

- 鏡の臨床応用．第12回耳鼻咽喉科手術支援システム・ナビゲーション研究会 2010.10.23（名古屋）
10. 山本清二、竹内一隆、橋本泰幸、高橋吾郎、峯田周幸．我々が開発した光学式内視鏡手術ナビゲーターの精度検証．第13回耳鼻咽喉科手術支援システム・ナビ研究会．2011.11.5 東京
 11. 山本清二．はままつ発モノづくりと医療の融合—世界初の機能を持つ内視鏡手術ナビゲーターの開発—「指定演題」．第34回日本呼吸器内視鏡学会学術集会 2011.6.16-17 浜松
 12. 山本清二．はままつ発モノづくりと医療の融合（招待講演）．第5回信州メディカル産業振興会講演会 2011.10.17 松本
 13. 山本清二．「内視鏡手術を支援する手術ナビゲーター、立体内視鏡、超音波プローブの開発」．メディカルイノベーションフォーラム 2012．浜松医科大学スーパー特区中間報告会．2012.2.16 浜松
- G-3. 産学連携研究展示・発表**
1. 内視鏡手術用ナビゲーター展示（ハンズオンデモ）はままつメッセ 2010．平成22年2月4日・5日（浜松市）
 2. 内視鏡手術用ナビゲーター展示（ハンズオンデモ）オプトロニクスフォーラム 2010 in 浜松．平成22年3月2日（浜松市）
 3. 副鼻腔内視鏡手術用ナビゲーション装置および立体内視鏡システム出展：第111回日本耳鼻咽喉科学会総会．2010.5.20-22（仙台）にて、永島医科器械（株）と共同で展示説明（ハンズオンデモ）
 4. 副鼻腔内視鏡手術用ナビゲーション装置および立体内視鏡システム出展：第49回日本鼻科学会総会 2010.8.26-28（札幌）にて、永島医科器械（株）と共同で展示説明（ハンズオンデモ）
 5. 副鼻腔内視鏡手術用ナビゲーション装置出展：第12回耳鼻咽喉科手術支援システム・ナビゲーション研究会 2010.10.23（名古屋）にて、永島医科器械（株）と共同で展示説明（ハンズオンデモ）
 6. 立体内視鏡システム出展：日本脳神経外科学会 第69回学術総会．2010.10.27-29（福岡）にて、永島医科器械（株）と共同で展示説明（ハンズオンデモ）
 7. 副鼻腔内視鏡手術用ナビゲーション装置出展：Medica 2010 2010.11.17-20（デュッセルドルフ、ドイツ）にて、展示説明（ハンズオンデモ）
 8. 内視鏡手術用ナビゲーター出展：オプトロニクスフェア 2010 in 浜松 2010.11.24-25（浜松）にて、展示説明（ハンズオンデモ）
 9. 立体内視鏡システム出展：はままつメッセ 2011 2011.2.3-4（浜松）にて、展示説明（ハンズオンデモ）
 10. 立体内視鏡システム出展：第31回日本脳神経外科コンgres総会（横浜）2011.5.6-8にて、永島医科器械（株）と共同で展示説明（ハンズオンデモ）
 11. 副鼻腔内視鏡手術用ナビゲーション装置および立体内視鏡システム出展：第112回日本耳鼻咽喉科学会総会・学術講演会（京都）2012.5.18-21にて、永島医科器械（株）と共同で展示説明（ハンズオンデモ）
 12. 立体内視鏡システム出展：日本脳神経

