

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19300186  
 研究課題名 (和文) 臨床応用に向けた Scrub Nurse Robot の開発とそのシステム構築  
 研究課題名 (英文) Development and systematization of Scrub Nurse Robot toward clinical use

研究代表者  
 宮脇 富士夫 (MIYAWAKI FUJIO)  
 東京電機大学・理工学部・教授  
 研究者番号：50174222

研究成果の概要：Scrub Nurse Robot (SNR) の新機能である器具先端部自動挿入機能を考案し、この実現のためにアーム型ロボットである SNR 3 号機を開発し、その有効性を実証した。SNR の“眼”ともいべき視覚認識システムや、現在手術野で使用されている手術器具情報 (器具名、使用開始および終了時刻) をリアルタイムかつ自動で取得できるシステムも開発した。また、外科手術モデルの拡充も行い、臨床応用に着実に近づける成果を挙げた。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2008年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
年度			
年度			
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：①Scrub Nurse Robot、②外科手術モデル化、③手術器具先端部自動挿入機能、④手術器具使用情報リアルタイム自動取得・解析システム、⑤リアルタイム視覚認識システム

## 1. 研究開始当初の背景

## (1)Scrub Nurse Robot (SNR) の必要性

Scrub Nurse (日本では器械出し看護師と呼ぶ) とは外科手術の際に滅菌ガウンおよび滅菌手袋を着用して、執刀医 (手術を担当する外科医) に手術器具やガーゼ等を提供する看護師のことであるが、日本を始め欧米諸国でも Scrub Nurse の不足は慢性的かつ深刻である。この慢性的かつ深刻な不足に着目し、これを解消すべく Scrub Nurse Robot (SNR) の開発を欧米に先駆けて着手した。

## (2) Scrub Nurse Robot の到達目標

この SNR 開発プロジェクトにおいて我々が目指すものは、単なる手術器具授受ロボットではなく、執刀医からの口頭指示がなくとも執刀医が要求する器具を予測し、タイミング良く執刀医に手渡すことのできるロボットである。また、現在の外科手術は内視鏡あるいは腹腔鏡を使用した外科手術 (鏡視下手術と総称される) が主流であるので、SNR の支援対象もこのタイプの手術としている。

## (3)これまでの研究経過および成果

上記のような SNR に対する要求を実現させるためには、SNR は、手術野で現在どうい

う外科操作が行われているか、どの器具が使用されているか、などを認識する必要があり、また外科医が器具交換の体勢に入った瞬間も把握しなければならない。

以上のような必要性から、術中動作解析、外科手術に関連する種々の情報収集を行い、同時に外科手術全体の数学的モデル化を世界に先駆けて行った。SNR 自体も 1 号機と 2 号機を試作し、それぞれの評価を終えている。2 号機は小型のヒト型ロボットで、アームの自由度も大きく、口頭指示によって駆動するタイプである。

## 2. 研究の目的

SNR の高度知能化と執刀医支援機能向上を図り、臨床応用可能なレベルに近づけることである。すなわち、SNR 本体の機能をさらに向上させること、外科手術モデルを拡充させること、手術支援に必須の種々の術中情報をリアルタイムに取得できるシステムを構築すること、などを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 外科手術モデル化

#### ① 離散変数を用いたモデル化

我々は、Extended timed automata (Uppaal formalism) を用いて、外科手術の数学的モデル化を世界に先駆けて行った。このモデル化の充実、特に腹腔鏡下胆嚢摘出術を臨床応用可能なレベルに近づける。因みに、この外科手術モデル化は、外科手術手順（外科手術を構成する一連の外科操作の推移）を記述するばかりでなく、執刀医および器械出し看護師の行為、患者の状態（正常あるいは種々の異常状態）、さらに手術器具の状態（使用中かどうかなど）までも記述する試みである。また、手術手順とオブジェクト（執刀医、器械出し看護師、患者、手術器具など）ばかりでなく、オブジェクト同士も時間的にリンクされている。

