

平成21年 4月30日現在

研究種目：基盤研究(A)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18206027
 研究課題名（和文） 血管内治療戦略の評価を目的とした精密人体ロボットシミュレータの構築と制御
 研究課題名（英文） Construction and Control of high-precision human robot simulator for evaluating endovascular surgery strategy
 研究代表者
 福田 敏男 (TOSHIO FUKUDA)
 名古屋大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：70156785

研究成果の概要：

本研究では、(1) 血管内治療に係る医療技術、知見および医療機器の高度な評価を可能にする手術シミュレータを構築し、(2) 得られたシミュレータを用いて、上記の評価を行なった。本研究により、動静脈・毛細血管に至る全身の血管領域と拍動血流および術中に使用されるX線透視映像を再現し、かつ医療行為が身体に及ぼす影響（血管に加わった応力等）の定量的な評価とする手術シミュレータを実現した。また技術の応用により、テーラーメイドの人工血管足場を実現し、本シミュレータを用いた評価を実施した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	15,000,000	4,500,000	19,500,000
2007年度	14,800,000	4,440,000	19,240,000
2008年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
総計	37,900,000	11,370,000	49,270,000

研究代表者の研究分野： ロボット・メカトロニクス工学

科研費の分科・細目： 機械工学 ・ 知能機械学・機械システム

キーワード： メディカルロボットシステム，血管内手術，手術シミュレータ，テーラーメイド医療，ラピッドプロトタイピング，マイクロ3次元加工，光弾性計測，拡張現実感技術

1. 研究開始当初の背景

低侵襲血管内カテーテル治療が、「医療の安全性」と「患者のQOL」の観点から注目されている。現在同治療法は、急速な発展・普及期にあり（特に、脳血管外科分野において急拡大）、綿密な調査に基づく医療技術および医療機器の安全性評価と画一化が求められている。欧州では既にこの目的（特に血管疾患に関するデータ収集）において20億円規模の研究プロジェクトが開始されており、血管疾患治療の体系化は現在、世界的に急務

となっている。

他面、現在同評価は、主に動物実験や臨床評価（患者の手術を通じての評価）により行われているが、安全性や倫理的配慮、評価上の制約（同一条件での反復評価を行えないことや可視化が難しいこと等）から、生物に代わる高度な評価システムが強く求められている。

このような中、研究代表者らのグループは、CT/MRI情報に基づいて、患者個人の血管構造を精密に立体モデル化する技術を考案した

(2002年).そして,同技術により,全身の血管構造を再現したテーラーメイドの手術シミュレータ「イブ」を構築し(2005年),動物実験に代わる医療技術・医療機器の評価媒体として有用であることを,医師および医療機器開発従事者の評価により確認した.

2. 研究の目的

本研究では,ロボット技術およびマイクロ加工技術の導入によって,上記の手術シミュレータ「イブ」を発展させ,血管内治療の総合評価を可能にする人体ロボットシミュレータを構築することを目的とする.これによって,21世紀の新たなメディカルロボットシステムを提案する.また,構築したシステムを用いて,血管内カテーテル治療に関する医療技術および医療機器(血管疾患発生のメカニズム解明等)の評価を実施し,得られた知見を体系化することを目的とする.本研究は,以下の3側面から遂行する.

1(制御面):手術シミュレータ「イブ」に計測技術および制御技術を導入し,血管内カテーテル治療の総合評価を可能にする人体ロボットシミュレータを実現する.

2(加工面):血管立体モデルを発展させ,より精密に血管の形状・性状を再現する.特に,生体血管の精密高機能モデリング技術を確立する.

3(評価面):血管立体モデルおよび人体ロボットシミュレータを用いて,医療技術および医療機器を評価し,臨床医療,特に治療戦略の側面から評価を行う.

3. 研究の方法

本研究では,血管内治療戦略のための精密人体ロボットシミュレータを構築し,医療を評価する目的において,研究課題を制御面,加工面,評価面に分解し,研究代表者および研究分担社が3班を構成して,各面の研究課題に取り組み,得られた成果を相互に提供し合うことで,上記目標を達成する.

(1)制御班 以下に,制御班が本研究で取り組んだ具体的な主要研究課題とその研究方法について記述する.

① 光弾性法による応力の定量評価技術の確立

術中に医療行為(カテーテル操作等)や血流により,血管壁に付与される応力を定量評価することを目的として,血管立体モデルの血管壁面に生じる光弾性効果を定量計測する理論とシステムを構築した.