- 外科学会・第 70 回学術総会（横浜）
2011.10.12-14 にて、永島医科器械（株）
と共同で展示説明（ハンズオンデモ）
13. 副鼻腔内視鏡手術用ナビゲーション装置出展：オプトロニクスクラスタフェア 2011 in Hamamatsu（浜松）
2011.10.19-21 にて、展示説明（ハンズオンデモ）
 14. 副鼻腔内視鏡手術用ナビゲーション装置出展：第 13 回 耳鼻咽喉科手術支援システム・ナビ研究会（東京）2011.11.5
にて、永島医科器械（株）と共同で展示説明（ハンズオンデモ）
 15. 副鼻腔内視鏡手術用ナビゲーション装置および立体内視鏡システム出展：第 50 回日本鼻科学会総会（岡山）
2011.12.1-3 にて、永島医科器械（株）と共同で展示説明（ハンズオンデモ）
 16. 副鼻腔内視鏡手術用ナビゲーション装置および立体内視鏡システム出展：はままつメッセ 2012（浜松）2012.2.2-3
にて、展示説明（ハンズオンデモ）

H. 知的財産権の出願・登録状況

直接の成果ではないが、関連する特許・意匠の出願・登録状況を以下に列挙する。

H-1 特許出願

1. 手術支援情報表示装置、手術支援情報表示方法及び手術支援情報表示プログラム。US 出願。出願番号：12/525267。
出願日：2009年7月30日。出願人：国立大学法人浜松医科大学。発明者：山本清二、寺川進、高矢昌紀
2. 手術支援情報表示装置、手術支援情報表示方法及び手術支援情報表示プログラム。EP 出願。出願番号：08703010.2。
出願日：2009年8月6日。出願人：

- 国立大学法人浜松医科大学。発明者：山本清二、寺川進、高矢昌紀
3. 手術支援システム。PCT 出願。出願番号：PCT/JP2010/053250。出願日：2010年3月1日。出願人：国立大学法人浜松医科大学。発明者：山本清二、高井利久、林本悦一、三浦 曜
 4. 山本清二他。手術支援システム、出願番号：09722265.7、出願国：EP、平成 22 年 9 月 15 日
 5. 山本清二他。手術支援システム、出願番号：12/933,232、出願国：US、平成 22 年 9 月 17 日
 6. 山本清二他。手術支援システム US 13/203,820（米国特許）平成 22 年 3 月 1 日

H-2 登録特許

1. 山本清二他。手術支援装置、方法及びプログラム（日本）、登録番号：特許第 4630564 号、登録日：平成 22 年 11 月 19 日
2. 山本清二他。手術支援装置、方法及びプログラム（オランダ）、登録番号：1738709、登録日：平成 22 年 9 月 15 日
3. 山本清二他。手術支援装置、方法及びプログラム（ドイツ）、登録番号：602005023593.0-08、登録日：平成 22 年 9 月 15 日
4. 山本清二他。生体印象取得装置、方法及びプログラム（日本）、登録番号：特許第 4630564 号、登録日：平成 22 年 11 月 19 日
5. 山本清二他「手術支援装置、方法及びプログラム」、特願 2006-032605、平成 18 年 2 月 9 日出願、特許第 4836122 号、平成 23 年 10 月 7 日登録

I. その他

I-1 研究開発の総合的推進体制

下記の会議を開催し研究開発の連携を密としつつ円滑に運営していった。研究代表者（山本）が参画機関および共同研究企業の連携・調整にあたった。

A) 低侵襲手術支援システム開発実務者会議

毎月1回（第一月曜日夕方）主に浜松地域の企業の実務者を中心に研究開発の進捗・問題点・今後の方針等を検討した。

B) 低侵襲手術支援システム開発責任者会議

3ヶ月に1回 浜松市で開催：参画機関・企業の開発責任者が集まり、開発および研究開発業務の問題点を討議した。

本研究開発における装置開発では、初期の段階から常に医療機器承認を念頭においた研究開発を行いつつ実用化・事業化（事業化主体は永島医科器械株式会社）を最終目標とするという見解を、永島医科器械のみならず参画企業・機関全部が確認してきた。

I-2 マーケティング活動

研究成果については、特許出願などの問題がクリアされれば積極的に公表（学会発表、展示会出展）し広報活動および情報収集を行い、装置の認知度を高めると共に、将来の矢状調査の参考にした点は特筆される。作機を展示しハンズオンデモを行いながら、ユーザーとしての医師の操作性の評価や機能の要求を聞き開発の参考とした。