#### ② 連続変数を用いたモデル化

離散変数を用いたモデル化が最も進んでいる腹腔鏡下胆嚢摘出術においても、外科スタッフ（執刀医、器械出し看護師、助手など）の連続的動作のモデル化は未着手であったため、これを試みる。特に、執刀医と器械出し看護師の連続的動作のモデル化は重要と位置づけており、両者の物理的な接触が生じる場面である手術器具交換の場面に焦点をあててモデル化を試みる。

#### (2) 種々の手術情報の収集と解析の効率化

手術器具の使用順序や頻度の解析は SNR の手術器具予測を達成する上で重要であり必須である。さらに、このデータは上記の外科手術モデル化にも活用できる。これまでは、  
1) 術中撮影とその動画のオフライン解析、  
2) 手術野映像（内視鏡や腹腔鏡からモニタ

に出力される画像）の解析、という手法で行ってきた。特に、手術野映像の解析は目視で行っており、効率が非常に悪かったので、データ収集・解析のリアルタイム化を目指す。

### (3) SNR 本体の開発

SNR の器具提供法は、人間の器械出し看護師のように執刀医に手渡すことを想定していたが、支援機能をより向上させる着想を得た。この機能の実現に主眼を置くために、SNR 3 号機はアーム型ロボットとする。

#### ① 手術器具先端部自動挿入機能

まず、内視鏡・腹腔鏡下外科手術について概略する。胸壁や腹壁に小孔を開け、そこに口径の細いトロカール・カニューレ (TC) と呼ばれる中空管を挿入・留置することから手術は始まる。その TC の一つに内視鏡を挿入し、他の TC に手術器具を挿入する。執刀医は、内視鏡によって撮像された手術野の映像が映し出されるモニタを見つつ手術器具を操作して手術を行う。手にしている手術器具で可能な操作が終了すればそれを抜去し、次の操作に適した手術器具と交換して手術を続行する。TC への器具挿入・抜去は 1 回の手術で何回も繰り返される（腹腔鏡下胆嚢摘出術では 60~150 回程度）ので、特に挿入行為は執刀医にとって負担であるとされる（特に老視の外科医には相当の負担）。また、器具を TC に挿入する際にはモニタから目を離さざるを得ない欠点もある（外科医は手術野に集中していたいため、モニタから目を離すことを嫌う）。

SNR 3 号機の手術器具先端部自動挿入機能とは、器具を執刀医に手渡すのではなく、自ら器具を TC まで運び、器具先端部を少し挿入する機能である。執刀医は器具の柄を持ちそのまま押し進めるだけで手術野に器具を導入でき、外科操作に速やかに移行できる。これによって、執刀医は、挿入行為という負担から解放され、モニタへ集中し続けることが可能となるばかりでなく、器具交換時間（執刀医にとって器具交換に費やす時間はいわば無駄時間）の短縮化にも貢献できると期待される。

### (4) SNR の高度知能化に関する開発

#### ① 外科手術モデルの実装

現在モデル化が最も進んでいる腹腔鏡下胆嚢摘出術の手術手順を SNR に実装し、手順通りに SNR を駆動できることを検証する。

#### ② リアルタイム視覚認識システムの開発

器具交換時の執刀医の動作を的確に捉えて速やかな器具提供を実現するために、SNR の“眼”に相当するシステムを構築する。

#### ③ その他のリアルタイム情報認識システムの構築

手術器具情報の認識（器具同定、位置情報など）を実時間で行わせ、前述の手術器具自動挿入機能などに反映させる。また、手術器

具情報の実時間認識は、SNR が次に使用される器具をあらかじめ予測し、準備する上でも重要な機能である。

#### ④その他の SNR の脳機能の拡充

その他の脳機能（例えば学習機能など）のソフトウェア的な構築を行う。

### 4. 研究成果

#### (1)外科手術モデル化

##### ①離散変数を用いたモデル化

Uppaal 形式の Extended timed automata を用いた腹腔鏡下胆嚢摘出術のモデル化を作成し [雑誌論文⑩]、さらに詳細なモデル化も完成した [未発表]。

