

07(IV)-18 複合型光ファイバシステムを用いた温度管理による血流遮断  
 - 熱電対を用いた in vivo 実験 -

○鈴木克征<sup>a,b</sup>, 長縄明大<sup>a</sup>, 岡潔<sup>b</sup>, 中村哲也<sup>c</sup>, 植田裕久<sup>c</sup>, 妻沼孝司<sup>d</sup>, 千葉敏雄<sup>e</sup>, 森戸義美<sup>f</sup>

<sup>a</sup>秋田大学, <sup>b</sup>日本原子力研究開発機構, <sup>c</sup>ペンタックス株式会社

<sup>d</sup>株式会社フジクラ, <sup>e</sup>国立成育医療センター, <sup>f</sup>株式会社関電工

Blood-flow interception by the temperature control  
 using the composite-type optical fiber system

- In-vivo experiment used thermocouple -

○ K. Suzuki<sup>a,b</sup>, A. Naganawa<sup>a</sup>, K. Oka<sup>b</sup>, T. Nakamura<sup>c</sup>,

H. Ueda<sup>c</sup>, K. Tsumanuma<sup>d</sup>, T. Chiba<sup>e</sup> and Y. Morito<sup>f</sup>

<sup>a</sup>Akita University, <sup>b</sup>Japan Atomic Energy Agency, <sup>c</sup>PENTAX Corporation,

<sup>d</sup>Fujikura Ltd., <sup>e</sup>National Center for Child Health and Development, <sup>f</sup>Kandenko C'o., Ltd.

Abstract : Recently, fetoscope laser photocoagulation has been increasingly used for treatment of twin-twin transfusion syndrome (TTTS). In this treatment, it is needed to appropriately keep the tip of laser fiber away from the placental surface, since the distance significantly influences to success in placental blood-flow interception. We developed a new laser surgery device using the composite-type optical fiber system which consists of a centrally located single fiber for vessel ablation and its surrounding fibers for imaging. Then, the device is expected to enable measuring the distance between fiber tip and placental surface with resultant accurate laser irradiation. In this paper, we describe the experimental results of temperature control during blood-flow interception of porcine mesenteric venous flow.

Key words : Fetal surgical treatment, Composite-type optical fiber, Temperature control, Blood-flow interception

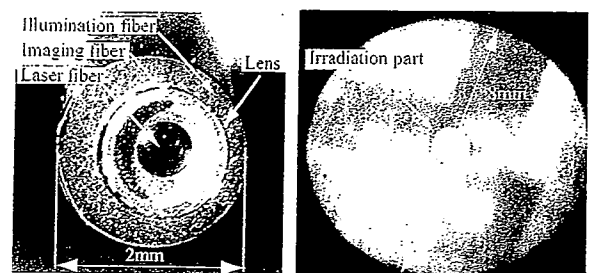
1. はじめに

近年、双胎間輸血症候群に対して、胎盤表面の吻合血管を内視鏡で観察しながらレーザーで焼灼して閉塞し、双胎間の血流を分離する治療が行われている。しかし、これまでの内視鏡装置では、血管表面とレーザーファイバ先端間距離を適切に保つことが必ずしも容易ではなく、またレーザーの出力値や照射時間、血流遮断の状況は医師の経験や直感に依存しているのが現状である。

そこで著者らは、焼灼用レーザーファイバを観察用ファイバの中心に配置した複合型光ファイバを用いたレーザー治療装置の研究開発を行っている<sup>1)</sup>。本装置では、常に視野中心に血管を捉えながら正確なレーザー照射を行えるだけでなく、距離計測を行うことができるためビームウエスト部での焼灼が可能であり、さらにレーザードップラー方式の血流計測装置を組み込んでいるため工学的に血流遮断を評価することができる<sup>2)</sup>。これまで豚レバーに対してレーザー照射部の温度管理を行いながらレーザー出力の制御を行ってきた<sup>3)</sup>が、本研究ではその効果を実際の血流で評価するため、豚の腸間膜血管に対して行った in vivo 実験の結果について述べる。

2. 複合型光ファイバシステム

複合型光ファイバシステムは、光ファイバコープ、レーザー発生装置、カップリング装置、PCなどで構成されている。Fig. 1は、焼灼用レーザーファイバを画像用ファイバの中心に配置した複合型光ファイバを示しており、写真(a)はファイバ先端を示している。焼灼レーザーの光ファイバ径はφ0.1mmに細径化し、その周囲に画像伝送用光ファイバを、さらに照明光を伝送するための光ファイバを周囲に一体化しつつ全体外径をφ2mmとした。ファイバ先端には、レーザーを集光させるために、また内視鏡画像の視野を広げるためのレンズが取り付けられている。レーザーは、IPG製のYb(イッテルビウム



(a) Fiber tip

(b) Endoscopic image

Fig. 1 Composite-type optical fiberscope

ム) ファイバーレーザー (発振波長は 1075nm) を使用している。(b) は内視鏡画像を示しており、直径約 8mm の視野の中心にレーザー照射部が見られる。レーザー照射は、PC により 0~50W をリアルタイムで調整できる。

### 3. 実験システム

Fig. 2 は、実験装置の構成を示している。本実験は、豚の腸間膜を開いて太さ約 0.5mm の静脈血管を取り出し、その血管を容器で囲み、常温の水を入れた in vivo 実験により行った。温度管理のための熱電対は、レーザーによる破損を防ぐため照射部より 1mm 下流の血管表面に設置し、センサ回路を介して照射部の温度情報を PC 内にフィードバックする。PC では、目標温度との偏差に基づき、PID コントローラにより適切な指令をレーザー装置に送り、レーザーの出力を制御して温度管理を行う。なお、本実験では、血管表面とファイバ先端間距離を 9mm とした。

### 4. 実験結果

Fig. 3 は、温度管理の結果を示している。本実験では、目標温度は 60℃ とし、制御時間は 20sec、レーザー出力の上限は 20W に設定した。図より、レーザー照射が開始されると同時に温度が上昇しはじめ、照射開始から約 8 秒後に目標温度 60℃ に到達していることがわかる。また、目標温度 60℃ に到達した後も ±1.5℃ 以内の精度で温度を保持できており、このときのレーザー出力は約 10W であった。これらの実験結果より、本制御システムでは適切な温度管理を実現できるといえる。

Fig. 4 は、照射後の血管の外観を示している。レーザー照射部においては血管が白く熱収縮しており、太さ約 0.5mm の血管の上流部には、血流が遮断されたことによる最大 0.63mm の血液の停留点が見られた。な

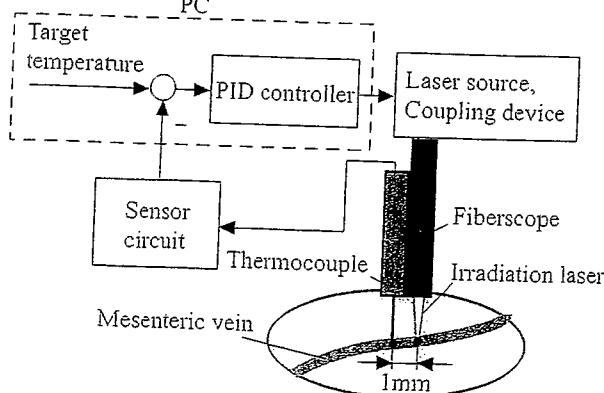


Fig. 2 Experimental system

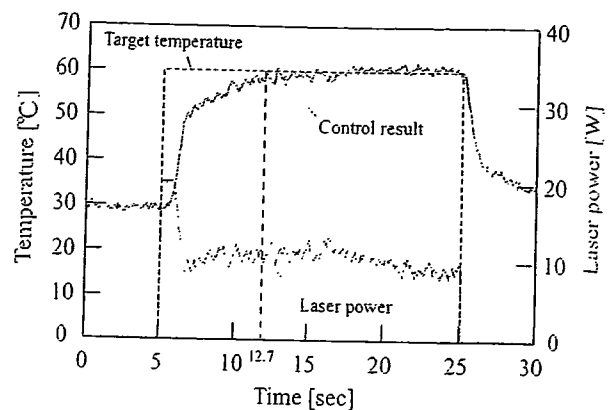


Fig. 3 Experimental result

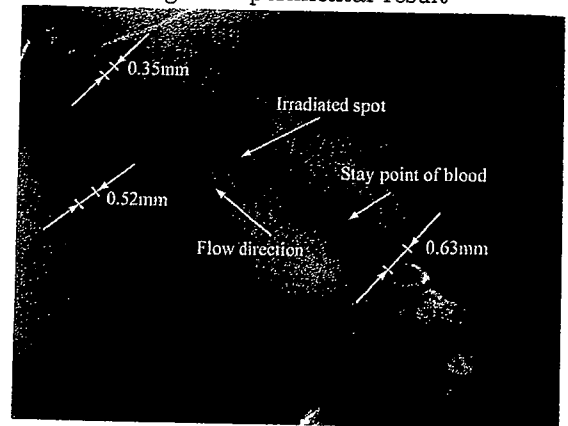


Fig. 4 Photograph of irradiated spot

お、下流部は血流が遮断されたことにより、血管の太さは 0.35mm となった。また、Fig. 4 の撮影後、照射部より下流の血管を切ったところ、血液が流れ出なかったため、血流は完全に遮断されていたことを目視により確認した。