I-3 受賞

第5回（平成22年度）モノづくり連携大賞・中小企業部門賞「はままつ発モノづくりと医療の融合 ―世界初の機能を持つ内視鏡

手術ナビゲーターの開発―」

（主催：日刊工業新聞社、共催：（独）中小企業基盤整備機構、後援：経済産業省、文部科学省、（独）NEDO技術開発機構、日本経済団体連合会、日本商工会議所）

MEDTEC J a p a n 2 0 1 2

Medtecイノベーション大賞・奨励賞

永島医科器械株式会社、株式会社アメリオ、パルステック工業株式会社、株式会社ゾディアック、株式会社エヌエスティ

「低侵襲手術を支援する内視鏡手術ナビゲーター」

I-4 新聞報道

当該研究の直接の成果ではないが、当該研究期間内（平成23年4月～平成24年3月）に関連する話題が報道されたので、以下に示す。

1. 日経新聞. 平成22年2月10日. 次代をひらく 医療の新潮流「先端施設のトップランナーたち」
2. 中日新聞. 平成22年3月3日. 光電子工学の研究結果発表
3. 静岡新聞：産学官で医療産業創出 事業周知へ講演、概要説明 平成22年5月29日
4. 日刊工業新聞：第5回モノづくり連携大賞受賞紹介 平成22年11月9日
5. 日本経済新聞：モノ作りの技 医療に活用へ 平成23年1月20日
6. 中日新聞：技術生かし新事業を 浜松医科大医工連携セミナー 平成23年3月29日
7. 健康医療産業に拠点／産学官が連携し完成 平成23年4月16日（土） 静岡新聞
8. 浜松の産学官連携／健康医療産業の創出へ拠点完成 平成23年4月16日

- (土) 中日新聞
9. 医工連携拠点開設／世界に役立つ医療を 平成 23 年 4 月 16 日(土) 日本経済新聞
10. イノベーションコーディネータ賞／医療と工業連携推進 平成 23 年 11 月 2 日(水) 中日新聞
11. 鼻の内視鏡手術用ナビ装置／薬事認可を取得、製品化 平成 24 年 3 月 29 日(水) 静岡新聞
12. 鼻の周辺手術安全向上／内視鏡ナビ製品化 平成 24 年 3 月 29 日(木) 中日新聞
13. 内視鏡ナビ誤差 2 ミリ／ちくのう症向け発売 平成 24 年 3 月 29 日(木) 日本経済新聞

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
特記すべきものなし							

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Seiji Yamamoto, et al.	Newly developed surgical navigator for endoscopic sinus surgery based on 3D measurements using a white light scanner	Int J CARS	4 (Suppl 1)	S74-75	2009
山本清二	白色光による3次元形状計測を利用した手術ナビゲーションシステム	第45回光波センシング技術研究会講演会講演・論文集		161-166	2010
橋本泰幸、高橋吾郎、峯田周幸、友田幸一、山本清二	鼻内手術用立体内視鏡の臨床応用	耳鼻咽喉科展望	54	306-309	2011
山本清二、竹内一隆、橋本泰幸、高橋吾郎、峯田周幸	我々が開発した光学式内視鏡手術ナビゲーターの精度検証	耳鼻咽喉科展望		<i>in press</i>	

研 究 成 果 の 刊 行 物 ・ 別 刷

Newly developed surgical navigator for endoscopic sinus surgery based on 3D measurements using a white light scanner

Seiji Yamamoto¹⁾, Akira Miura³⁾, Kazumasa Mochizuki³⁾, Tomohiko Nakamura³⁾,
Toshihisa Takai⁴⁾, Etsukazu Hayashimoto⁴⁾, Masaki Orimoto⁵⁾, Hiroshi Saitoh⁵⁾,
Jun Hotta⁶⁾, Yasuyuki Suzuki⁷⁾, Hiroyuki Mineta²⁾