高い光弾性係数と生体血管に近い弾性特性を有するポリウレタンエラストマーに黄色塗料を添加した材料を用いて,CT情報から血管立体モデルを構築した(同モデル構築のためPVA樹脂を用いた3次元犠牲層技術を考

案した).得られた血管立体モデルを,同モデルとほぼ同一の屈折率を有する液体(モノブROMナフタリンと流動パラフィンの混合液)に漬浸した上で,一方より白色光を透過し,他方から,同モデルに生じる光弾性効果をCCDカメラで撮影することで,応力の計測を行なった.ここで,偏向フィルタを介して光弾性効果を観測するとともに,偏向フィルタを外して撮影して撮影を行なうことで,血管立体モデルに生じた光弾性効果(観察像の赤色~緑色波長を利用)と,モデルの厚み(観察像の青色波長を利用)を同時計測するシステムを構築した.これにより応力のリアルタイム計測が可能となる.

② 光弾性法による応力の3次元定量評価技術の構築

上記①の方法は,リアルタイムの応力計測を実現するが,術中に血管壁に付与される応力状態を3次元的に計測できない.この問題を解消するべく,CT(computed tomography)の技術を,光弾性計測に適用して,血管モデル壁面上の3次元応力を定量計測する理論とシステムを構築した.

計測対象には,上記①と同一の黄色に着色した透過性を有するポリウレタンエラストマー製の血管立体モデルを使用し,上記①と同様に,屈折率を整合した液体中に同モデルを漬浸した.そして,同モデルを,1軸まわりの360度から観察できるようにCCDを設置した.

血管立体モデルにカテーテルを挿入し,血管壁に応力を付与した状態で,その周囲360度から光弾性画像と,通常画像(偏向フィルタを介さず撮影した画像)を撮影した.得られた画像をもとに,CTの原理を応用して血管モデルの壁面応力を解析した.

③ 生体の拍動循環流および血圧変動の再現

人体ロボットシミュレータの血管内部に,生体同様な拍動循環流と血圧変動を再現するべく,ポンプシステムを構築した.人体の血流を,拍動成分(AC成分)と定常流成分(DC成分)に分解し,各成分を定常流ポンプ(ギヤポンプ)と,拍動ポンプ(ピストンポンプ:本研究にて構築)により再現した後,合成した.同ポンプには,別途圧力センサを付与し,対象とする血管内の血圧値を取得してフィードバック制御を行える構造とした.

同システムによる拍動循環流の再現精度を検証するべく,同システムを,頸動脈領域を再現した血管立体モデル(流入部内径6.5mm,流出部内径5mm,流出部後に2.3mmのオリフィスを設置)に接続し,流量および圧力変動の評価を行なった.(1)

④ 拡張現実感技術によるX線透視映像の再現

血管内治療では、大腿部に設けられた穿刺部からカテーテルを身体内に挿入し、体内の状況をX線透視撮影により確認する。本研究では、ccdカメラにより撮影した人体ロボットシミュレータの像に、拡張現実感技術を適用することで、術中のX線透視映像を疑似再現した。

透明シリコンエラストマを用いて作成した血管立体モデルを、同モデルと同一の屈折率を有する透明液体（グリセリン水溶液）中に漬浸することで、血管立体モデルの外観を消失させ、術中の血管透視像（血管が観察されない）と同様な状況を作り出した。この血管モデル中にカテーテルや染料（術中に用いられる造影剤の代替）を挿入し、その過程で得られる映像に、各種のリアルタイム画像処理（レントゲン映像の融合や、画像間の加算・減算処理、文字・数値情報の付与）を施すことによって、手術中に得られる各種の映像を疑似再現した。

(2) 加工班：以下に、加工班が本研究で取り組んだ具体的な主要研究課題とその研究方法について記述する。

① 全身動脈と周囲組織の再現

検証可能な医療技術の範囲を広げることが目的として、人体ロボットシミュレータの内部に、動脈と周囲組織を再現した。具体的には、冠状動脈構造と、頭部の動脈構造および周囲組織構造を再現した。

冠状動脈構造は、64列CT装置により心電同期撮影された心臓領域のCT情報から、血管内治療の対象となる左右冠状動脈（AHA分類での1～15領域を含む）と上行大動脈を抽出して同領域の血管立体モデルを構築し、人体ロボットシミュレータの内部に導入した。