### 5. おわりに

本研究では、レーザー照射部の温度管理を行いながら血流を遮断するために熱電対を用いたフィードバック制御系を構成し、in vivo 実験を行ったところ、良好な結果が得られた。今後の課題としては、太さの異なる血管や目標温度の設定、照射時間の検証などが挙げられる。

### 参考文献

- 1) K. Oka, T. Nakamura, K. Harada, Y. Ohkawa, T. Hidaka and T. Chiba, "Development of laser forceps for fetal surgical treatment", World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, pp.2976-2979, 2006.
- 2) 岡, 中村, 植田, 鳥谷, 妻沼, 長縄, 渡邊, 石山, 山下. 千葉: TTTS に対する FLPC のためのレーザー内視鏡の高機能化, 第 5 回日本胎児治療学会学術集会, 2007 年発表予定.
- 3) 長縄, 関, 岡, 千葉, 中村, 市倉, 森戸: 双胎間輸血症候群における胎児鏡レーザー照射制御, 計測自動制御学会第 7 回適応学習制御シンポジウム資料, pp.29-32, 2007.

07(XII)-51

## 3次元超音波画像を用いた内視鏡下胎児外科手術支援 近接覚提示システム

○中村 亮一<sup>a</sup>, 永瀬 優子<sup>b</sup>, 須藤 政光<sup>b</sup>, 若林 洋明<sup>b</sup>, 望月 剛<sup>b</sup>, 鈴木 浩一<sup>a,c</sup>,  
村垣 善浩<sup>a</sup>, 伊関 洋<sup>a</sup>, 佐久間 一郎<sup>d</sup>, 千葉敏雄<sup>e</sup>

<sup>a</sup>東京女子医科大学先端生命医科学研究所, <sup>b</sup>アロカ株式会社, <sup>c</sup>インフォコム株式会社,  
<sup>d</sup>東京大学大学院工学系研究科, <sup>e</sup>国立成育医療センター特殊診療部

### Collision Avoidance System for Endoscopic Fetal Surgery using 3D Ultrasound Imaging

Ryoichi Nakamura<sup>a</sup>, Yuko Nagase<sup>b</sup>, Masamitsu Sudo<sup>b</sup>, Hiroaki Wakabayashi<sup>b</sup>, Hirokazu  
Suzukawa<sup>c</sup>, Takashi Mochizuki<sup>b</sup>, Yoshihiro Muragaki<sup>a</sup>, Hiroshi Iseki<sup>a</sup>, Ichiro Sakuma<sup>d</sup>, and  
Toshio Chiba<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Institute of Advanced Biomedical Engineering and Science, Tokyo Women's Medical  
University, Tokyo Japan

<sup>b</sup> Aloka Co., Ltd, Tokyo Japan

<sup>c</sup> Infocom Corporation, Tokyo Japan

<sup>d</sup> Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, Tokyo Japan

<sup>e</sup> Department of Strategic Medicine, National Center for Child Health and Development,  
Tokyo Japan

**Abstract:** The major problem to establish safer endoscopic fetal surgery is that the surgical field and view is limited and a placenta is very soft and weak tissue. For example, Endoscopic Laser Treatment to coagulate vessels on placenta for twin-twin transfusion syndrome (TTTS) needs high technique and experience for surgeons to avoid collision with the placenta and other surrounding weak tissues. We developed new navigation system using 3D ultrasound images. It has distance map around placenta and sound alarming module. Phantom study shows that this system can inform surgeons the distance between the endoscope and the placenta without changing their view from endoscope display to navigation display.

**Key words:** twin-twin transfusion syndrome, Ultrasonography, Fetal Surgery, Navigation System

#### 1. はじめに

内視鏡下胎児外科手術の実現においてもっとも大きな問題点となる点は、その作業空間の狭さと子宮内組織の脆弱さである。たとえば双胎間輸血症候群(twin-twin transfusion syndrome, TTTS)において内視鏡下で臍帯・胎盤上の血管のレーザーによる処置を行う場合に、内視鏡の狭く奥行感覚の希薄な視野の中で、胎盤損傷による出血を回避するために胎盤への手術器具の接触を防止することが要求される。本研究では、3次元術野空間モデルを胎盤への距離に応じて細分化したマップを作成し、術具位置に応じて接触危険度を術者に提示するための新しい手術ナビゲーション「近接覚ナビゲーション」の開発を行った。

#### 2. 方法

##### システム構成とレジストレーション

本システムは3次元超音波画像診断装置(prosound α10, ALOKA Corp.)と手術ナビゲーションシステム(東京女子医大・東芝・インフォコム)により構成される。手術ナ

ビゲーションシステムは光学式3次元位置計測装置(Polaris Vicra, NDI)により実空間の術具位置を計測し、画像空間座標系との統合を行い画像上に術具位置を表示する。

画像空間と術具実空間とのレジストレーションには、プローブ位置測定マーカと治具を用いる(Fig.1)。治具にプローブをセットした状態で画像を取得し、画像上の4つの硬球頂点座標と実空間上の4つの硬球頂点位置をレジストレーションし、さらにプローブ位置測定マーカの位置姿勢情報を統合することで、術具のPolaris座標系での位置姿勢はプローブ位置測定マーカの位置姿勢情報を介し画像空間上での位置姿勢に変換される。プローブの位置姿勢がReferenceとなるため、レジストレーション後はプローブ・Vicraの位置姿勢の変更や画像更新を行っても、画像と術具の位置関係は保存される。

##### 近接覚マップ作成と警告提示

本モジュールではまず、超音波画像上の羊水領域セグメンテーションデータを読み込み、画像空間と術野空

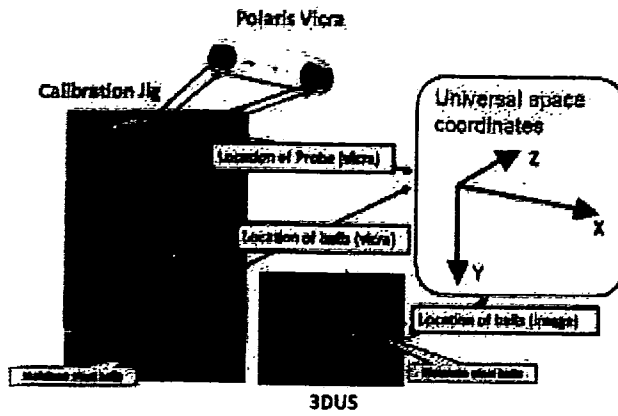


Fig.1 Registration jig and method

間とのレジストレーションを行ったナビゲーションシステム上において、セグメンテーションされた羊水データ $V_0$ の輪郭面 $S_0$ 状の各点 $P_0$ と腹壁上の術具挿入孔 $C$ とを結んだベクトル群を設定する。次に各ベクトルを指定量 $\Delta t$ だけ短縮し、ベクトル先端を結んだ面 $S_{\Delta t}$ を作成する。この2つの面で囲まれた領域 $V_{\Delta t}$ は、術者視線方向から考えて、羊水輪郭部すなわち子宮内壁・胎盤・胎児からの距離が $\Delta t$ 以下の領域となる。複数の $\Delta t$ を設定して領域を作成しこれらをカラーマップしナビゲーション画像上に重畳することで、子宮内組織から術具先端までの距離を直感的かつ定量的に医師に提示することが可能となる。

術中に医師は内視鏡画面に注視しているため、超音波診断装置やナビゲーション画面で胎盤までの距離を継続的に確認することは不可能である。そこで、近接覚マップの各エリアに応じて警告音を発することで、内視鏡画面に集中した状態で胎盤までの距離を認識可能にした。

### 3. 結果

#### レジストレーション精度

医師3名と技術者5名による画像レジストレーションにおける、4点硬球座標マッチング平均誤差と最大誤差を示す。ナビゲーションシステム使用経験者4名(医師3名と技術者1名)と未経験者4名のレジストレーション誤差平均および分散に有意差はなく、安定したレジストレーション結果を示した。