¹⁾Photon Med Res Ctr, and ²⁾Dept of Otorhinolaryngology, Hamamatsu Univ Sch Med, Hamamatsu, Japan; ³⁾Amelio Incorporated, Hamamatsu, Japan; ⁴⁾Pulstec Industrial Co., Ltd., Hamamatsu, Japan; ⁵⁾Nagashima Medical Instruments Co., Ltd., Tokyo, Japan; ⁶⁾Zodiac Co., Ltd., Hamamatsu, Japan; ⁷⁾NST Co., Ltd., Hamamatsu, Japan

Purpose: Endoscopic sinus surgery (ESS) has been widely used for patients with sinusitis, nasal polyps, tumors, and similar problems. While complications are fewer with ESS than with the more invasive traditional surgeries, some serious complications remain, including blindness, double vision, and massive bleeding. Recent technologies allow us to use a surgical navigator during surgery, but this device does not work for ESS, because: 1) the methods for registration are still complicated and time-consuming; and 2) surgical navigators require references such as headgear with spheres on the face to follow patient motion during surgery. To resolve these problems, we have developed a new surgical navigator based on three-dimensional (3D) measurements using a white light scanner.

Methods: To acquire the 3D data for registering patients' images and tracking surgical instruments, we used a white light scanner. Projecting a modulated striped pattern using the white light of a xenon lamp, this scanner provides the surface 3D data. Before starting surgery, to set the patient's face and the presurgical computed tomography (CT) images in the same global coordinate system, we registered scanned 3D surface data of a patient's face onto the corresponding surface extracted from CT. When a surgeon wanted to know the accurate position of surgical instruments during surgery, the white light scanner captured on demand the 3D data of the surgical instruments with spherical markers and the data of the patient's face simultaneously. The position of the patient was compared with that at the previous measurement, the registration was up-dated, and, then, the position of the instrument was calculated and presented on the CT images.

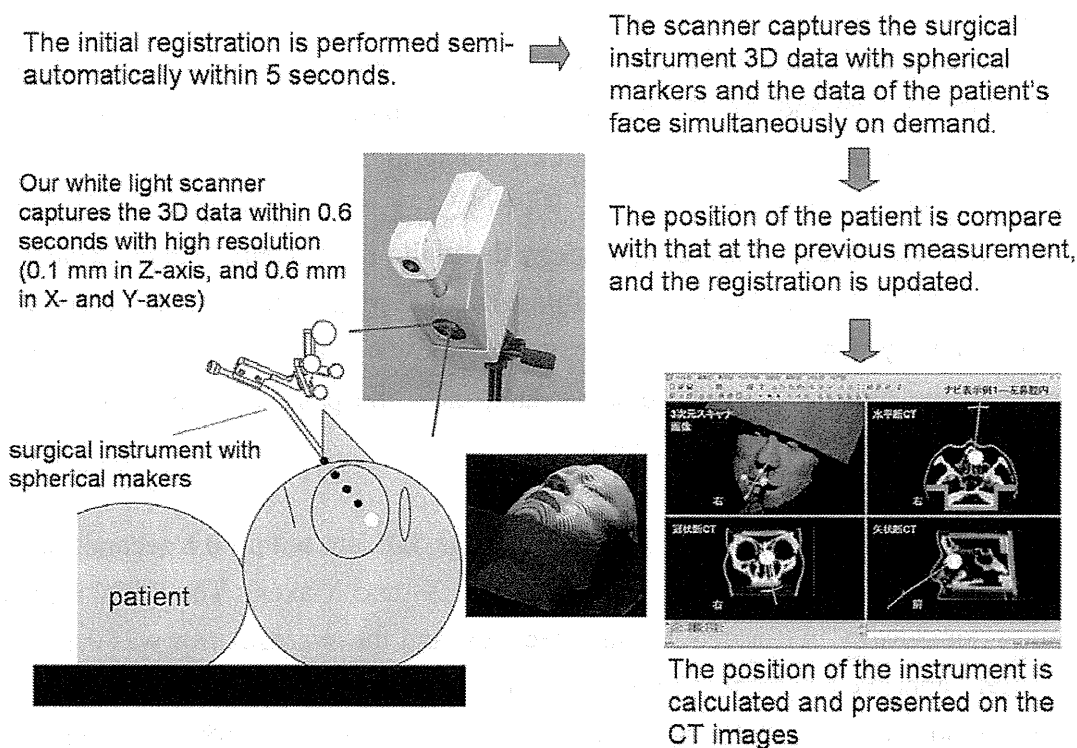
Results: Our white light surface scanner captured the 3D data within 0.6 seconds with high resolution (0.1 mm in the Z-axis and 0.6 mm in the X- and Y-axes). The initial registration was semi-automatically performed within 5 seconds, and the average error was 0.8 mm. The clinical trial, approved by the Committee on Ethics of Clinical Study in Hamamatsu University School of Medicine, has been performed in 6 cases of ESS. Our navigator was

