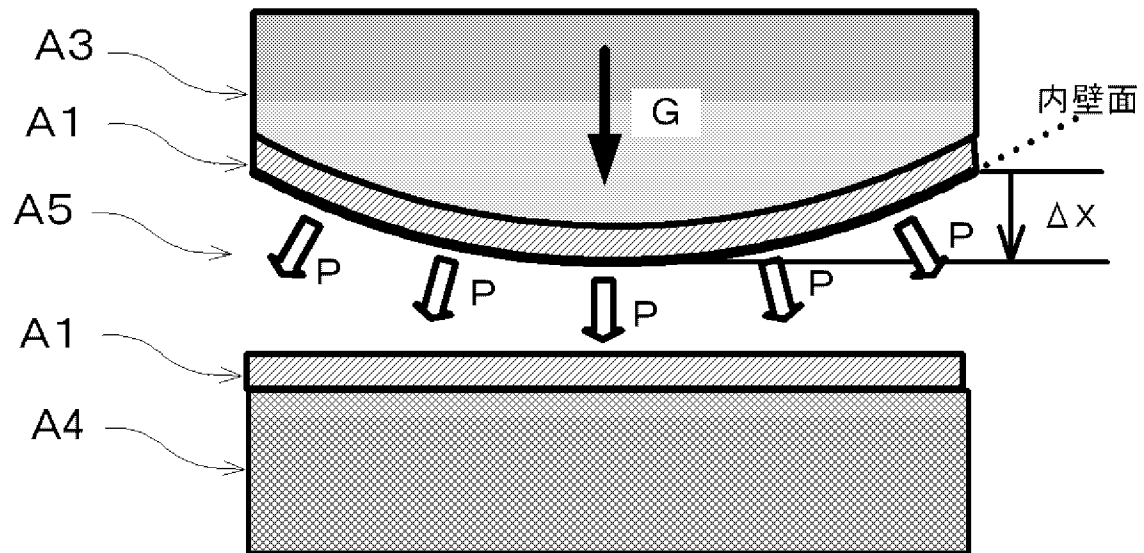
[図14]



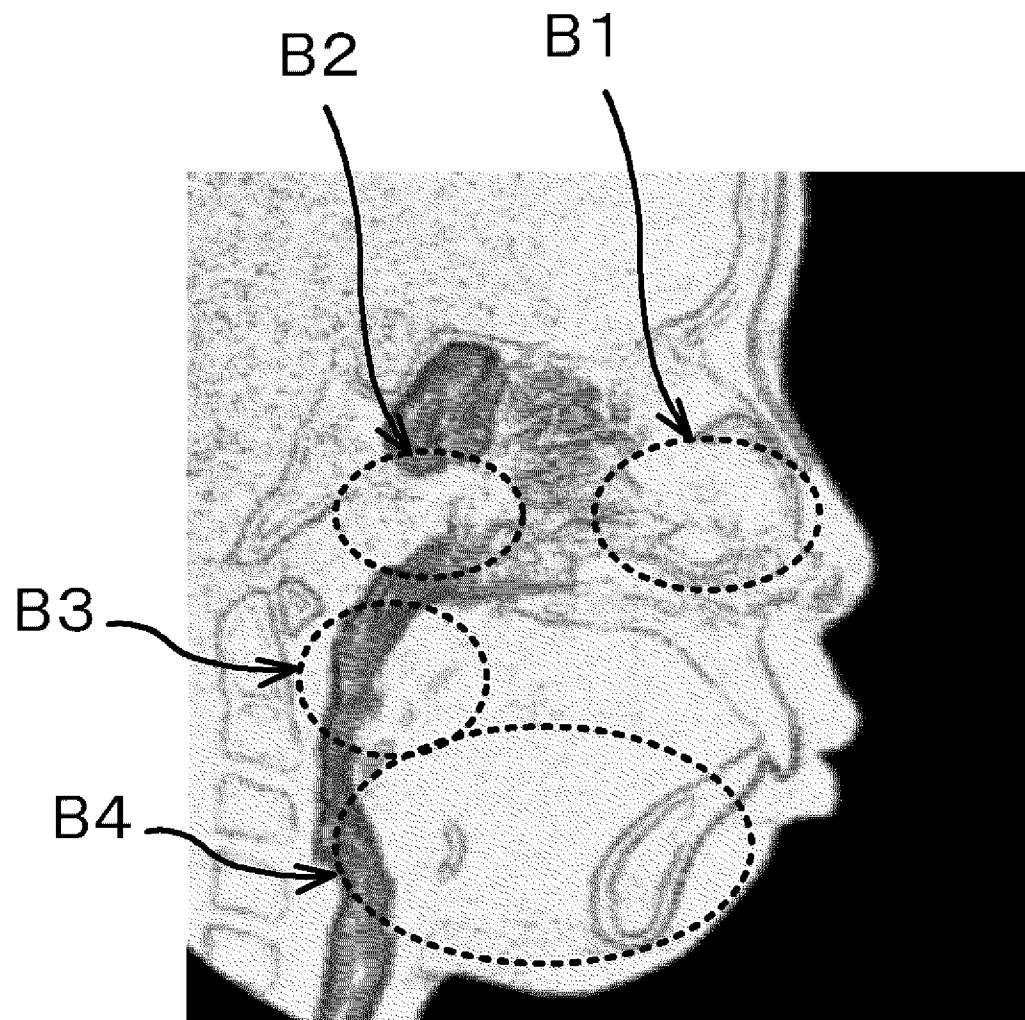
[図15]