Table.1 Average/Max Error of registration

	平均誤差	最大誤差
ナビ経験有り(n=12)	0.55±0.17	1.39
ナビ経験無し(n=12)	0.62±0.26	1.55

#### ファントム実験

シリコンゴムファントムを胎盤に見立て水槽内に設置し、3D超音波画像を取得後にナビゲーションを行った。ファ

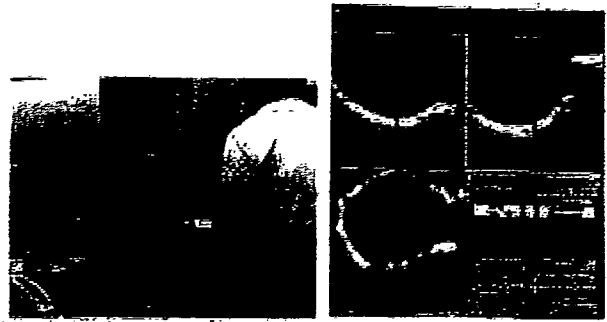


Fig.2 Phantom experiment of Collision Avoidance System. Right: overview of phantom experiment. Left: Navigation view of Collision Avoidance System. Distance color map is overlaid on the 3D ultrasound images of phantom.

ントム上に描かれたラインを内視鏡で追尾するタスクを、ナビゲーション併用と非併用の条件で行った。近接覚マップはファントム表面からの距離がそれぞれ0-5mm、5-10mm、10-20mmの領域で設定した。ナビゲーション併用時、医師は内視鏡画面を注視しながらファントムまでの距離を定量的に理解することが可能であった(Fig.2)。

### 4. 結論

手術機器と脆弱な胎盤との接触を回避し、安全な内視鏡下胎児外科手術実現を支援するナビゲーションシステムを開発した。4点硬球治具でのレジストレーションは近接覚提示に十分な精度を有しており、ファントム実験では良好な距離認識補助能力を有していることが示唆された。

#### 謝辞

本研究は厚生労働科学研究費補助金医療機器開発推進研究事業:身体機能解析・補助・代替機器開発研究「ハイリスク胎児の子宮内手術におけるナノインテリジェント技術デバイスの開発研究」の助成を受けた。

#### 文献

- 1) R. Nakamura, H. Suzukawa, Y. Muragaki, H. Iseki, Neuro-navigation system with colour-mapped contour generator for quantitative recognition of task progress and importance, Int J CARS, 1(suppl):489, June, 2006

# Development of robotic patch-stabilizer using wire driven mechanism for minimally invasive fetal surgery

B. Zhang\*, K. Harada\*\*, M. Yanagihara\*, Y. Kobayashi\*, J. Okamoto\*\*\*, T. Chiba\*\*\*\*, S. Enozawa\*\*\*\*\*, M.G. Fujie\*\*\*\*\*

\* Graduate school of Science and Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan

\*\* CRIM Lab, Polo Sant'Anna Valdera, Scuola Superiore Sant'Anna Viale Rinaldo Piaggio, Pontedera, Italy

\*\*\* Consolidated Research Institute for Advanced Science and Medical Care, Waseda University, Tokyo, Japan

\*\*\*\* Department of Strategic Medicine, National Center for Child Health and Development, Tokyo, Japan

\*\*\*\*\* Department of Strategic Medicine, National Research Institute for Child Health and Development, Tokyo, Japan

\*\*\*\*\* Faculty of Science and Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan

zhangbo@suou.waseda.jp

**Abstract:** The clinical target of this study is intrauterine patch coverage of fetal myelomeningocele. The collagen patch is supposed to be stabilized onto the fragile fetal tissue during the laser fixation process. This paper shows the development of robotic patch-stabilizer using wire driven mechanism (2 D.O.F, Max bending angle is 45[deg]). The diameter of the stabilizer's shaft is 2.4[mm] and the length of the stabilizing part is 60[mm]. The stabilizer is driven by the wire and the tension of wires is measured by the drive unit outside of the body to estimate the force on the tip. The force on the tip was estimated by the wire tension with 3.5 % error between the estimated value and the measured value. In addition, the design of new drive unit realizing the precise motion is shown in this paper.

## Introduction

In recent years, the fetal disorders have been discovered extremely early by the progress of therapeutic apparatus such as an ultrasound and MRI diagnosis apparatus. After that, a minimally invasive fetal surgery has been used to treat some disorders in recent years. The tools are required to insert into the uterine wall from the small incision in this kind of surgery. The virtual applications and the results of the surgery have been shown [1].

Myelomeningocele is a kind of disorder that the nerve gets into the liquor amnii from the dysplasia of the fetal backbone and the spinal canal. This affection could cause damages of the postnatal brain and the lower part of the body. A patch protects the effected part in order to avoid any irritations of the nerve, which is attached as the temporarily treating method that was used before childbirth. It is required to stabilize the collagen patch onto the fragile fetal skin tissue with appropriate force and to fixed the patch by using laser.

## The fetal patch surgery system

For the fetal patch surgery, we propose the system, which is shown in Fig. 1. The endoscope, the stabilizer and the laser manipulator are inserted into uterus. The patch is pressed by the robotic patch-stabilizer on the surface of the

lesion that cropped out into liquor amnii. Then, the patch protecting lesion temporarily is fixed in fetal cutis by the laser manipulator.

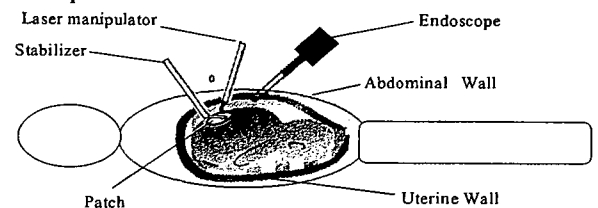


Fig.1 Patch Surgery System

This study is aimed to the development of a stabilizer, which holds a collagen patch with appropriate stabilizing force. The technical problem is the method of controlling the force of a stabilizing patch onto the fragile fetal skin.

After the previous descriptions, the stabilizer is required to estimate the force on the tip part. However, the direct measurement on the tip part is very difficult as it is not preferable to use a sensor in the body for security reasons. As a solution, the stabilizer is driven by the wire and the tension of wires is measured by the drive unit outside of the body to estimate the force on the tip.

This paper shows the development a prototype of the stabilizer which has been developed into two degree of freedom from the required specifications. The relation of the force sensor and the wire which we installed in the tip has been measured in the static state and inspected the precision.

## The Specification of Stabilizer

The specifications of the robotic patch-stabilizer could be conclude as: (1) The shaft diameter is required to be under 3[mm] that is able to insert a trocar with a diameter of 3[mm], because that the amniotic cavity breakdown raises the danger of abortion. (2) The length of the stabilizing part is more than 60[mm] in order to stabilize the collagen patch onto the lesion ( $\phi 40$ [mm]~60[mm]) of myelomeningocele in an embryo of pregnancy of 20-25 weeks. (3) Bending and moving the angle that is needed, because of the limited movement space taken by the placenta. (4) The precise force control stabilized the patch, which is required in order to avoid any damages on fetal tissue.

## Mechanism of the patch-stabilizer

Figure.2 shows the developed robotic patch-stabilizer.

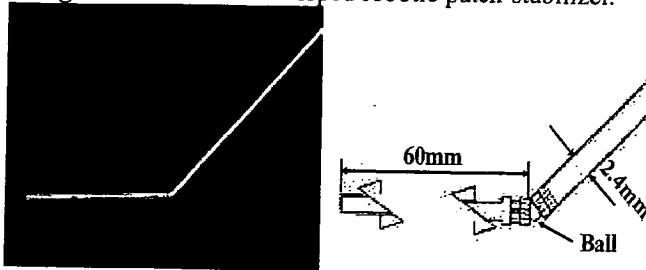


Fig. 2 The tip of the Patch-stabilizer

The developed patch-stabilizer uses a wire driven mechanism that achieves two bending degrees of freedom with the use of one ball joint-shaped arthrosis. The same mechanism introduced in [1] is used for joint part.

As shaft diameter required, which is to be inserted into the trocar for the fetal, the diameter of the stabilizer's shaft is 2.4[mm], the maximum width is 2.4[mm], and the thickness is 1.5[mm]. The length of the stabilizing part has been designed as 60[mm], because that the diameter of the lesion is 40[mm]~60[mm].

## The force sensing

The aim of this study is to control the force sensing of less than 500[Pa] because it has been reported from a preliminary research[2] that the fetal cutis will not be damaged under the force of 500[Pa]. In this paper, the accuracy of estimated force has been confirmed by using one degree of freedom.