脳領域については、最新型の320列CTを使用して頭部の血管造影撮影を行ない、動・静脈相および頭蓋骨のデータを取得するとともに、MRIを用いて脳のデータを取得した。これらのデータをもとに、脳動脈、脳静脈、頭蓋骨、脳の各構造を立体モデル化して、人体ロボットシミュレータの内部に導入した。

② 毛細血管の立体モデル化

カテーテル治等の高度化により、細血管をの治療が今後普及することが予測される。本研究では、血管モデル造形技術とグレースケールリソグラフィ技術の応用により毛細血管の立体モデル化を行なった。

(a) 血管の内腔構造を再現したブロック形状の立体モデルを構築した。毛細血管を描いたマスクを用いてグレースケールリソグラ

フィを行い、シリコン基盤上に、半円形断面の隆起を形成する方法によって、毛細血管をパターンニングした鋳型を構築した。またマスクを反転して、上記パターンと鏡対称形状の鋳型を別途構築した。その後、これらの鋳型から血管パターンをシリコンエラストマに転写し、両者を重ね合わせて加熱により接合することで、円形断面の毛細血管構造を内部に備えるブロック状の血管モデルを構築した。

(b) グレースケールリソグラフィにより、シリコン基盤上に、半円形断面のくぼみを形成する方法によって、一對の毛細血管の鋳型を構築し、同鋳型にPVAとWAXの混合材料を注型して毛細血管の可溶性鋳型を構築した。同可溶性鋳型にシリコンエラストマをディップコーティングし、最後に可溶性鋳型を溶出することで、生体同様の膜状構造を有する毛細血管の立体モデルを構築した。

③ 人工血管スキャホールドの構築

血管立体モデルの構築技術を応用して、CT/MRI情報に基づいて、再生医療用のテラーメイド人工血管足場を構築した。

積層造形手法により構築したWAX製の血管鋳型にPVA樹脂をコーティングした後に、WAX鋳型を溶融除去することで、PVA製の血管鋳型（水に可溶）を構築した。この水溶性血管鋳型の表面に、PLCA樹脂（生体適合性・生分解性材料）と塩粒子（粒径：100um程度）を混合しクロロホルムで溶液化したものをコーティングして硬化させた。その後、水を用いて水溶性血管鋳型と塩粒子を溶解除去することで、多孔質のテラーメイドのPLCL製人工血管足場を構築した。

3) 評価班：以下に、評価班が本研究で取り組んだ具体的な主要研究課題とその研究方法について記述する。

① 医療技術および医療機器（カテーテル）の評価

医療行為およびカテーテルの特性評価を定量的に行なう手法を見出すべく、制御班から提供される光弾性応力計測システムを用いて、評価を行なった。

形状および物理特性のことなる4種類のカテーテル先端に5自由度の位置センサ（磁気型）を導入し、同位置情報に基づいて、カテーテル先端の軌道制御を行えるシステムを構築した。ここで、自動カテーテル操作器としてLSMシステム（制御班）を用いた。頸動脈領域を再現した血管立体モデルの内部で、予め定めた各種の軌道（カテーテル挿入経路）に従ってカテーテルを挿入させ、その際に血管に付与される応力情報を、光弾性応力計測システムによって計測した。この計測情報をもとに、適切なカテーテル挿入経路や

カテーテルの特性の相違等について評価を行なった。

4. 研究成果

以下、上記の研究方法にて記述した各研究項目について、研究の成果を記述する。

(1) 制御班

① 光弾性法による応力の定量評価技術の確立

提案手法により、カテーテル操作等の医療行為や血流によって術中に血管壁に付与される応力値を定量計測できることを確認した。血管モデルにカテーテルを挿入し、血管壁に 100kPa 程度の主応力（引張り）を付与した場合の計測誤差は、約 6%であり、血管内治療の評価系として有効であることを確認した。

現在、数値解析やひずみゲージ・圧力センサを用いた実験的手法により、術中の血管壁の応力状態を計測する方法は提案されているが、数値解析では実物のカテーテルを使用したリアルタイム評価を行えない。またモデル化の精度によって全く異なった結果が得られることが問題となっている。またひずみゲージや圧力センサでは取得できる情報が限られる。本評価系は、感度、精度、リアルタイム性の各面で優れ、医療の評価に大きく貢献できる。現在類似のシステムは他に無い。