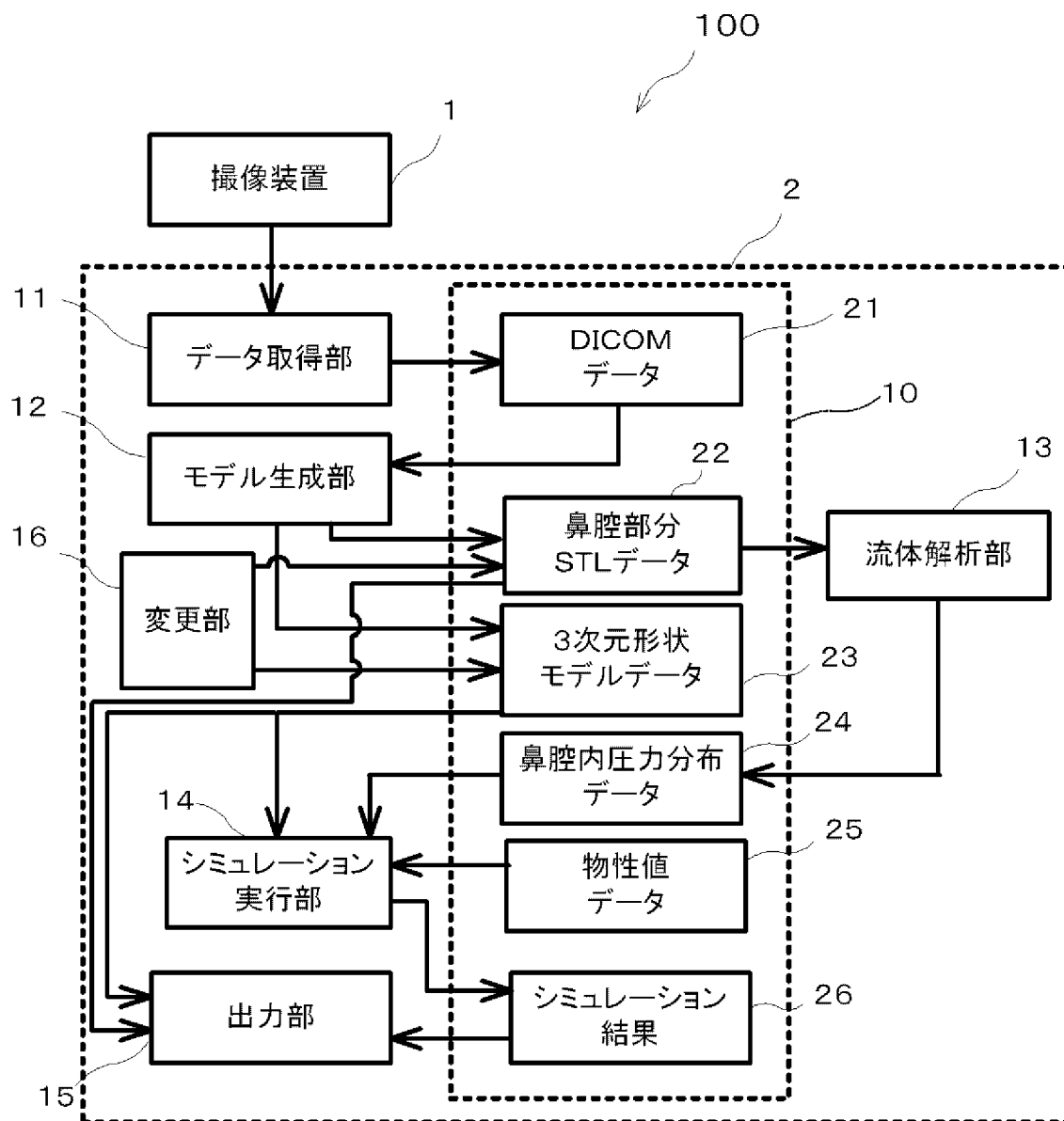
[図16]