The distributed force is loaded on stabilizer in clinical application. Therefore, the stabilizing force should be evaluated by the pressure. However, as a first approximation, a piece of concentration load was measured in a static state in this paper.

Fig.3 shows the experiment installation of the force sensing experiment. A force sensor was set the tip to measure the stabilizing force. The force of around 2-20% for 500[Pa] of preliminary research [2] inspected by this experiment was measured with seven times. Therefore the relation of force that was obtained between the force sensor and tension sensor, and also the accuracy of estimated force has been measured.

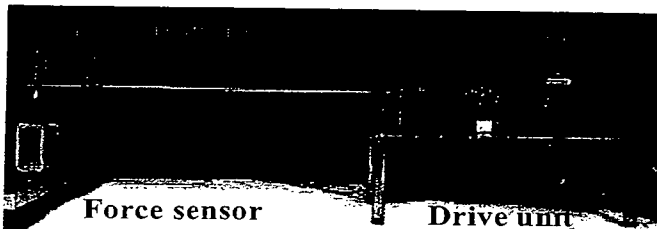


Fig. 3 The experimental overview of Stabilizer prototype

Figure.4 shows the results of experiment. The certain relation has been shown between the obtained force through the sensor, which contacted at the tip of stabilized part and the measured force from the tension's sensor. An error is occurred at 33.2% when the value of a wire's tension is small, and an error decreases into 3.5% when tension of a wire increases. The interference between wires is considered as an error.

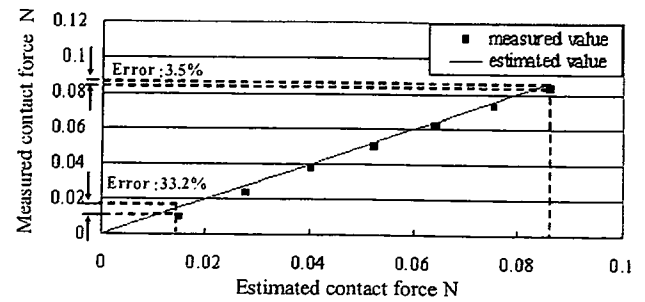


Fig.4 The relation between force calculated from the tension sensor (X axis) and force measured from force sensor (Y axis).

In addition, influence of a noise of a sensor is large when the measured tension value is small.

## New drive unit

In order to control the force of pressing the patch more precisely, a new drive unit is currently developed, which is designed with the length of 85mm, the width of 70.4mm and the height of 50mm. In the new drive unit, the precise movement will be realized. This is because that two AC motors with large reduction ratio is used to control stabilizer. *in.vivo* experiment will be carried out using the new drive unit.

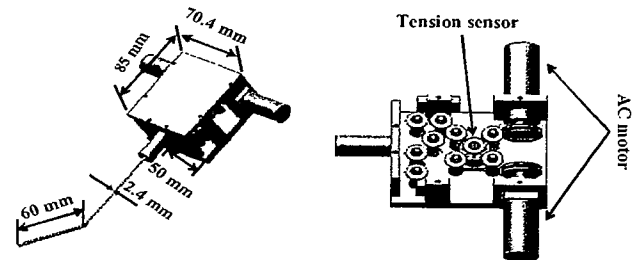


Fig.5 The new Drive Unit

## Conclusion

In this paper, a robotic patch-stabilizer using wire driven mechanism has been developed to hold the patch with the precise stabilizing force. Additionally, using the developed stabilizer, the accuracy of estimated force has been confirmed by using one degree of freedom. The designed new drive unit is introduced. In further work, the new drive unit will be developed and *in. vivo* experiment will be carried out.

## Acknowledgement

This work was supported in part by the 21st Century Center of Excellence (COE) Program "The innovative research on symbiosis technologies for human and robots in the elderly dominated society", Waseda University, Tokyo, and the study preparations were provided from Department of Strategic Medicine, National Center for Child Health and Development.

## References

- [1]Shigeki Ono, Shizuo Oi, "Japanese Journal of Pediatric Surgery", Jun.2005 Volume 37 Number 6
- [2]Kanako Harada, Bo Zhang, Shin Enosawa, Toshio Chiba, Masakatsu G.Fujie, "Bending Laser Manipulator for Intrauterine Surgery and Viscoelastic Model of Fetal Rat Tissue", ICRA2007, pp.611-616

# Sound Navigation System for Collision Avoidance Using 3D Ultrasound Imaging in Endoscopic Fetal Surgery

Ryoichi Nakamura<sup>a</sup>, Yuko Nagase<sup>b</sup>, Masamitsu Sudo<sup>b</sup>, Hiroaki Wakabayashi<sup>b</sup>, Hirokazu Suzukawa<sup>a,c</sup>, Mikiko Hara<sup>a,d</sup>, Takashi Mochizuki<sup>b</sup>, Yoshihiro Muragaki<sup>a</sup>, Hiroshi Iseki<sup>a</sup>, Ichiro Sakuma<sup>e</sup>, and Toshio Chiba<sup>f</sup>

<sup>a</sup>Institute of Advanced Biomedical Engineering and Science, Tokyo Women's Medical University, Tokyo, Japan, <sup>b</sup>Aloka Co., Ltd, Tokyo, Japan, <sup>c</sup>Infocom Corporation, Tokyo, Japan, <sup>d</sup>Major in Integrative Bioscience and Biomedical Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan, <sup>e</sup>Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, <sup>f</sup>Department of Strategic Medicine, National Center for Child Health and Development, Tokyo, Japan

## Introduction

The major hindrances in establishing a safer endoscopic fetal surgery are the limited surgical field and view and the fact that placenta is an extremely soft and weak tissue. For example, endoscopic laser coagulation of placental vessels for twin-twin transfusion syndrome (TTTS) requires a highly advanced technique and surgical experience in order to avoid collision with the placenta and other surrounding weak tissues. We have developed a new navigation system using 3D ultrasound images to avoid damage to placenta etc. This system informs the surgeons about the distance between the endoscope and the placenta by producing an alarm sound. (Fig.1)

## Methods

### Configuration of the 3D ultrasound navigation system and registration

This system comprises 3D ultrasonography system (3DUS; Prosound™ α10; Aloka Co., Ltd) and a navigation system (PRS Navi, TWMU; Toshiba Medical Systems, Infocom). In the navigation system, the location of surgical instruments such as an endoscope is measured using an optical tracker (Polaris Vicra™, NDI) and displayed on 3D ultrasound images after registration between the optical tracker field and the images field. (Fig.2)

We constructed a calibration jig for registration between the locations of surgical instruments (optical tracker field) and the image. The locations of the tip of 4 steel balls were used for registration between the 3DUS probe location and image. The location of the endoscope was displayed on the 3DUS images by using the registration information and the location data of the endoscope and 3DUS probe measured by Polaris Vicra. (Fig.3)

### Generation of a distance map for collision avoidance alarm

To generate a quantitative map denoting the distance between the placenta and endoscope, a 3D model of uterus was defined in order to decide the border between the tissues and amniotic fluid. The 3D amniotic fluid region was automatically divided into

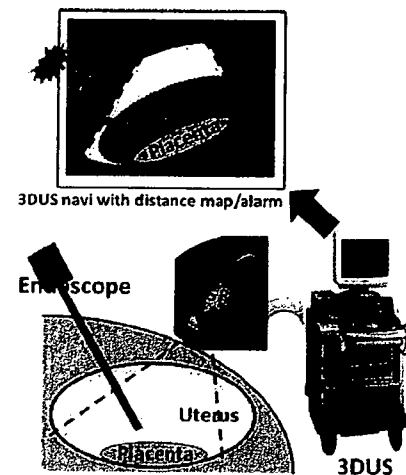


Fig.1 Concept of sound navigation system for collision avoidance. A colored distance map is generated for the region around the placenta, and this system informs the surgeon about collision risk by using this map and an alarm sound.

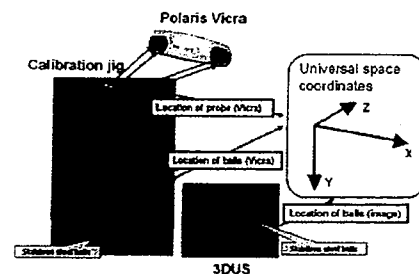
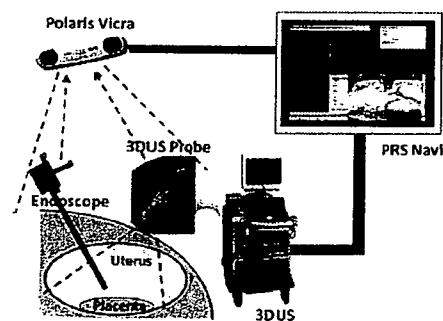


Fig.3 Registration the jig and the method used

several regions by using the information about the distance between the contour of the placenta and the tip of the endoscope. However, during treatment, surgeons have to concentrate their attention on the endoscopic view. Therefore, the information displayed on the 3DUS navigation screen cannot be noted continuously by the surgeon. Hence, we employed sounds that vary with the distance to inform surgeons about the distance.

