

# 医師の認識能力の促進を目指した AR 内視鏡下手術 支援ナビゲーションシステムの開発

Development of AR endoscopic navigation support system supporting doctors' cognitive ability

2181008



研究代表者	大阪電気通信大学総合情報学部 情報学科	准教授	大西克彦
共同研究者	関西医科大学	教授	埜中正博

## [研究の目的]

本研究の目的は、安全かつ正確に脳内の腫瘍を摘出するための内視鏡手術支援システムを構築することである。この摘出が安定に実現すると、腫瘍の取り残しがなくなることから患者の予後が延長するとともに、患者の術後の生活の質(QOL)が格段に向上する。内視鏡下手術では、術者はカメラなどの医療機器を通じて得られる視覚情報を頼りに施術を進めていく。しかし、カメラの視野が狭く、様々な中枢神経が複雑に配置されている脳内の限られた領域では、医師が腫瘍の全体像を正確に認識把握することが難しく、技術的な難度の高さが問題となる。そこで本研究では、医師の認識能力とセンサやコンピュータの情報処理能力の長所を融合調和し、安全かつ正確に腫瘍を摘出できる助手の存在を前提とした内視鏡手術システムを開発する。

本課題では、内視鏡カメラの位置姿勢の測定手法を検討する。そのために、実際の経鼻内視鏡を基にした擬似内視鏡モデルを作成し、擬似内視鏡と軽量な AR ライブラリである ArUco マーカを用いてカメラ先端位置推定手法を試作システム上に実装した結果を報告する。

## [研究の内容, 成果]

### 1. カメラ位置姿勢計測手法の流れ

本手法では、内視鏡カメラの反対側にマーカを設置して、外部のカメラから計測することで位置姿勢を推定する。取得したマーカの位置姿勢から先端のカメラ位置姿勢を推定するために、カメラ先端を認識するためのマーカを一時的に用意しマーカ間のベクトルを算出する。そして、この算出されたベクトルを利用して、移動中のカメラの位置姿勢算出する[1]。この作業は基本的に術前に行うものである。しかし何らかの原因でマーカの位置・姿勢にズレが生じた場合でも術中に再調整・登録を行うことが可能である。本手法の大まかな流れを図1に示す。なお、マーカは図2に示すような簡易な ArUco マーカ[2,3]を利用する。

次に座標系について説明する。外部カメラ座標系を $\Sigma_c$ 、マーカ座標系を $\Sigma_k$ とする。あらかじめカメラに取り付けたマーカを $M_{camera}$ 、内

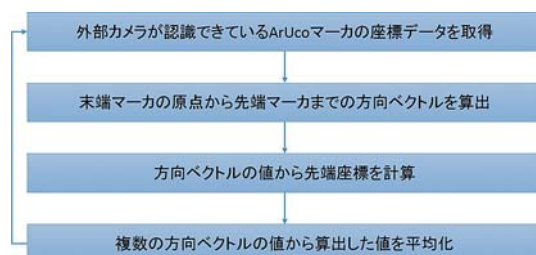


図1 位置姿勢計測手法の流れ



図2 AruCo マーカ

視鏡カメラ先端を認識させるための一時的なマーカを $M_{temp}$ とする。カメラ先端を $M_{temp}$ の原点に置き、それぞれのマーカの位置・姿勢の計測を行う。 $\Sigma_c$ で計測されたマーカ $M_{camera}$ の位置・姿勢をそれぞれ $P_{camera}^c$ ,  $R_{camera}^c$ とし、マーカ $M_{temp}$ の位置を $P_{temp}^c$ とするとき、内視鏡末端から先端への相対ベクトルを $P_{rel}^c$ を求める式は

$$P_{rel}^c = P_{camera}^c - P_{temp}^c$$

となる。また、 $P_{rel}^c$ の値は座標系 $\Sigma_c$ 上のため、マーカ座標系 $\Sigma_k$ に以下の式によって変換する。

$$P_{rel}^k = (R_{camera}^c)^{-1} \cdot P_{rel}^c$$

従って、術中に移動するメスの先端位置を $P_{tip}^c$ とすると値を求める式は、

$$P_{tip}^c = R_{camera}^c \cdot P_{rel}^k + P_{camera}^c$$

となる。また複数のマーカが同時に外部カメラに認識され、複数の先端位置が推定された場合は推定した値を平均化する。

## 2. 疑似内視鏡モデルの制作

外部カメラによって手法を検討するために、まず実際に手術で使用されている内視鏡を基に小型カメラを内部に取り付けた疑似内視鏡（図



図3 疑似内視鏡モデル

3) を制作した。制作のために実際の鼻腔内視鏡を3次元計測装置で計測しモデル化した（図4）後、マーカを取り付けるための土台を設計し（図5）3Dプリンタによって造形した。なおカメラデバイスはUSB接続の単焦点カメラを利用した。