very useful during ESS. The surgeons performed registration without any complicated procedure. Even during surgery, registration can be performed, since it requires no direct contact with the patient. Our system followed well the movement of patients during surgery, and it provided the accurate position of surgical instruments within 2 seconds. We have recently developed another new system by modifying our above-mentioned navigator. The position and the direction of rays in an endoscope with spherical markers were calculated based on the data obtained with the white light scanner, and the position of the center in the endoscopic view was demonstrated on the CT images. This new system will allow us to use all surgical instruments without any markers.

Conclusion: Our new surgical navigator has three main advantages: 1) it is a completely frameless and markerless system; 2) it features easy and semi-automatic registration without direct contact with patients; and 3) it updates registration and tracking information when patients move. Our other modified system provides information about surgical navigation by indicating the location of the center in an endoscopic view, which allows surgeons to use any available instrument without markers during surgery.

This work was supported by grants from the *Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry* (METI) and from the *Japan Science and Technology Agency* (JST).

Key words: frameless navigator, markerless navigator, endoscopic sinus surgery, white light scanner



LST45-27

白色光による3次元形状計測を利用した手術ナビゲーションシステム

山本清二

浜松医科大学・光量子医学研究センター

〒431-3192 浜松市東区半田山 1-20-1

Eメール: seijiy@hama-med.ac.jp

Surgical Navigation System for Endoscopic Surgery Based on 3D Measurements Using a White Light Scanner

Seiji Yamamoto, MD, PhD

Photon Medical Research Center, Hamamatsu University School of Medicine

1-20-1 Handayama, Higashi-ku, Hamamatsu, 431-3192, Japan

E-mail: seijiy@hama-med.ac.jp

Abstract

We have developed a new surgical navigation system based on three-dimensional (3D) measurements. To acquire the 3D data for registering patients' images and tracking surgical instruments, we used a white light scanner. Projecting a modulated striped pattern using a xenon lamp, our surface scanner captured the 3D data within 0.6 seconds with high resolution (0.1 mm in the Z-axis and 0.6 mm in the X- and Y-axes). Before starting surgery, to set the patient's face and the presurgical computed tomography (CT) images in the same global coordinate system, we registered scanned 3D surface data of a patient's face onto the corresponding surface extracted from CT. When a surgeon wanted to know the accurate position of surgical instruments during surgery, the white light scanner captured on demand the 3D data of the surgical instruments with spherical markers and the data of the patient's face simultaneously. The position of the patient was compared with that at the previous measurement, the registration was up-dated, and, then, the position of the instrument was calculated and presented on the CT images. We have also developed another new system by modifying our above-mentioned system. The position and the direction of rays in an endoscope with spherical markers were calculated based on the data obtained with the white light scanner, and the position of the center in the endoscopic view was demonstrated on the CT images. This new system will allow us to use all surgical instruments without any markers.