### Results

We attempted basic experiments using the placenta phantom and the sound navigation system. A silicon rubber phantom (placenta phantom) was placed in a water tank (uterus phantom). Surgeons were instructed to follow a red line on the placenta phantom by viewing through the endoscope with/without the support of the sound navigation system. The distance map was set to 4 regions based on the distance of the endoscope from the placenta phantom surface: for regions 1 to 4, this distance was 0~5, 5~10, 10~20, and >20 mm, respectively. Surgeons could realize the distance between the placenta phantom surface and the tip of the endoscope quantitatively and intuitively when using the sound navigation system.

### Conclusion

We have thus developed a surgical navigation system for collision avoidance to be applied for weak organs. The 3DUS system, distance map generator, and sound alarming module can provide quantitative and intuitive information regarding the damage risk to the surgeon. This system can help improve the surgical safety of endoscopic fetal surgery.

### Acknowledgement

This research was supported by a Health Labour Science Research Grant for Medical Devices for Analyzing, Supporting, and Substituting the Function of Human Body from the Ministry of Health, Labour and Welfare.

### References

- 1) R. Nakamura, H. Suzukawa, Y. Muragaki, H. Iseki, Neuro-navigation system with colour-mapped contour generator for quantitative recognition of task progress and importance, *Int J CARS*, 1(supple1):489, June, 2006

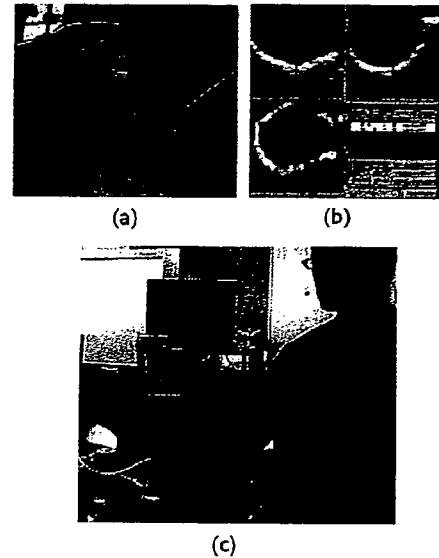


Fig.4 Phantom Experiment. (a): Uterus phantom (silicon rubber phantom and water tank). (b): Distance map generated from the 3DUS phantom data. The red region is closer to and the green region is away from the endoscope. (c): Overview of the experiment. The surgeon saw only through the endoscope and was aware of the distance information by means of the alarm sound.



# Image mapping system of placenta using endoscopic image mosaics for intra-uterine Twin-to-Twin Transfusion Syndrome (TTTS) treatment

Hongen Liao<sup>a</sup>, Shunjun Lee<sup>b</sup>, Masayoshi Tsuzuki<sup>a</sup>, Etsuko Kobayashi<sup>a</sup>, Takeyoshi Dohi<sup>c</sup>, Toshio Chiba<sup>d</sup>, Ichiro Sakuma<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Graduate School of Engineering, the University of Tokyo*

<sup>b</sup>*Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo*

<sup>c</sup>*Graduate School of Information Technology and Science, the University of Tokyo*

<sup>d</sup>*National Center for Child Health and Development, Japan*

*7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656 Japan*

*liao@bmpe.t.u-tokyo.ac.jp*

## **Introduction**

Twin-to-Twin Transfusion Syndrome (TTTS) is a disease of the placenta that affects identical twins who share a single placenta. The syndrome occurred in the vascular communications between the fetuses in a monochorionic gestation. This serious condition occurs when the shared placenta contains abnormal blood vessels which connect the twins, resulting in an imbalanced flow of one twin to another. Nowadays, several types of technique including amniotic septostomy, amnio reduction and laser photocoagulation are developed for the syndrome's treatment. Laser photocoagulation is one of useful method, which gives a good survival and a low complication rate to the twins. In this method, a laser fiber and an endoscope are inserted into the uterus. With the guidance of ultrasound and direct video, specific vessels that cause the blood-sharing problem are coagulated using a laser fiber to stop the imbalanced flow of blood between the twins. Thus precision laser treatment requires the accurate position information of the vessels.

In current laser photocoagulation treatment, the connecting vessels are identified by visual measurement based on endoscope image. However, the narrow viewing area of endoscope makes the surgeon difficult to grasp the whole picture of placenta and decide whether the blood vessels that being observed

is one of the connecting vessels or not. As a result, the surgical success relies on the surgeon's ability in memorizing the blood vasculatory system on the placenta surface, leaving a risk of missing some connecting vessels.

## **System and Method**

To improve the safety and accuracy of laser photocoagulation treatment for TTTS, we have been developing an image mapping system for mapping the endoscope image to a 3D model of the placenta. This system will provide the overall image of placenta and enable the surgeon to perform identification of the connecting vessels.

Our system consists of an endoscope, an ultrasound device, a 3D position tracking system and a computer. The endoscope is used to capture images of placenta surface, and the ultrasound is used to obtain the whole information of the placenta (Fig.1). We use the 3D position tracking system to obtain the position and orientation of the endoscope and the probe of ultrasound. These position and orientation of the probe will be used in estimating the position and orientation of placenta. The computer is used to integrate the position information, the captured image of the endoscope, and the 3D ultrasound data of the placenta. The images of placenta surface are captured by endoscope and the 3D model of placenta is created by the reconstruction of ultrasound image. The captured endoscope

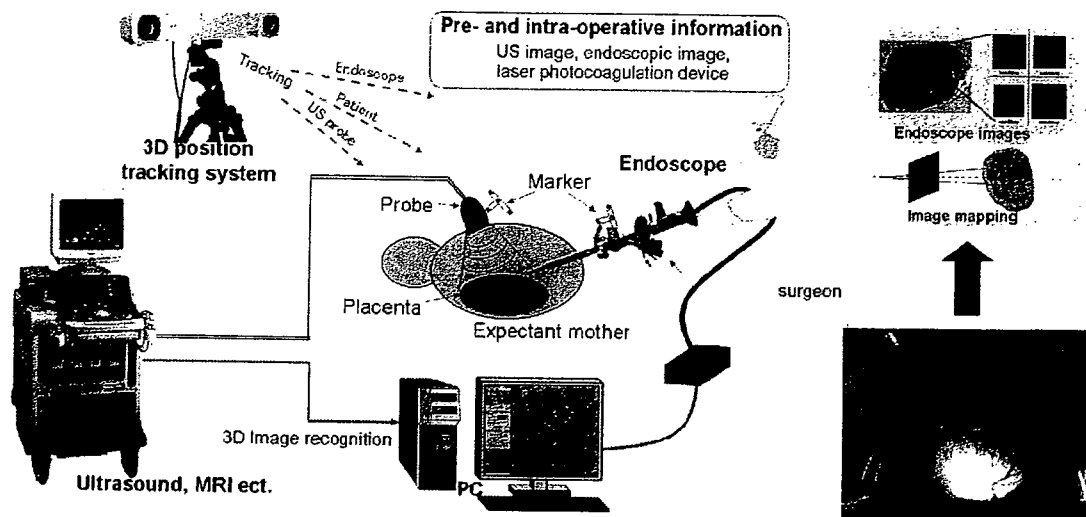


Fig. 1 System configuration.

images are projected on the 3D ultrasound model and the combined results of the placenta is displayed in three-dimensionally.

Since the fish-eye lens of the endoscope camera make a barrel type spatial distortion, compensation for the distortion of the image is required in the image mapping to enable accurate measurement and registration. The image correction is performed only to the image area of a circle shape. Active contour method is used to extract the image. We calculate the corresponding positions of points on image data and placenta model to map the images onto the placenta. After obtaining the corresponding positions, we map the images onto the placenta model and display the results in three-dimension. The endoscope is assumed as a pinhole camera model. Each pixel on the images data are mapped onto the triangle patches through the focal point of the endoscope.