② 光弾性法による応力の 3次元定量評価技術の構築

本研究により、血管壁に生じた応力を 3次元的に計測できることを確認した。まず、血管立体モデルを透光性の黄色に着色したことで、CTの原理に基づいて、青色波長成分から血管モデルの断面形状を復元できた。そして、この形状データと、光弾性撮影像から、同断面上の応力分布を計測できることを確認した。本手法によれば、前記の平面的な光弾性計測手法と異なり、主剪断応力に限らず、他の応力成分も計測できることを確認した。平面上の試験片（血管立体モデルと同一素材）に引張り応力を付与し、計測を行なった場合の最大剪断応力の解析誤差は 5.8%であった。

現在、数値解析によって、血管壁面全体の 3次元的な応力分布を求めることができるが、同手法には上記①で記した問題が伴う。本手法によれば、種々の医師の技術評価や医療機器の性能比較を詳細に行なうことが可能となり、その実現が血管内治療分野にもたらす影響は大きい。

③ 生体の拍動循環流および血圧変動の再現

本研究により構築したポンプシステムは、人体から取得した実際の拍動血圧波形（最低血圧：85.6mmHg、最高血圧：147mmHg、心拍数

54.5）を良好に再現した。血圧や流量に振動成分は見られなかった。圧力及び流量の変更は容易であった。同ポンプシステムを人体ロボットシステムに適用した結果、血管構造に拍動循環流と脈動を再現することができた。

現在、血圧、血流、血液温度が再現された拍動循環下で、血管内治療のシミュレーションを行えるシステム（動物実験に近いシステム）は現在他に無い。さらに本システムと、前記の光弾性計測システムの組み合わせによれば、医学分野での大きな関心事である、動脈瘤形状と破裂危険性の相関等について定量的な評価を行なうことができ（今後実施予定）、医学の発展に大きく貢献できる。

④ 拡張現実感技術による X線透視映像の再現

提案手法により、術中に得られる各種の手術映像（単純透視像、ロードマップ像、血管造影像等）をリアルタイム映像として良好に再現できた。本システムにより、X線を用いることなく、安全に医療技術の評価を行なうことが可能となった。医師らの評価により、構築したシステムは動物実験の代替環境として有用であることが確認された。

なお、本研究の過程で、人体ロボットシミュレータを実際の手術環境下で透視撮影した結果、人体と同様な透視映像が得られ、この方法での手術シミュレーションもまた非常に有用であることが確認された（本血管立体モデルを手術室内で透視撮影する方法により、2008年以降、日本脳血管内治療学会で専門医師の技術検定試験が行なわれている）

現在、医療技術トレーニング用のハードウェアシミュレータおよび、ソフトウェアシミュレータが提供されているが、本研究と同様な目的で拡張現実感技術を使用した例は他になく、技術の新しい応用方法を提案した。医学分野でのニーズを受けて本技術を今後実用化する予定である。

(2) 加工班

① 全身動静脈と周囲組織の再現

本研究により、脳領域の複合構造および冠状動脈構造（狭窄疾患を含む）を再現した。これによって、動静脈奇形、巨大動脈瘤、心筋梗塞症（血管狭窄症）等の治療のシミュレーションが可能となり、それらの各疾患に関する医学的評価が可能となった。

脳動脈、脳静脈、脳および頭蓋骨を特定個人の情報に基づいて全て再現したシミュレータは他になく、新たな手術シミュレータの形態を提案した。同シミュレータを2009年度のCNTT学会に出展した結果、医師および医療機器メーカーから注目を集め、今後のシミュレータの在り方（医療技術教育の在り方、

シミュレータに求められる特性、コストパフォーマンス等)につき議論が交わされた。

② 毛細血管の立体モデル化

本研究により、内径 100 μm 程度の円形断面を有する毛細血管領域のモデル化技術を確立した。特に、血管同様な膜状構造を有する細血管の立体モデル (内径 500 μm 程度) の加工技術を確立した。従来、リソグラフィ技術により四角形断面の流路を構築する技術は存在したが、円形断面の流路 (毛細血管) の立体モデルを構築する技術は存在しなかった。毛細血管モデルは現在他になく、本技術により、毛細血管を対称とした種々の新規医療法 (ドラッグデリバリー、細血管に対する血管内治療) のシミュレーションが初めて可能となる。今後は、毛細血管モデル同士、また毛細血管モデルと全身の主要動脈の血管立体モデルとを接合して実際同様な複雑系を構築し、手術の医療技術の評価に応用する。

