

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K13035

研究課題名（和文）ロボット支援下腎部分切除術における3Dナビゲーションシステムの開発

研究課題名（英文）Development of 3D navigation system during robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy

研究代表者

澤田 篤郎 (Sawada, Atsuro)

京都大学・医学研究科・助教

研究者番号：10784796

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：我々は、ロボット支援下腎部分切除術において、術中の腫瘍位置推定のため、術前CT画像から作成した3Dモデルをリアルタイムに術中画像に投影する技術を開発してきた。カメラ映像のみでカメラの3次元位置・姿勢を求める特徴点ベースのSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術と、3Dモデルを3D映像内に重畳させるプログラムを両立させ、実際にロボット支援手術の術中にリアルタイムに高精度の自動追従機能を確認することができた。今後は自動重畳技術の改良、SLAMの精度向上に向けて研究を継続し、臨床的に有用なナビゲーションシステムの実装とその実用化を目指す予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

術前画像から得られた3Dモデルを術中のリアルタイム3D映像内に投影し、腫瘍位置を推定するシステムは今までに実用化されたものがなく、我々はSLAM技術を応用することで本研究分野の中で新規性の高い成果を挙げている。当研究成果により従来から難易度が高いとされている埋没型腫瘍などの術中位置推定が容易となり、より安全かつスムーズに手術を遂行することが可能となった。現在取り組んでいる術中ナビゲーション技術は他のロボット手術への汎用性もあり、より精度を高めることでロボット手術全体の安全性の向上に寄与すると考えている。

研究成果の概要（英文）：We have developed 3D navigation system to indicate the location of renal tumors during robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy. We used SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) technique which calculate the posture and position of objects in 3 dimensional images. We succeeded to confirm the precise auto-tracking ability during robotic surgeries by combination of SLAM technique and the novel system which register the 3D model onto realtime 3D image. We are planning to improve our auto-registration function and SLAM technique to develop clinically useful navigation system for robotic surgery.

研究分野：医工学

キーワード：3Dナビゲーション ロボット支援下腎部分切除術

## 1. 研究開始当初の背景

近年、放射線画像診断技術の進歩と癌早期発見に対する意識の高まりから、小径腎癌が偶発的に見つかることが多くなった。腎癌に対する治療は外科的切除が主体であり、腫瘍のある腎臓を全て摘出する根治的腎摘除術と、腫瘍のみを切除する腎部分切除に大別される。根治的腎摘除術は腎癌に対する手術の第一選択であったが、近年、小径腎癌に対しては腎機能を温存することを意図した腎部分切除術が標準術式となった。また内視鏡技術の発展と手術技術の進歩、そして低侵襲手術が求められる時代の流れから、腹腔鏡下手術での腎部分切除の技術が広まった。しかし、腫瘍の大きさや部位によっては、腹腔鏡下に腫瘍切除とその後の腎実質縫合を行うことが困難な場合がある。

そこで、より高い精度の手術を実現するために、da Vinci Surgical system (Intuitive Surgical 社)を用いたロボット支援下腎部分切除術(robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy:RALPN)が試みられ、2016年4月に保険収載された。手術用ロボットは3D内視鏡カメラによる拡大視野と多関節アームによる精緻な鉗子操作を可能とし、特に縫合手技の難易度が下がることで阻血時間の短縮による腎機能温存などへの貢献が期待される。しかし、腫瘍径が小さい症例や埋没型症例では、腫瘍の位置や正しい切離ラインの認識がしづらく、極めて難易度の高い手術となる。そのため、腫瘍位置をナビゲートするシステムの存在は、術者の負担を減らすとともに、手術の安全性、確実性を高めることになり、患者にとっても非常に有望である。

一方、拡張現実 (Augmented Reality:AR) の技術を活用した手術支援システムの開発が急速に進んでいる。手術用ナビゲーションの概念が提唱されたのは100年も前に遡るが、現在の画像支援ナビゲーションシステムの形態を持った実用機としては、1986年にわが国で脳神経外科領域の手術支援のために開発されたニューロナビゲーターがよく知られている。本邦では1995年に初めて導入され、画像支援ナビゲーションシステムによる手術の対象は、その後、耳鼻咽喉頭頸部領域、消化器外科、口腔外科、そして泌尿器科にも広がりがつつある。このような状況を背景に、我々は2014年より先行自主研究という形で、RALPNを支援するナビゲーションシステムの開発を行ってきた。これは、腎癌の手術前に撮影される造影CTから、3D画像解析ソフトで必要な3Dモデルを作製し、これを術中に実際の腹腔鏡画像に投影することで、血管構造や腫瘍位置など、必要な情報をリアルタイムに術者に提供し、手術の安全かつ円滑な遂行を目的としている。

## 2. 研究の目的

ロボット支援下腎部分切除術において、術前CT画像から作成した3Dモデルを3D内視鏡画像上に投影させ、手術画像内の臓器に自動重畳および自動追従し腫瘍位置をナビゲーションするシステムを開発する。