### ***Experiment and results***

We used a placenta model with red and blue vessels simulated to vein and artery, as the object in performing experiment to test our placenta mapping system. The placenta model was inserted into a container which illustrated the uterus. We modeled the placenta surface

using 3D-Slicer from ultrasound image data, and converted the surface configuration to triangle patches using VTK. Furthermore, we mapped the corrected endoscope images to the surface model. The result of mapped images in three-dimensional image was generated using OpenGL. From these results, we found that this mapping system will be effective enough in providing a large-scale image of the placenta and enabling a surgeon to get the information in convenient way.

Experimental results show that the system could provide the overall image of placenta and give a promising support to surgeon for performing identification of connecting vessels and executing the laser photocoagulation treatment. The image mapping system can provide three-dimensional large-scale image of placenta surface, which enables surgeon to observe the vessels of the twins without any need of memorizing. Our future works include improving the accuracy of the image mapping to smoothen the mapped image results. Furthermore, we are going to improve the speed of the image mapping and test the system in an in vivo experiment.

This study was supported in part by the Grant-in-Aid of the Ministry of Health, Labour and Welfare in Japan.

# 第7回日本VR医学会学術大会 プログラム・抄録集

## 「VR医学のHapticsへの展開」

会期：平成19年9月1日（土）  
（8月31日（金）夜に、懇親会並びに学術展示・企業展示を開催）

会場：慶應義塾大学三田キャンパス 北館ホール

大会長：森川 康英（慶應義塾大学医学部小児外科）

**双胎間輸血症候群の子宮内治療における胎盤表面のマッピングシステムの開発**

○都築 正宜<sup>1)</sup>, 廖 洪恩<sup>1)</sup>, トウア ナモラ ナインゴラン<sup>2)</sup>, 李 昇俊<sup>2)</sup>,  
小林 英津子<sup>1)</sup>, 土肥 健純<sup>3)</sup>, 佐久間 一郎<sup>1)</sup>, 千葉 敏雄<sup>4)</sup>

- 1) 東京大学大学院工学系研究科
- 2) 東京大学大学院新領域創成科学研究科
- 3) 東京大学大学院情報理工学系研究科
- 4) 国立生育医療センター特殊診療部

双胎間輸血症候群は、一卵性双胎に起こる疾病であり、双胎児の胎盤血管が吻合することにより双子の間で血液の不均衡が生じることで発症する。現在、この疾患に対する低侵襲な治療法の一つとしてレーザー焼灼療法が注目されている。この治療法では、医師が内視鏡で胎盤表面をたどり、目視で吻合血管の同定を行う。吻合血管と判断された部位は、レーザーで焼灼して不均衡な血流を遮断させる。ここで、内視鏡の視野は狭く、吻合血管の同定に必要とする全体的な胎盤上の血管系を把握するには、医師の記憶に頼らざるを得ない。これでは、医師の負担も大きく、吻合血管を見落とす可能性を無視できない。そこで我々は、双胎間輸血症候群の治療法であるレーザー焼灼術の効率・安全性を向上させるために、内視鏡画像を胎盤モデルにマッピングする、胎盤表面マッピングシステムを開発してきた。このシステムにより、胎盤の全体像が把握でき、医師の吻合血管同定が容易になる。本システムは、内視鏡、超音波診断装置、光学式三次元位置計測装置とコンピュータから成る(図1)。胎盤表面画像は内視鏡で取得する。超音波診断装置で術中の胎盤の三次元形状を取得する。光学式三次元位置計測装置では内視鏡及び超音波プローブの位置・姿勢を得られる。この位置データがあれば、超音波で取得した胎盤モデルの位置と姿勢が求められる。得られた全てのデータはコンピュータに転送し処理する。コンピュータではまず内視鏡画像の歪みを補正し、マッピング可能な画像にする。続いて画像から内視鏡視野の円形領域を抽出する。これには active contour 法を用いる。

マッピングを行うためには、まず三角形のパッチで構成された胎盤のサーフェスモデルが必要である。今回の実験では、胎盤モデルを得るのに、超音波診断装置の代わりにMRIを用いた。内視鏡はピンホールカメラモデルであると仮定して、画像上の全ての点に対応する胎盤モデル上の点を求め、マッピングを行い、結果を三次元で表示した。結果を図2に示す。本マッピングシステムにより、大規模な胎盤表面画像を十分効果的に提示でき、医師にとっても簡単に情報が得やすい画像を表示することが可能であった。今後は、精度の良い内視鏡の使用、照明むらの補正等によりマッピング画像の質を改善し、更には、マッピングの精度、速度を向上させ in vivo の実験を行う予定である。

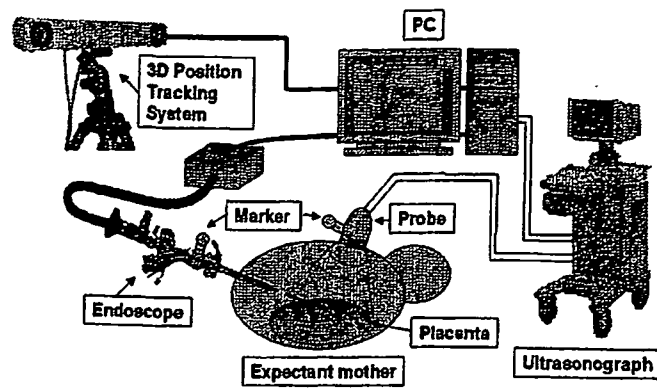


図1. 胎盤マッピングシステムの構成

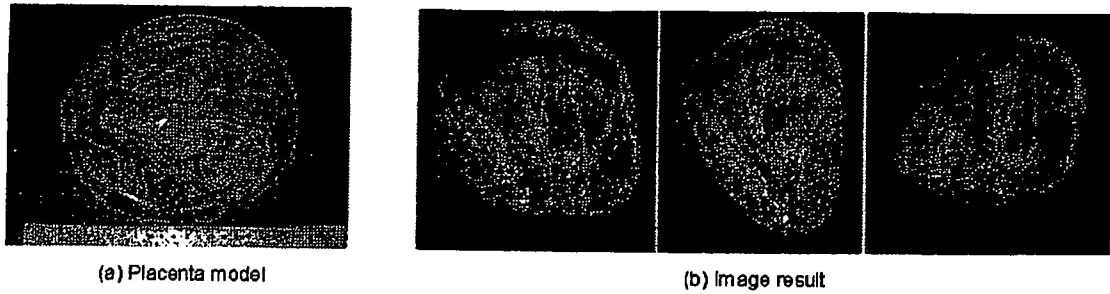


図2. 胎盤モデル(a)とマッピングの結果(b)

# 第3回3次元超音波研究会 抄録集



2007年9月29日(土)

会場：国立成育医療センター 1F 講堂

主催：3次元超音波研究会

後援：社団法人 日本超音波研究会

日本産婦人科ME学会

## 双胎間輸血症候群の治療における3次元超音波画像を用いた胎盤表面のマッピングシステムの開発

○都築 正宜<sup>1)</sup>、 廖 洪恩<sup>1)</sup>、 李 昇峻<sup>2)</sup>、 小林 英津子<sup>1)</sup>、 望月 剛<sup>3)</sup>、  
千葉 敏雄<sup>4)</sup>、 佐久間 一郎<sup>1)</sup>

- 1) 東京大学大学院工学系研究科
- 2) 東京大学大学院新領域創成科学研究科
- 3) アロカ(株)
- 4) 国立成育医療センター特殊診療部

双胎間輸血症候群(TTTS)は、一卵性双胎で、双胎児の胎盤血管が吻合し双胎間で血液の不均衡が生じる疾病である。この治療法の一つにレーザー焼灼療法がある。この方法は、医師が内視鏡で胎盤表面を辿り、目視で吻合血管の同定を行い、レーザーで焼灼し血流を遮断する。一方、内視鏡の視野は狭く、吻合血管の同定に必要な胎盤上の全体的な血管系を把握するのは難しい。そこで我々は、3次元超音波診断装置を用いた胎盤表面マッピングシステムを開発した。このシステムにより胎盤の全体像が把握でき、医師の吻合血管同定が容易になる。本システムは、内視鏡、超音波診断装置、光学式三次元位置計測装置とコンピュータから成る。内視鏡及び超音波プローブの位置・姿勢を光学式三次元位置計測装置で計測する。術中の胎盤の三次元形状は3次元超音波で取得する。超音波プローブの位置情報から、超音波で取得した胎盤形状モデルの位置と姿勢が求まる。続いて胎盤表面画像を内視鏡で撮影する。内視鏡画像は歪み等を補正し、胎盤モデルにマッピングする。