1. はじめに

内視鏡手術はその低侵襲性ゆえに近年盛んに用いられるようになってきている。しかし、手術用内視鏡は距離感をつかみにくい単眼視であり、視野も狭くどこをどのように手術しているのか分りにくいという問題がある。この内視鏡手術を安全に行うためには、手術ナビゲーション装置（カーナビゲーションのように、現在の位置と周辺の構造を示し手術を支援する装置）が必要である。特に内視鏡を用いることが主流になっている副鼻腔手術では、重要な構造に囲まれた狭い領域を手術することになり、より安全かつ確実に手術するためには、手術用ナビゲーションが有用である。ナビゲーションを使用

する最大の利点は、術者の解剖学的位置関係の理解の裏付けができ、安全に手術操作を加えることができることである。現在、内視鏡下の副鼻腔手術に際して使用できるナビゲーションシステムが供給されているが¹⁾、1) 位置合わせ操作が煩雑で使いにくい；2) 準備に時間がかかる；3) 患者を動かさないように固定するか、動きに追従するためのリファレンス（患者の頭部につけるアンテナ）が必要などの欠点がある。これらの欠点を克服するために様々な工夫がなされてきたが、必ずしも解決されたとはいえない²⁾。そのため件数が多いにもかかわらず、内視鏡下の副鼻腔手術には手術ナビゲーションが未だに広く導入されているとはいいがたいのが現状である。

我々は、現在のナビゲーションシステムの欠点を補い、内視鏡下の副鼻腔手術に適するナビゲーションシステムを実現するために、白色光による3次元形状計測を利用した手術ナビゲーションシステムを開発してきた^{3, 4)}ので報告する。

2. 白色光による3次元形状計測を利用したナビゲーションシステムの概要

ナビゲーションを行う場合には、術前 CT を撮影しそれを DICOM 形式でナビゲーションシステムに取り込んでおく。術前 CT 撮影に際しては特別な制限はなく、従来のナビゲーションシステムのように患者にマーカーを付けて CT 撮影を行う必要はない。手術に際しては、手術室で位置合わせを行い、手術中に標識球付きの手術器具の撮影を行って術前 CT にその先端位置を表示することを繰り返す（図 1, 2）。

2-1. 撮影用スキャナ：

既存のナビゲーションシステムは、反射式・発光式を問わず、いずれも空間における点の位置を検出することにより、3次元空間での座標、すなわち3次元位置を算出している。我々は、点を検出する方法とは異なり、面により3次元形状を瞬時に計測する新たなナビゲーションシステムを開発した。患者の表面形状と標識球付き手術器具の撮影に