## 3. 精度評価実験

試作システムによるマーカの認識精度についての基礎評価実験を行った。図6に示すような実験環境を構築した。実験条件は、図7に示す



図4 内視鏡モデル

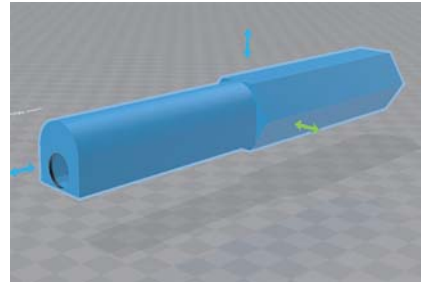


図5 マーカ設置部



図6 実験環境

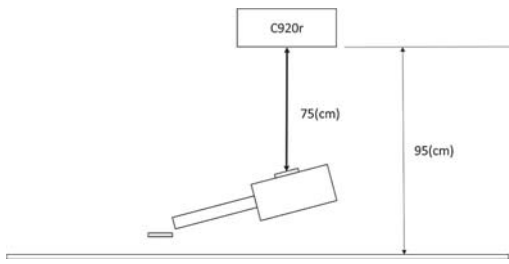


図7 実験条件

ように机上から 95 (cm) の高さに撮影面が地面と平行になるように外部カメラを設置し、外部カメラを用いてマーカの座標値を読み取る。そして、計測された数値を基にカメラ先端位置推定を算出した。計測方法は、疑似内視鏡を x 軸、y 軸、z 軸に対してそれぞれ初期位置から 5cm 移動させて、1 cm 毎の位置計測を 1 セットとして、10 セットの計測を行った。なお、疑似内視鏡の移動には平行移動計測ステージを利用した。実験結果として、図 8 に位置誤差測定結果を示す。位置において平均誤差は 1.8 (mm) 以下になった。また、x 軸で最大 3.26 (mm)、y 軸で最大 2.42 (mm)、z 軸で最大 2.16 (mm) の誤差が見られた。図 9 に姿勢誤差測定結果を示す。姿勢において平均誤差は 3 度以下になった。x 軸回転で最大 2.78 度、y 軸回転で最大 3.87 度、z 軸回転で最大 4.46 度の誤差が見られた。

実験結果から作成したグラフより軸移動・軸回転それぞれにおいて一定の精度を持っていることが確認できた。しかし回転角度によっては

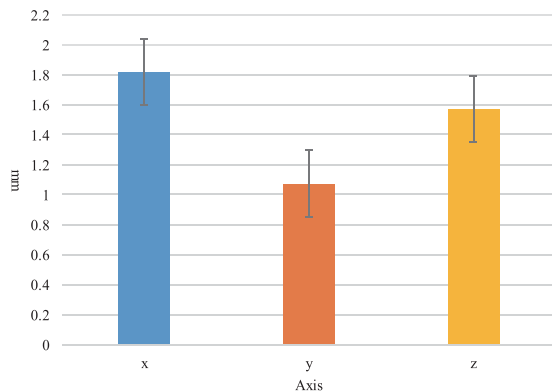


図8 位置誤差測定結果

認識されるマーカが安定しない場合が存在した。特に外部カメラとマーカが平行になった場合に多く見られた。このことから今回の実験環境において外部カメラとマーカが平行になる場合においての先端位置推定の精度が低下することが考えられる。

また、マーカの精度検証実験として、マーカを固定し 15 秒間位置計測し x, y, z の各軸の結果を図 10, 図 11, 図 12 に示す。図の横軸は計測回数を示す。この結果から、計測開始から 7 秒ほど経過後に各軸ともに測定結果が 1 mm 程度変化することが分かった。このことから、本試作システムの計測誤差の限界についても確認することができた。