胎盤ファントムを用いてマッピングを行ったところ、このシステムにより、大規模な胎盤表面画像を十分効果的に提示でき、医師が簡単に情報を得やすい画像を表示できた。同時に、寒天で作ったファントムでマッピング位置の精度を評価したところ、平均7.5mmの誤差を認めた。今後、マッピング画像の質の改善、及び精度の向上を検討する必要がある。

## 内視鏡下胎児外科手術における3次元超音波画像を用いた組織近接覚提示法

○中村亮一<sup>1)</sup>、永瀬優子<sup>2)</sup>、須藤政光<sup>2)</sup>、若林洋明<sup>2)</sup>、望月剛<sup>2)</sup>、鈴木浩一<sup>3)</sup>、村垣善浩<sup>1)</sup>、伊関洋<sup>1)</sup>、千葉敏雄<sup>4)</sup>、佐久間一郎<sup>5)</sup>

- 1) 東京女子医科大学先端生命医科学研究所
- 2) アロカ株式会社
- 3) インフォコム株式会社
- 4) 国立成育医療センター 特殊診療部
- 5) 東京大学大学院工学系研究科

はじめに：内視鏡下での胎児外科手術を実現するための術式安全性向上には、狭視野・脆弱な奥行感覚に起因する不意の術具接触による胎盤等子宮内組織損傷を避けるための支援システムが重要である。本報では、3次元超音波画像情報を元に、術具の子宮内組織への接近度合(近接覚)を提示する技術について報告する。

方法：近接覚提示システムは3次元超音波画像診断装置(prosound  $\alpha$ 10, ALOKA)と手術ナビゲーションシステム(東京女子医大・東芝・Infocom)により構成される。術中に取得した3次元超音波画像から羊水領域を抽出し、この領域を胎盤表面からの距離により細分化した距離マップを作成し、ナビゲーション画面上にカラーマップ重畳表示することで直感的な胎盤からの距離確認を可能にした。さらに、術中に医師は内視鏡画面に注視し距離を継続的にナビゲーション画面で確認することは不可能であるので、距離マップの各エリアに応じた警告音を発することで胎盤までの距離を音声で認識可能にした。

結果：シリコンゴムファントムを胎盤に見立て水槽内に設置し、ファントム上に描かれたラインを内視鏡で追尾するタスクを、ナビゲーション併用と非併用の条件で行った。ナビゲーション併用時、医師は内視鏡画面を注視しながらファントムまでの距離を音により定量的に理解することが可能だった。



# 第5回 日本胎児治療学会

## 会期

2007年10月19日(金) 20日(土)

## 会場

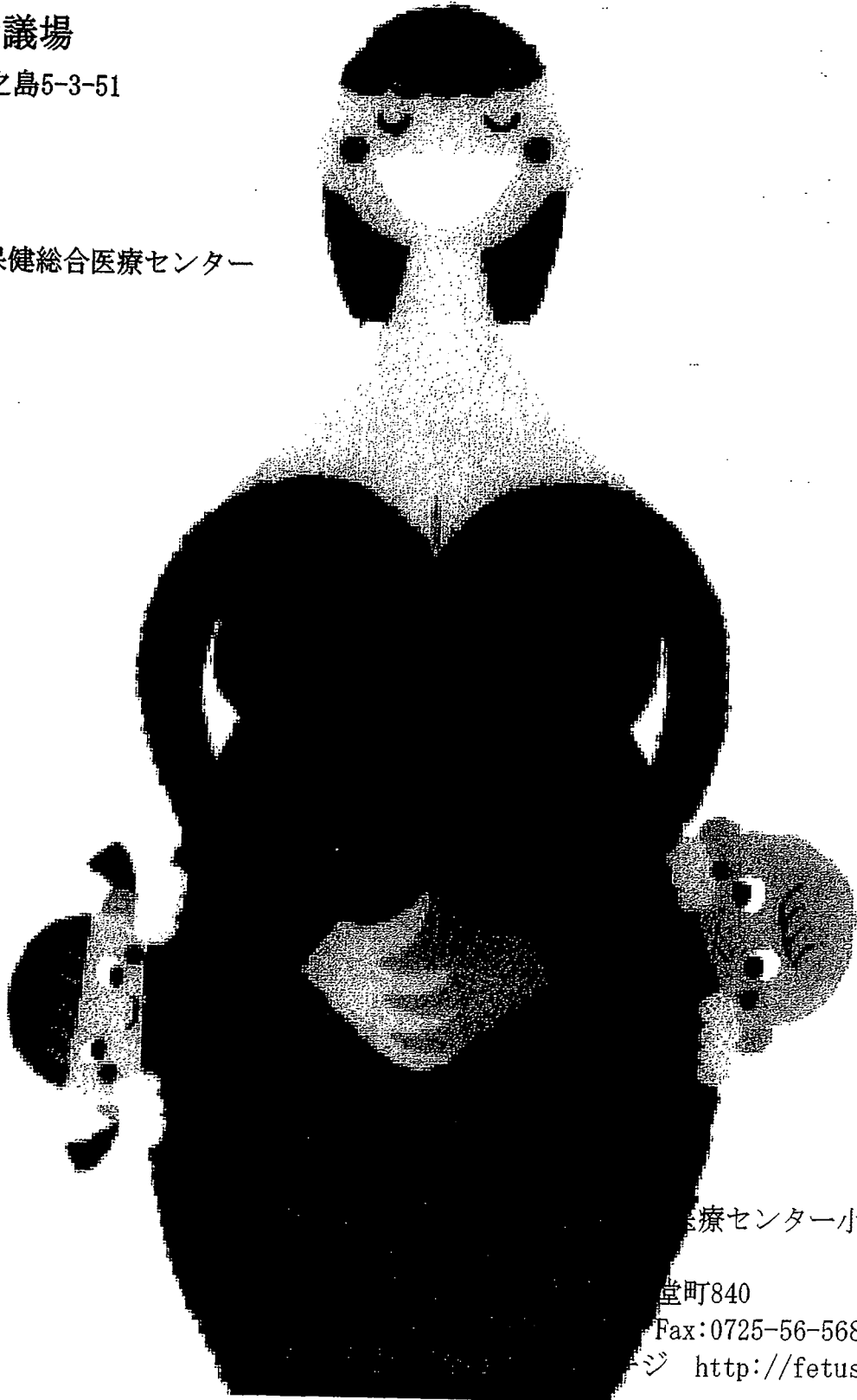
大阪国際会議場

大阪市北区中之島5-3-51

## 会長

窪田昭男

大阪府立母子保健総合医療センター  
小児外科



医療センター小児外科

堂町840

Fax: 0725-56-5682

http://fetus.umin.jp/

## セッションⅡ 新技術

### 6. TTTS に対する FLPC のためのレーザー内視鏡の高機能化

岡 潔<sup>1)</sup>、中村哲也<sup>2)</sup>、植田裕久<sup>2)</sup>、鳥谷智晶<sup>3)</sup>、妻沼孝司<sup>3)</sup>、長縄明大<sup>4)</sup>、渡邊慎介<sup>5)</sup>、石山昭彦<sup>5)</sup>、山下紘正<sup>5)</sup>、千葉敏雄<sup>5)</sup>

独立行政法人 日本原子力研究開発機構<sup>1)</sup>、ペンタックス株式会社<sup>2)</sup>、株式会社フジクラ<sup>3)</sup>、秋田大学<sup>4)</sup>、国立成育医療センター<sup>5)</sup>

【背景】双胎間輸血症候群(TTTS)に対し、我々は胎盤付着位置にかかわらず、低侵襲で安全・確実な胎児鏡下胎盤吻合血管レーザー凝固術(FLPC)を可能とするため、胎児外科治療用レーザー内視鏡装置(複合型光ファイバスコープ)の開発を行っている。

【目的】本件では、これまでに製作した複合型光ファイバスコープシステムに、1)対象までの距離計測機能、2)標的血管の血流計測機能を付加する方法について検討し、in vivo実験にてその有効性を確認した。

【方法】リアルタイムの距離計測及び血流計測を行うため、半導体レーザー光による非観血式のレーザー微小循環血流計測方法を原理とする市販の血流計測装置を本システムへ組み込んだ。これにより、組織血流量、組織血液量、血流速度、全受光量の計測を可能とした。また、この受光量値を用いることで対象までの距離を計測した。