##### ②連続変数を用いたモデル化

これは共同研究者であるエストニアのタリン工科大学のグループが担当し、器具交換時の執刀医の動作解析を3種類の手法（ニューラルネットワーク（ANARX モデル）、Kohonen map、統計学的アルゴリズム）を用いてモデル化した [雑誌論文④、⑤]。

#### (2)手術情報の収集と解析の効率化

##### ①リアルタイム手術器具使用情報取得プログラムの開発 [学会発表⑧、⑨]

完全自動ではなく簡単な手入力が必要であるものの、リアルタイムで術中の手術器具使用情報を取得できるプログラムを考案し作成した。

このプログラムの開発によって、従来のオフライン解析で約1週間かかっていた情報取得解析がリアルタイムで可能となったため、手術で使用される全ての手術器具に関する詳細な情報（器具名、使用開始時刻、使用終了時刻、使用時間、器具交換時間）や手術器具使用に関するサマリー（使用頻度など）などの蓄積が容易となった。

##### ②手術野映像（内視鏡や腹腔鏡からモニタに出力される画像）の解析 [雑誌論文③]

これも共同研究者であるエストニアのタリン工科大学のグループが担当し、ニューラルネットワークを使用する手法を提案している。

#### (3)SNR 本体の開発

##### ①手術器具先端部自動挿入機能

この機能が SNR 3 号機本体の最大の特長であり、この機能の達成を主眼に SNR 3 号機の本体を開発した (図1、2)。図1の①～⑨は可動部分と可動方向を示しており、アームは6自由度とした。

手術器具先端部自動挿入機能は、器具先端部の三次元座標と TC 入口の三次元座標を一致させるように SNR のアームを駆動させる方式を採った。駆動制御アルゴリズムは何種類か試行したが、運動学解析に基づくアルゴリズムが最も効果的であった。

なお、三次元位置情報取得は市販の小型三次元位置計測装置 (Micron Tracker II) を用

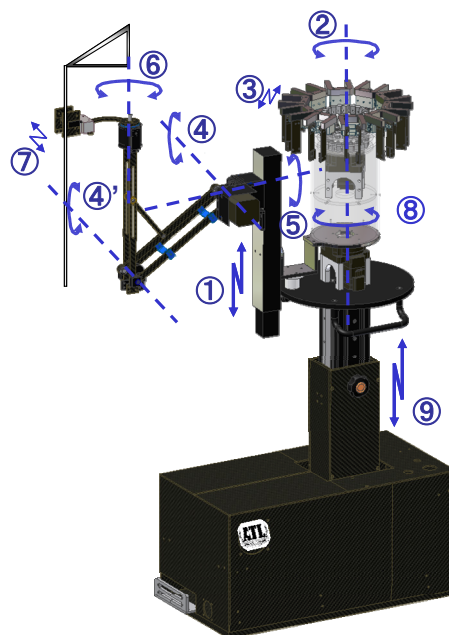


図1 SNR 3号機の CAD デザイン

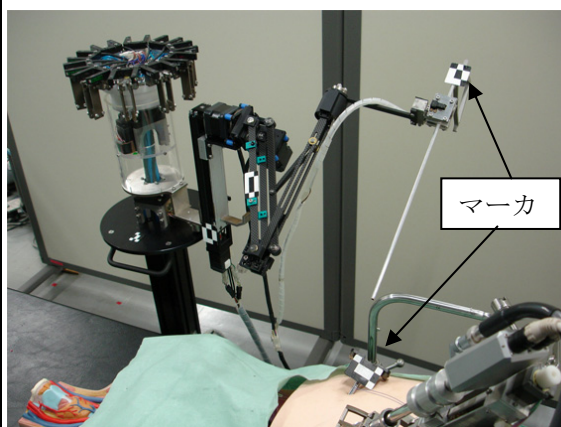


図2 SNR 3号機の器具自動挿入の様子

いた。この装置専用のマーカを TC 入口と各手術器具の根元に近い部位（執刀医の邪魔にならない位置）につけた (図2)。器具の長さは既知であり、器具マーカの三次元座標から器具先端部の三次元座標を計算した。