## 3. 研究の方法

- (1) 3D内視鏡画像へ3Dモデルを投影させるシステムの開発。
- (2) 3D内視鏡画像上で、3Dモデルと対象臓器を重畳させる技術の開発。
- (3) 3D内視鏡画像上で、手術画像の変化に対応した3Dモデル自動追従システムの開発。
- (4) 対象臓器の変形に対応した、3Dモデルの変形技術の開発。

#### 4. 研究成果

我々はまず、da Vinci 内視鏡のステレオカメラキャリブレーションを行い、左右のカメラの視差を計算することで、左右それぞれの 2D の映像から計算した視差を元に 3 次元映像を作成することに成功した。(図 1) 次にロボット支援腹腔鏡下腎部分切除術中に事前に作成した 3D 腎臓モデルを da Vinci の 3D 映像内に映し出し、重ね合わせることが可能となった。(図 2) さらに ORB-SLAM2 という特徴点ベースの SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術を使用してカメラ映像のみでカメラの 3 次元位置・姿勢を求めるプログラムと、3D モデルをカメラ映像に重畳させるプログラムの両立を試みた。術動画を用いた実験では、カメラの移動速度が緩やかで、腹腔内に大きな変形が無い状況であれば、鉗子などの手術器具が写り込んでいたり、内視鏡カメラに部分的に液体が付着していても SLAM によりカメラ位置姿勢計測は可能であった。実際にロボット支援手術の術中にリアルタイムに SLAM を起動させ、より精度の高い自動追従機能を確認することができた。(図 3) さらに Tilepro で術者が自由に AR ナビゲーション画像を術中に確認できるようになり、より実用性の高いシステム構築を達成できた。

今後はさらなる自動重畳技術の開発、SLAM の精度向上に向けて研究を継続し、重畳・追従機能を実践的なレベルまで到達させる必要がある。そのためにも、今まで蓄積された手術動画を基に AI による臓器認識機能を追加し、絶えず変化する手術映像の中で常に臓器を的確に認識できる機能を獲得する必要がある。さらに、臨床的に有用な da Vinci Xi Surgical system のナビゲーションシステムの実装に向け、実際の手術中に積極的に使用し、手術成績へ及ぼす影響について評価を行う予定である。

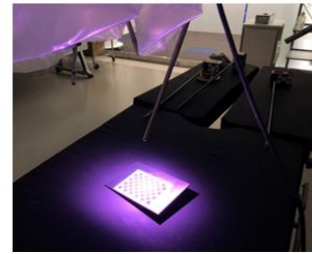


図1. カメラキャリブレーションによる視差データの抽出

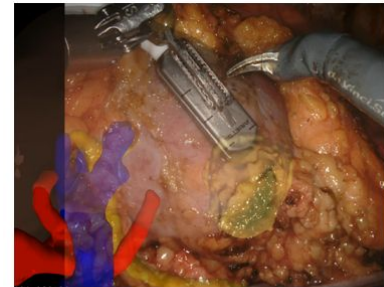


図2. 術中のナビゲーション映像

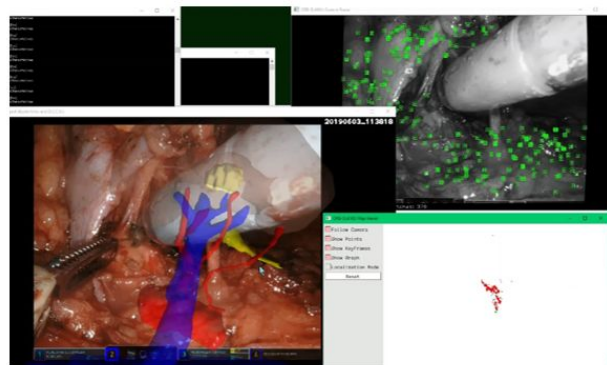


図3. Stereo SLAMによる追従機能の向上

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sengiku Atsushi, Koeda Masanao, Sawada Atsuro, Kono Jin, Terada Naoki, Yamasaki Toshinari, Mizushino Kiminori, Kunii Takahiro, Onishi Katsuhiko, Noborio Hiroshi, Ogawa Osamu	4. 巻 10289
2. 論文標題 Augmented Reality Navigation System for Robot-Assisted Laparoscopic Partial Nephrectomy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 DUXU 2017, Part , LNCS	6. 最初と最後の頁 575 ~ 584
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-319-58637-3_45	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Sawada Atsuro
2. 発表標題 The development of a 3D navigation system for robot-assisted partial nephrectomy using augmented reality technology
3. 学会等名 European association of urology annual meeting 2019（国際学会）
4. 発表年 2018年 ~ 2019年

1. 発表者名 Sengiku Atsushi, Koeda Masanao, Sawada Atsuro, Kono Jin, Terada Naoki, Yamasaki Toshinari, Mizushino Kiminori, Kunii Takahiro, Onishi Katsuhiko, Noborio Hiroshi, Ogawa Osamu
2. 発表標題 Augmented Reality Navigation System for Robot-Assisted Laparoscopic Partial Nephrectomy
3. 学会等名 19th International Conference on Human-Computer Interaction（国際学会）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----