【結果】in vivoにて豚の腸間膜を36°C近傍の水中に浸し、腸間膜の血管に30Wのレーザー光を3秒間照射した。その結果、レーザー照射中に画像観察を行いながらリアルタイムに焼灼度を調節することが可能であった。本試験後、焼灼した血管を顕微鏡で観察し、レーザー焼灼により血管径が約1mmから0.28mm(1/3以下)に収縮し、血流の停止していることを確認した。また、焼灼部位の血管近位側において、収縮後の血管内に血液が溜まり、約3倍の太さの約0.94mmにまで膨張することも明らかとなった。一方、レーザー焼灼とは別の波長のレーザー光を照射・受光することにより、5~20mmの範囲で腸間膜までの距離計測がリアルタイムに可能となることを確認した。さらに、血流の減少及び停滞の様子も定量的に把握できた。以上より、複合型光ファイバスコープシステムの応用により、①画像観察、②距離計測、③血流計測、④レーザー照射をシームレスに行い、安定した治療が可能になると期待される。

## セッションⅡ 新技術

### 7. 双胎間輸血症候群における胎盤損傷を回避するための接近警報提示ナビゲーションシステム

<sup>a</sup> 東京女子医科大学先端生命医科学研究所, <sup>b</sup> アロカ株式会社, <sup>c</sup> インフォコム株式会社,  
<sup>d</sup> 東京大学大学院工学系研究科, <sup>e</sup> 国立成育医療センター特殊診療部

中村 亮一<sup>a</sup>, 永瀬 優子<sup>b</sup>, 須藤 政光<sup>b</sup>, 若林 洋明<sup>b</sup>, 望月 剛<sup>b</sup>, 鈴木 浩一<sup>ac</sup>,  
村垣 善浩<sup>a</sup>, 伊関 洋<sup>a</sup>, 佐久間 一郎<sup>d</sup>, 千葉敏雄<sup>e</sup>

はじめに: 双胎間輸血症候群のレーザ治療においては、狭く奥行感覚の薄い内視鏡視野の中で、胎盤損傷や出血を回避するために胎盤への手術器具の接触を防止することが要求される。本研究では、子宮内での術具位置に応じて接近危険度を術者に提示し、胎盤損傷回避をサポートするための新しいナビゲーションシステムの開発を行った。

方法: 本システムは3次元超音波画像診断装置(prosound α 10, ALOKA)と手術ナビゲーションシステム(東京女子医大・東芝・Infocom)により構成される。手術ナビゲーションシステムは光学式3次元位置計測装置(Polaris Vicra, NDI)により実空間の術具位置を計測し、画像と実空間での術具の位置の統合を行い画像上に術具位置を表示する。術具先端から胎盤までの距離を定量的かつ直感的に提示するために、術中に取得した3次元超音波画像から羊水領域を抽出し、この領域を胎盤表面からの距離により細分化した距離マップを作成し、ナビゲーション画面上にカラーマップ重畳表示することで直感的な胎盤からの距離確認を可能にした。さらに、術中に医師は内視鏡画面に注視し距離を継続的にナビゲーション画面で確認することは不可能であるので、距離マップの各エリアに応じた警告音を発することで胎盤までの距離を音声で認識可能にした。

結果: シリコンゴムファントムを胎盤に見立て水槽内に設置し、ファントム上に描かれたラインを内視鏡で追尾するタスクを、ナビゲーション併用と非併用の条件で行った。ナビゲーション併用時、医師は内視鏡画面を注視しながらファントムまでの距離を音により定量的に理解することが可能だった。

結論: 手術機器と脆弱な胎盤との接触を回避し、安全な内視鏡下胎盤レーザ手術の実現を支援するナビゲーションシステムを開発した。ファントム実験では良好な距離認識補助能力を有していることが示唆された。

# 低侵襲胎児手術を目的としたパッチスタビライザに関する基礎研究 ～ワイヤ駆動による試作機とパッチを押さえる力制御の提案～

## Basic research on a robotic patch-stabilizer for minimally invasive fetal surgery ～Experimental force control of a prototype using wire driven mechanism～

○ 張 博 (早大) 原田 香奈子 (早大) 柳原 勝 (早大) 岡本 淳 (早大)  
千葉 敏雄 (国立成育医療センター) 絵野沢 伸 (国立成育医療センター研究所)  
藤江 正克 (早大)

Bo ZHANG, Waseda University, zhangbo@suou.waseda.jp  
Kanako HARADA, Waseda University  
Masaru YANAGIHARA, Waseda University  
Jun OKAMOTO, Waseda University  
Toshio CHIBA, National Center for Child Health and Development  
Shin ENOSAWA, National Research Institute for Child Health and Development  
Masakatsu G. FUJIE, Waseda University

The clinical target of this study is intrauterine patch coverage of fetal myelomeningocele. The collagen patch is supposed to be stabilized onto the fragile fetal tissue during the laser fixation process. In this paper, a robotic patch stabilizer using wire driven mechanism (2 D.O.F, Max bending angle is 45[deg]) has been developed for precise force control on the patch without damaging fetal tissue. The diameter of the stabilizer's shaft is 2.4[mm] and the length of the stabilizing part is 60[mm]. The driving wires are moved using an ultrasonic motor while the tension of the wires is measured using a force sensor. The stabilizing force was estimated by the wire tension with 3.5 % error between the estimated value and the measured value. The future work is to control the stabilizing force using a phantom of fetal fragility.

**Key word:** Minimally invasive surgery, Wire driven robot, Fetal surgery

### 1. 緒言

近年、超音波やMRI診断機器と内視鏡などの治療機器の進歩により、極めて早期に胎児異常が発見されるようになった。そのうちいくつかの疾患に対しては、子宮壁にあげた小さな切開部から術具を挿入して外科治療を行う低侵襲胎児手術が行われ、効果が示されている[1]。

本研究にて対象としている脊髄髄膜瘤では、胎児の背骨と脊柱管の形成不全により神経が露出しており、生後の脳や下半身の障害の原因となる。治療方法としては、出産までの間、患部を一時的に保護のために、パッチ(患部を保護するシート)を貼付する手術方法がある。脆弱でゼラチン状の胎児組織に、適切な力でパッチを押えつけ、レーザー等で固定化する手術システムが構想されている[2]。

本研究は、微弱な力制御を行い、パッチを押さえるワイヤ駆動方式のスタビライザの開発を目的としている。技術的課題は、脆弱な胎児皮膚上にパッチを押さえる力の設定や制御法である。体内でセンサを使用することは安全上好ましくないため、先端部の力を直接測定はできない。そこで、体外に置かれる駆動用ワイヤの張力を測定することにより、先端部が胎児を押さえる力を推定できるスタビライザの開発を行った。

まず要求仕様から2自由度の試作機を製作し、そのうち1自由度について評価を行った。次に、先端部に設置した力センサとワイヤの張力の関係を静的な状態で測定し、その精度を検証した。

### 2. スタビライザの要求仕様

(1) 羊膜の損傷が早産の危険性を高めるため、胎児用の直径3[mm]のトロカールに挿入可能であること、つまりシャフト径が直径2.4[mm]

(2) 手術対象とした妊娠20～25週の胎児における脊髄髄膜瘤の患部(直径40[mm]～60[mm])を押さえることを可能とするため、先端の長さは60[mm]以上

(3) 胎盤の位置によりスタビライザ挿入ポートが限定されるため、胎児にアプローチ可能な自由度を有すること

(4) 羊水中に浮遊する胎児を動かさず、かつ胎児皮膚を損傷しない力でパッチを押さえる制御

### 3. スタビライザの機構

試作したスタビライザを図1、図2に示す。

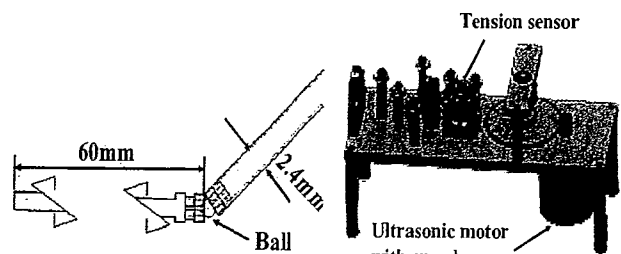


Fig. 1 The tip of the Stabilizer

Fig. 2 Drive Unit

試作したスタビライザは、プーリを用いたワイヤ駆動方式を選択し、ボールジョイント型の1関節を設けることで、屈曲2自由度を実現できる。先端でパッチを押さえる力を推定するため、1自由度について評価を行った。直径3[mm]の胎児用トロカールに収まるように、スタビライザのシャフトの直径を2.4[mm]、胎児と接触するスタビライザ先端部は最大幅2.4[mm]、厚さ1.5[mm]とした。患部直径は約40-60[mm]と考えられるため、スタビライザ先端の長さは60[mm]に設計した。また、先行研究[3]より、500[Pa]以下の力で押さえつけるならば、胎児皮膚を損傷しないことが報告されているので、