##### ②手術器具先端部自動挿入機能の評価実験

研究室で学生を執刀医の代役として SNR 3 号機の評価実験を行った。執刀医代役の器具抜去を TC 入口部に装着した光センサが捉え、この信号をトリガとして SNR の手術器具先端部自動挿入機能が働くという設定のもと実験を 20 回繰り返した。評価項目は、器具先端が TC から抜去された瞬間から次の器具先端が TC の入口部に運ばれるまでに要した時間とした。比較対象データは、実際の手術室で計測されたデータであり、実際の執刀医が器具を抜去した瞬間から、器械出し看護師によって手渡された器具を執刀医が TC 入口部まで運ぶ時間である。実際の外科医と看護師間では平均 3.72 秒要し、最長では 17.70 秒かかっていた (表1)。一方、執刀医

代役と SNR 間では平均 2.03 秒と 45%の短縮が可能であった。また、そのバラツキも非常に少ないことが判った (表 1)。

表 1 評価実験結果

	平均±標準偏差 (秒)	最長 (秒)	最短 (秒)
執刀医－看護師 (N = 128)	3.72 ± 2.19	17.70	1.77
代役－SNR (N = 20)	2.03 ± 0.10	2.24	1.86

したがって、SNR 3 号機の手術器具先端部自動挿入機能は、執刀医にとって無駄時間に感じる器具交換時間を大幅に短縮できること、細い口径の TC に 40cm 以上の長い手術器具を繰り返し挿入しなければならない負担から解放されること、さらに器具交換の際にもモニタを見続けることが可能となること、など恩恵の大きい機能と結論できる。

#### (4)SNR の高度知能化に関する開発

##### ①外科手術モデルの実装

外科手術モデル化は Extended timed automata (Uppaal 形式) を用いており、SNR の駆動制御などは C++ 言語を用いているため、二言語間の相性は非常に悪く、そのままではモデルに従って SNR を駆動させたり、手術野の実時間入力情報によってモデルを動かすことはできない。しかし、現在この二言語間を連結させる手法を開発し、その評価を行っている。

##### ②リアルタイム視覚認識システムの開発 [雑誌論文⑦、⑨]

執刀医の術中動作解析から、器具交換時の動作が特徴的であることが判った。特に、器具を抜去する際の動作と挿入する際の動作は特徴的であり、利き腕の肘と手首の相対的三次元位置座標 (胸の中央部との相対距離) の変化から、抜去・挿入行為を正確に捉えることが判った。これをもとに、執刀医の器具交換時の行為を認識できるアルゴリズムを作成した。執刀医の身体位置計測には市販の装置 (QuickMag IV) を用いた。本装置は身体に貼付したカラーマーカの三次元位置座標をリアルタイムに経時的に計測する装置である。前記アルゴリズムをもとに作成したプログラムを PC に搭載し、その PC に QuickMag IV で取得された三次元座標データをリアルタイムに入力し、この経時的変化から執刀医の行為をリアルタイムに認識させる実験を行い、正確な認識ができることを確認した。

SNR の駆動制御は次に示すように設定した。器具抜去を認識すると、器具提供を開始するように SNR を駆動させ、執刀医が器具を挿入し始めると、次の器具の準備に移るように SNR を駆動させる。このようにして、執刀医の動作を正確に捉え、器具提供を行え