③ 人工血管スキャホールドの構築

① 医療技術および医療機器 (カテーテル) の評価

本研究により、再生医療のための人工血管スキャホールドを、世界ではじめて患者の個人情報 (CT/MRI) 情報に基づいて構築した。同スキャホールドの縦弾性係数は、スキャホールドの多孔度 (すなわち塩粒子の添加量) に応じて調整でき、生体動脈壁の 2.0MPa を再現できた。また、HUVEC の培養試験により、構築したスキャホールドの生体適合性も確認された。今後は、動物実験による評価を通じて、臨床適用可能なスキャホールドの実現を目指す。

(3) 評価班

① 医療技術および医療機器 (カテーテル) の評価

形状および物理特性の異なる医療器具の性能や、カテーテル挿入経路による血管損傷の危険度を定量的に評価できることを確認した。現在医療分野では、各社各様の医療器具が提供されているが、医療器具の選択によって、術中および術後に異なった治療結果をもたらすため、これらを横断的かつ定量的に比較評価することが大切である。本研究成果は、この定量比較評価を初めて可能にする手法として有用である。今後より詳細な評価を行い、その結果を論文にまとめる予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① 池田 誠一, 岡田 雄太, 福田 敏男, 新井 史人, 根来 眞, 高橋 郁夫. 脳血管内手術シミュレーションのための個別型脳血管立体モデル: 第 3 報, 光弾性法による血管壁面応力の模擬術中計測.

日本機械学会論文集. C 編 74(743), pp.1914-1919, 2008.

- ② Seiichi Ikeda, Carlos Tercero, Toshio Fukuda, Yuta Okada, Fumihito Arai, Makoto Negoro, Motoharu Hayakawa, and Ikuo Takahashi. Patient-Specific IVR Endovascular Simulator with Augmented Reality for Medical Training and Robot Evaluation. Journal of Robotics and Mechatronics. Vol. 20 No. 3, pp. 441-448, 2008 (Peer Reviewed).
- ③ Carlos Tercero, Seiichi Ikeda, Toshio Fukuda, Kosuke Sekiyama, Yuta Okada, Tomomi Uchiyama, Makoto Negoro, Ikuo Takahashi. Robot Manipulation and Guidance using Magnetic Motion Capture Sensor and Software Maps. Journal of Robotics and Mechatronics. Vol. 20 no.1, 2008, pp. 151-158 (Peer Reviewed).
- ④ Tomoyuki Uchida, Seiichi Ikeda, Hiroyuki Oura, Mika Tada, Takuma Nakano, Toshio Fukuda, Takehisa Matsuda, Fumihito Arai. Development biodegradable scaffolds based on patient-specific arterial configuration. Journal of Biotechnology. Issue 2, 20, 2007 pp. 213-218 (Peer Reviewed).
- ⑤ Carlos Tercero, Yuta Okada, Seiichi Ikeda, Toshio Fukuda, Kosuke Sekiyama, Makoto Negoro, Ikuo Takahashi. Numerical evaluation method for catheter prototypes using photo-elastic stress analysis on patient-specific vascular model. International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery. Vol. 3:4 pp. 349-354, 2007 (Peer Reviewed).
- ⑥ Carlos Tercero, Seiichi Ikeda, Tomomi Uchiyama, Toshio Fukuda, Fumihito Arai, Yuta Okada, Y Ono, R Hattori, T Yamamoto, Makoto Negoro, Ikuo Takahashi. Autonomous catheter insertion system using magnetic motion capture sensor for endovascular surgery. International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery. Vol. 3 No. 1, pp. 52-58, 2007, (Peer Reviewed).
- ⑦ F. Arai, T. Nakano, M. Tada, Yu-Ching Lin, S. Ikeda, T. Uchida, H. Oura, T. Fukuda, T. Matsuda, M. Negoro. Fabrication of Cell-Adhesion Surface and Arteriole Model by Photolithography. Journal of Robotics and Mechatronics, 19-5, 2007, pp. 535 - 543, (Peer Reviewed).
- ⑧ Seiichi Ikeda, Fumihito Arai, Toshio Fukuda, Makoto Negoro, Keiko Irie, Ikuo Takahashi. Patient-Tailored Cerebral Arterial Model for Simulating Neurovascular Intervention (2nd Report, In Vitro Reproduction of Membranous Vascular Structure Accompanied with Elastic Deformation), Transactions of the Japanese Society of Mechanical Engineers, Series C, Vol. 72, No. 720, 2006), pp. 261-267 (Peer

Reviewed).