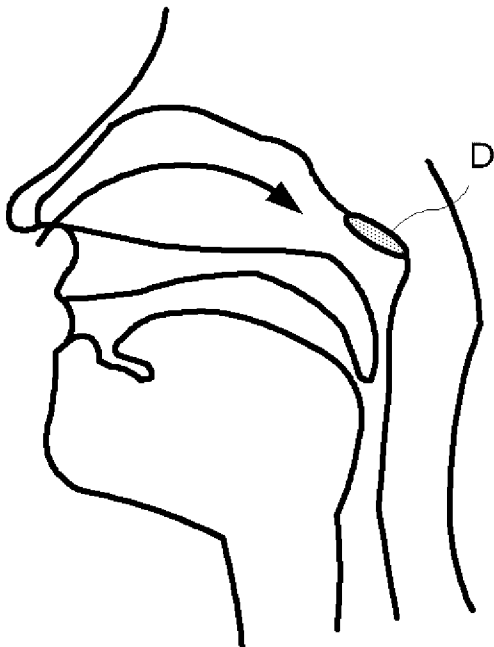
[図17]



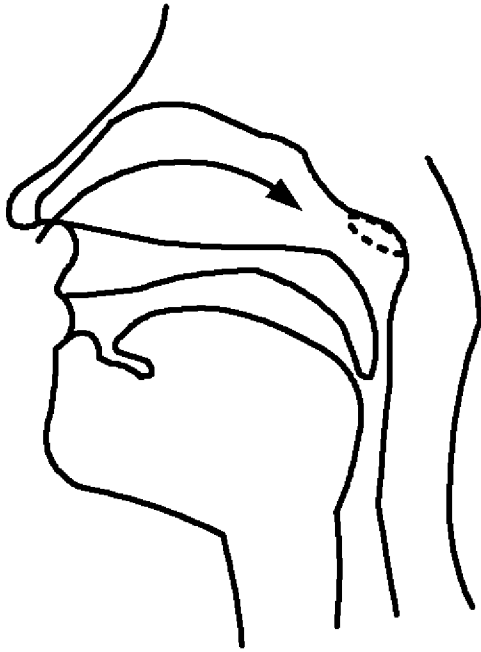
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/069666

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B5/08(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)

A61B5/08

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)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	Tomonori IWASAKI et al., "Clinical Application of Upper Airway Ventilation Simulation Using Fluid-Structure-Coupled Analysis in Children with Obstructive Sleep Apnea Syndrome", Journal of the Japanese Association for Dental Science, 2014.03, vol.33, pages 39 to 43	1, 4-10 2
Y	JP 2014-104361 A (GE Medical Systems Global Technology Co., L.L.C.), 09 June 2014 (09.06.2014), paragraphs [0055] to [0059] & US 2014/0147026 A1 & CN 103829966 A	2

☒ 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
17 September 2015 (17.09.15)

Date of mailing of the international search report
06 October 2015 (06.10.15)

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/JP2015/069666

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 2005-537068 A (University of Florida), 08 December 2005 (08.12.2005), paragraphs [0034] to [0047] & US 2004/0040560 A1 & CA 2492528 A & BR 313823 A & AU 2003268324 A	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. A61B5/08(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. A61B5/08

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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）

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580（JDreamIII）

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	岩崎智憲 他, "小児閉塞性睡眠時無呼吸症候群への流体構造連成解析を用いた上気道通気状態シミュレーションの臨床応用", 日歯医学会誌, 2014.03, vol. 33, pp. 39-43	1, 4-10 2
Y	JP 2014-104361 A（ジーイー・メディカル・システムズ・グローバル・テクノロジー・カンパニー・エルエルシー）2014.06.09, [0055]-[0059] & US 2014/0147026 A1 & CN 103829966 A	2

☒ 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

1 7 . 0 9 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 6 . 1 0 . 2 0 1 5

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 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

姫島 あや乃

2 Q

5 0 6 2

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2

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 2005-537068 A (ユニバーシティー オブ フロリダ) 2005.12.08, [0034]-[0047] & US 2004/0040560 A1 & CA 2492528 A & BR 313823 A & AU 2003268324 A	1-10