るかどうか、検証した。138 回の器具交換技法の全てを正確に認識し、SNR も正確に駆動することを実証した。

##### ③その他のリアルタイム情報認識システムの構築：完全自動リアルタイム手術器具使用情報取得・解析システムの構築 [学会発表②]

前記の手術器具使用情報取得を完全自動化できる手法を考案した。内視鏡・腹腔鏡下外科手術 (ELS) では、体壁を貫通するように細い中空管 (トロカール・カニューレ: TC と略す) を留置し、それを介して手術器具を手術野に挿入して外科操作を行う。この TC の入口に RFID アンテナを取り付け、各手術器具に固有の RFID タグを取り付けることによって、器具 ID の取得を行うとともに、ID 取得開始時刻を器具挿入時刻 (器具使用開始時刻)、ID 取得終了時刻を器具抜去時刻 (器具使用終了時刻) とみなすシステムを考案した。このシステムが完成すれば、SNR はどの器具が現在どの場所で使用されているか認識できるようになる。また、手術終了後にはこの手術器具使用情報は非常に詳細な手術記録として活用できる。

RFID アンテナと RFID タグを試作し、これを制御するプログラムおよび器具情報を取得・解析するプログラムを作成した。先述したように、ELS では電気メスを頻用する。電気メスは高周波電流を流すことによって、切開や止血を行うので、電気メスの使用時には RFID 通信が途絶える可能性がある。この電磁干渉が起これると電気メスを使用しているにもかかわらず、電気メスの使用を止めて抜去したと誤認識することになる。この問題を研究室レベルで検証し、電気メスによる電磁干渉が起これる条件を特定した。次に、電磁干渉が起これ、手術器具使用を誤認識する問題を克服するため、ソフトウェア的対策を考案し、その基本アルゴリズムが有効であることを研究室実験で実証した。また同時に、ハードウェア的対策も考案し、現在評価中である。

##### ④その他の SNR の脳機能の拡充

SNR の学習機能に関するソフトウェアを Uppaal 形式で現在構築中である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① Miyawaki Fujio (他 4 名) : Investigation of Effects of Ways of Using Muscles on Performance of Fine Handwork. Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (CD-ROM) 507-512, 2009, 査読有