[学会発表] (計 21 件)

- ① Takuma Nakano, Keisuke Yoshida, Seiichi Ikeda**, Hiroyuki Oura, Toshio Fukuda, Takehisa Matsuda, Makoto Negoro and Fumihito Arai. Fabrication of Transparent Arteriole Membrane Models. Proc. of the Int' l Symp. on Micro-NanoMechatronics and Human Science, 2008 November 6-9, Nagoya, Japan.
- ② Motoki Matsushima, Yuta Okada, Seiichi Ikeda, Toshio Fukuda, Fumihito Arai, Makoto Negoro, Ikuo Takahashi. Photoelastic Stress Analysis on Patient-Specific Anatomical Model of Cerebral Artery by Reflection Method. Proc. of the Int' l Symp. on Micro-NanoMechatronics and Human Science, 2008 November 6-9, Nagoya, Japan.
- ③ 内田智之, 大浦裕就, 池田誠一, 中野琢磨, 新井史人, 根来真, 松田武久, 福田敏男. 磁性果糖ビーズの自己組織化を利用した多孔質生分解性足場の造形. ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2008年6月6日, 長野市.
- ④ 岡田雄太, 池田誠一, 福田敏男, 新井史人, 根来真, 高橋郁夫, カルロステルセロ. 反射法による患者個人対応型立体血管モデルの光弾性応力解析. ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2008年6月6日, 長野市.
- ⑤ 大浦裕就, 内田智之, 池田誠一, 中野琢磨, 新井史人, 根来真, 松田武久, 福田敏男. 孔密度の傾斜を有する多層構造の人工血管足場開発. ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2008年6月6日, 長野市.
- ⑥ 大浦裕就, 池田誠一, カルロステルセロ, 中野琢磨, 新井史人, 根来真, 松田武久, 福田敏男. 生体血管の力学的特性を有する人工血管足場の開発. 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008年9月9日, 神戸市.
- ⑦ 岡田雄太, 池田誠一, 松島幹, 福田敏男, 新井史人, 根来真, 高橋郁夫, カルロステルセロ. 患者個人情報に基づく脳血管立体モデルを用いた反射法による光弾性応力解析. 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008年9月9日, 神戸市.
- ⑨ Seiichi Ikeda, Fumihito Arai, Toshio Fukuda, Hiroyuki Oura, Makoto Negoro. Patient-Specific Blood Vessel Scaffold for Regenerative Medicine. Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 10-14 April 2007, Roma, Italy.
- ⑩ Tomoyuki Uchida, Hiroyuki Oura, Seiichi Ikeda, Takuma Nakano, Fumihito Arai, Makoto Negoro, Takehisa Matsuda, Toshio Fukuda. Development of biodegradable scaffolds by leaching self-assembled magnetic sugar particles. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 10-14 April 2007, Roma, Italy.
- ⑪ Yuta Okada, Seiichi Ikeda, Toshio Fukuda, Fumihito Arai, Makoto Negoro,

Ikuo Takahashi, Carlos Tercero . Photoelastic Stress Analysis on Patient-Specific Anatomical Model of Cerebral Artery . Proc. of the International Symp. on Micro-Nano Mechatronics and Human Science, 2007 November 11-14, Nagoya, Japan.

(他10件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称: 多層多孔足場及びその製造方法
発明者: 内田智之, 福田敏男, 大浦裕就, 池田誠一
権利者: 内田智之, 福田敏男, 大浦裕就, 池田誠一, 名古屋大学
種類: 特許
番号: 特願 2007-318906
出願年月日: 2007. 11. 11
国内外の別: 国内

名称: 多孔質足場
発明者: 大浦裕就, 福田敏男, 内田智之, 池田誠一
権利者: 大浦裕就, 福田敏男, 内田智之, 池田誠一, 名古屋大学
種類: 特許
番号: 特願 2007-318907
出願年月日: 2007. 11. 11
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

www. robo. mein. nagoya-u. ac. jp
www. imech. mech. tohoku. ac. jp/ index. html
www. fujita- hu. ac. jp/ index. html
www. fain- biomedical. com

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福田 敏男 (TOSHIO FUKUDA)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 70156785

(2) 研究分担者

新井 史人 (FUMIHITO ARAI)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 90221051

根来 真 (MAKOTO NEGORO)
藤田保健衛生大学・医学部・教授
研究者番号: 90115618