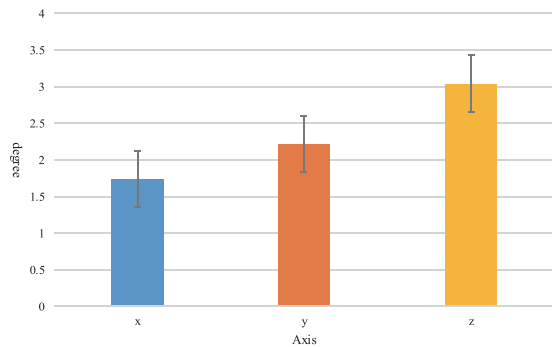


図9 姿勢誤差測定結果

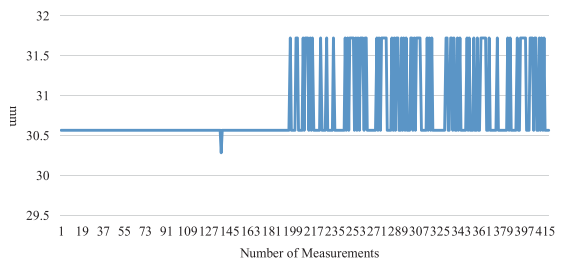


図10 マーカ精度検証結果 (x軸)

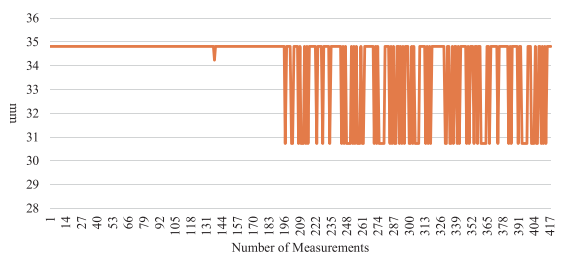


図11 マーカ精度検証結果 (y軸)

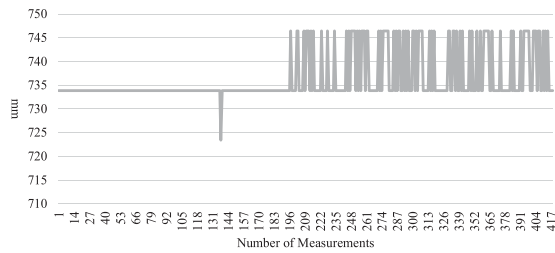


図12 マーカ精度検証結果 (z軸)

### [今後の研究の方向, 課題]

本研究では、内視鏡下経鼻的手術の手術支援ナビゲーションシステムの開発を目的とした内視鏡カメラの先端位置姿勢推定手法の検討と、実装システムを試作した。

今後の課題としては、カメラ先端位置姿勢計測のさらなる精度の向上のために、計測距離に応じたマーカサイズの検討や、光学式拡大機能を備えた外部カメラの利用を検討している。また、カメラ先端位置姿勢の計測値を基にした内視鏡カメラ映像への正確な3Dモデル重畳機能の検討を実験室で実施し、将来的には臨床実験による検証を実施する。

### [参考文献]

- [1] Yano, D., Koeda, M., Doi, M., Okumoto, K., Yoshida, S., Onishi, K., Noborio, H., Watanabe, K.: Accuracy verification of knife tip positioning with position and orientation estimation of the actual liver for liver surgery support system. *Journal of Bioinformatics and Neurosciences (JBINS)*, 3 (3), pp. 79-84 (2017).
- [2] Garrido-Jurado, S., Muñoz-Salinas, R., Madrid-Cuevas, F., Medina-Carnicer, R.: Generation of fiducial marker dictionaries using Mixed Integer Linear Programming. *Pattern Recognition*, 51 (2015). doi: 10.1016/j.patcog.2015.09.023.
- [3] Romero Ramirez, F., Muñoz-Salinas, R., Medina-Carnicer, R.: Speeded Up Detection of Squared Fiducial Markers. *Image and Vision Computing*, 76 (2018). doi: 10.1016/j.imavis.2018.05.004.

### [成果の発表, 論文など]

- [1] 文山誠友, 三木陽平, 大西克彦, 小枝正直, 登尾啓史, 桒中正博: 内視鏡下経鼻的手術におけるカメラ先端位置推定手法の検討, 情報処理学会 第81回全国大会 (IPSJ81) 講演論文集, 7ZC-01, pp. 4-181-4-182 (Mar. 2019).
- [2] Katsuhiko Onishi, Seiyu Fumiyama, Yohei Miki, Masahiro Nonaka, Masanao Koeda and Hiroshi Noborio: "A Study of Camera Tip Position Estimating Methods in Transnasal Endoscopic Surgery", In *Proceedings of The 21th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI2019)* (Jul. 2019). (to be appeared)