- ② Miyawaki Fujio: Development of Scrub Nurse Robot System with Respect to How to Adapt to Individual Surgeons. UK Postgraduate Workshop on Human Adaptive Mechatronics (HAM) (CD-ROM) 1-6, 2009, 査読無
- ③ Petlenkov Eduard, Miyawaki Fujio, (3番目) 他2名: Restricted Connectivity Neural Network Structure for Organ Recognition by Analysis of Endoscopic Images during Surgical Operation. Proc. of the 11th Biennial Baltic Electronics Conference (BEC2008) (CD-ROM) 261-264, 2008, 査読有
- ④ Nömm Sven, Miyawaki Fujio (5番目) 他4名: Recognition of the Surgeon's Motions During Endoscopic Operation by Statistics based Algorithm and Neural Networks based ANARX Models. Proc. of the 17th IFAC World Congress (CD-ROM) 14773-14778, 2008, 査読有
- ⑤ Petlenkov Eduard, Nömm Sven, Vain Jüri, Miyawaki Fujio: Application of Self Organizing Kohonen Map to Detection of Surgeon Motions During Endoscopic Surgery. Proc. of the 2008 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2008), the 2008 IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI2008) (CD-ROM) 2806-2811, 2008, 査読有
- ⑥ Vain Jüri, Miyawaki Fujio: Model Learning for Reactive Motion Planning in Assisting Robots. Proc. of IASTED Conference on Modelling, Identification, and Control ~MIC 2008~ (CD-ROM) 596-809, 2008, 査読有
- ⑦ Ohnuma Kentaro, Miyawaki Fujio, Masamune Ken (5番目), Fukui Yasuhiro (6番目) 他2名: Development and Assessment of Real-Time Visual Recognition System for Scrub Nurse Robot. International Journal of Assistive Robotics and Mechatronics 8(4):14-24, 2007, 査読有
- ⑧ Sadahiro Teruyoshi, Miyawaki Fujio (5番目), Masamune Ken (6番目) 他3名: Laparoscopic Skill Measurement with COP to Realize a HAM Scrub Nurse Robot System. Proceedings of the 5th COE Workshop on Human Adaptive Mechatronics (HAM) 49-56, 2007, 査読無
- ⑨ Miyawaki Fujio, Masamune Ken, Fukui Yasuhiro (6番目) 他3名: Development of Scrub Nurse Robot System. Proceedings of the 5th COE Workshop on Human Adaptive Mechatronics (HAM) 13-22, 2007, 査読無
- ⑩ Yoshimitsu Kitaro, Miyawaki Fujio, Fukui Yasuhiro (5番目), Masamune Ken (7番目) 他3名: Development and Evaluation of the Second Version of Scrub Nurse Robot (SNR) for Endoscopic and Laparoscopic Surgery. Intelligent Robots and Systems (CD-ROM) 2288-2294, 2007, 査読有
- ⑪ 大沼健太郎, 正宗賢, 福井康裕 (7番目), 宮脇富士夫 (8番目) 他4名: 腹腔鏡下手術支援システムのための術者動作解析と Timed automata による手術シナリオモデルの構築. 計測自動制御学会論文集 43(8):679-688, 2007, 査読有
- ⑫ 吉光喜太郎, 宮脇富士夫, 正宗賢 (6番目) 他3名: 腹腔鏡下手術支援用 Scrub Nurse Robot の開発. 計測自動制御学会論文集 43(7):589-598, 2007, 査読有
- [学会発表] (計17件)
- ① Miyawaki Fujio 他4名: Investigation of Effects of Ways of Using Muscles on Performance of Fine Handwork. ICNSC2009 (2009/03/28) Okayama
- ② 並木裕美, 吉光喜太郎, 角井聖, 橋本大定, 宮脇富士夫: RFID を用いた手術中使用器具情報のリアルタイム取得と解析のためのシステム構築. 人と福祉を支える技術フォーラム 2009 (2009/02/28) 東京
- ③ Miyawaki Fujio: Development of Scrub Nurse Robot System with Respect to How to Adapt to Individual Surgeons. UK Postgraduate Workshop on Human Adaptive Mechatronics (HAM) (2009/01/15) Stafford, UK **基調講演**
- ④ Petlenkov Eduard, Miyawaki Fujio (3番目) 他2名: Restricted Connectivity Neural Network Structure for Organ Recognition by Analysis of Endoscopic Images during Surgical Operation. BEC2008 (08/10/6-8) Tallinn
- ⑤ 宮脇富士夫: 器械出し看護師ロボット (Scrub Nurse Robot) システムの開発. 第3回小切開・鏡視下手術研究会 (2008/06/21) 徳島 **基調講演**
- ⑥ Nömm Sven, Miyawaki Fujio (4番目) 他4名: Recognition of the Surgeon's Motions During Endoscopic Operation by Statistics based Algorithm and Neural Networks based ANARX Models. The 17th IFAC World Congress (08/7/6-11) Seoul
- ⑦ Petlenkov Eduard, Miyawaki Fujio (4

- 番目) 他 2 名: Application of Self Organizing Kohonen Map to Detection of Surgeon Motions During Endoscopic Surgery. IJCNN2008 & WCCI2008 (08/6/1-6) Hong Kong
- ⑧ 角井聖, 宮脇富士夫, 柳沼貴志, 吉光喜太郎, 正宗賢, 福井康裕: 腹腔鏡下手術における器械出し看護師ロボットのための手術器具情報取得と解析. 第 4 7 回日本生体医工学学会大会 (2008/05/08) 神戸市
- ⑨ 柳沼貴志, 角井聖, 熊谷祐, 吉光喜太郎, 浜崎光将, 橋本大定, 宮脇富士夫: 手術中器具情報のリアルタイム取得と解析のためのシステム構築. 人と福祉を支える技術フォーラム 2008 (2008/03/01) 東京
- ⑩ 熊谷祐, 吉光喜太郎, 角井聖, 柳沼貴志, 福井康裕, 宮脇富士夫: 術中動作解析の迅速化と精度向上に関する研究. 人と福祉を支える技術フォーラム 2008 (2008/03/01) 東京
- ⑪ Vain Jüri, Miyawaki Fujio: Model Learning for Reactive Motion Planning in Assisting Robots. MIC 2008 (2008/02/11) Innsbruck
- ⑫ Sadahiro Teruyoshi, Miyawaki Fujio (4 番目), Masamune Ken (5 番目) 他 3 名: Laparoscopic Skill Measurement with COP to Realize a HAM Scrub Nurse Robot System. The 5th COE Workshop on Human Adaptive Mechatronics (HAM) (2007/11/16) Tokyo
- ⑬ Miyawaki Fujio, Masamune Ken, Fukui Yasuhiro (6 番目) 他 3 名: Development of Scrub Nurse Robot System. The 5th COE Workshop on Human Adaptive Mechatronics (HAM) (2007/11/16) Tokyo
- ⑭ Yoshimitsu Kitaro, Miyawaki Fujio, Fukui Yasuhiro (5 番目), Masamune Ken (7 番目) 他 3 名: Development and Evaluation of the Second Version of Scrub Nurse Robot (SNR) for Endoscopic and Laparoscopic Surgery. IROS 2007 (2007/11/01) San Diego
- ⑮ Miyawaki Fujio: Development of Scrub Nurse Robot System Which is Aimed at Assisting Endoscopic and Laparoscopic Surgery like a Skilled Human Scrub Nurse. 8th International Workshop on Human-friendly Welfare Robotic Systems (2007/10/23) Daejong **基調講演**
- ⑯ Miyawaki Fujio, Masamune Ken (4 番目), Fukui Yasuhiro (5 番目) 他 2 名: Development of Real-Time Visual Recognition System (RTVRS) for Scrub

Nurse Robot (SNR) And Assessment of Performance of RTVRS-Driven SNR During Exchange of Surgical Instruments. XXXIV ESAO Congress (2007/09/07) Krems

- ⑰ 吉光喜太郎, 正宗賢, 原大樹, 大沼健太郎, 貞弘晃宜, 福井康裕, 橋本大定, 宮脇富士夫: 器械出し看護師ロボットの機能向上のための腹腔鏡下手術における器具交換時間の分析. 第 46 回日本生体医工学学会大会 (2007/04/26) 仙台

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 鏡視下手術における手術情報リアルタイム取得・解析システムおよび方法

発明者: 宮脇 富士夫

権利者: 学校法人 東京電機大学

種類: 特許権

番号: 特願 2009-001063

出願年月日: 平成 21 年 1 月 6 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ

<http://www.miyawaki-lab.com/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宮脇 富士夫 (MIYAWAKI FUJIO)

東京電機大学・理工学部・教授

研究者番号: 50174222

### (2) 研究分担者

古田 勝久 (FURUTA KATSUHISA)

東京電機大学・未来科学部・教授

研究者番号: 10016454

福井 康裕 (FUKUI YASUHIRO)

東京電機大学・理工学部・教授

研究者番号: 60112877

篠原 一彦 (SHINOHARA KAZUHIKO) \*

東京工科大学・バイオニクス学部・教授

研究者番号: 00327082

正宗 賢 (MASAMUNE KEN)

東京大学・情報理工学系研究科・准教授

研究者番号: 00280933

\*: 2007 年度のみ研究分担者

### (3) 連携研究者

篠原 一彦 (SHINOHARA KAZUHIKO) \*\*

東京工科大学・バイオニクス学部・教授

研究者番号: 00327082

\*\* : 2008 年度のみ連携研究者