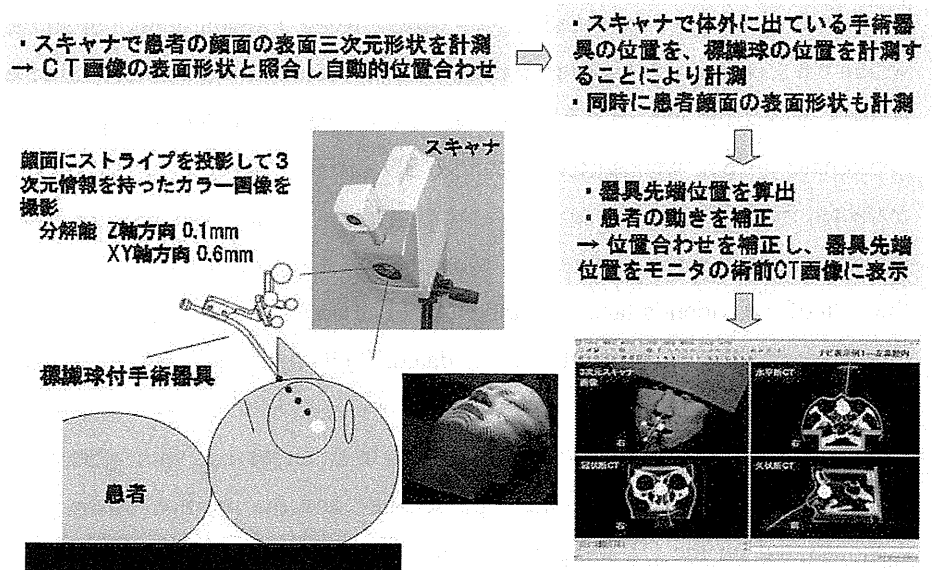


図1 白色光による3次元形状計測を利用したナビゲーションシステム

特願 06-032605

は、白色光を用いた3次元形状計測スキャナ（fscan、パルステック社、浜松市）を使用した。キセノンライトの白色光によりストライプ模様を作り投影し、CCDカメラによりその模様を撮影し3次元形状を計測する。CCDカメラでカラー画像が同時に撮影できるので、3次元位置情報を持ったカラー画像としてデータを出力することが可能である。分解能はZ軸方向0.1、XY方向0.6mm、撮像時間は約0.6秒である。撮影に使用するのは白色光であり、レーザーを使わず安全である点は、医療機器として重要なポイントである。

2-2. 自動化された位置合わせ：手術開始に先立ち位置合わせのために、白色光スキャナで患者の顔面（およそ上顎から眉毛部まで）を撮影する。撮影した患者顔面の表面形状と、あらかじめ取り込んでおいた術前 CT 画像のサーフィスレンダリングによる表面形状をマッチングさせることにより、瞬時に自動的に位置合わせが行え、術前 CT と術中患者を同一の座標に乗せられる。この操作により、手術中の患者の周りの座標を決定すると、術前 CT にその位置を表示することが可能になる。位置合わせの誤差は現在 0.8 mm である。

2-3. 手術器具の計測と表示：手術中に術者が手術している場所を解剖学的に確認する必要があると思った時に、標識球付手術器具と患者の顔面を 3次元形状計測スキャナで撮影する。その画像から、ソフト上で標識球を自動抽出しその 3次元位置を算出、あらかじめ分かっている位置関係に基づいて手術器具先端の 3次元位置を算出し術前 CT に表示する。もし初回の位置合わせ以後に患者の頭部を動かした場合でも、患者の顔面を白色光を用いた 3次元形状計測スキャナで同時に撮影しているので、顔面形状を自動認識することにより、再度パターンマッチングを行い、位置合わせを自動的に補正することが可能であり、患者の動きに追従することができる。現時点では、撮影から表示までのプロセスは 1 秒以内で可能である。

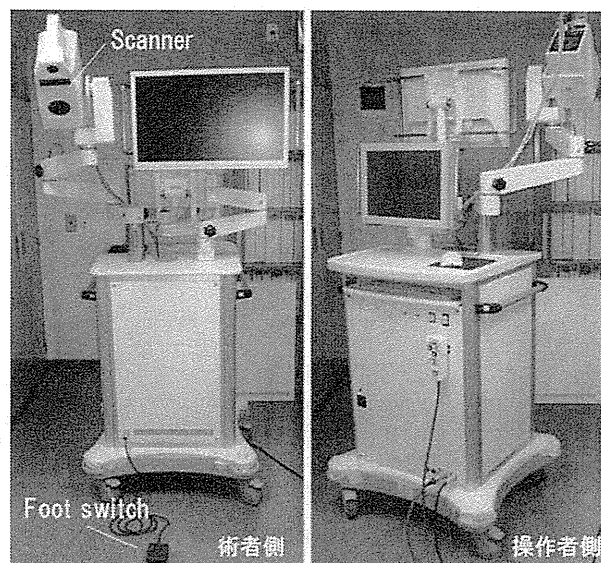


図2 手術器具の先端位置を示す内視鏡手術ナビゲーター（事業化版最新バージョン）

3. 手術器具の位置ではなく内視鏡の観察部位を教えるナビゲーションシステム

既存の手術ナビゲーションシステムや前述の我々の開発した装置は、いずれも手術器具先端の位置を検出して表示するものであり、手術器具の位置を検出するために、器具に標識球を付けるのが一般的である。しかし、手術器具は長年にわたり外科医が使い込んできたことにより、その形状、重さ、バランスが決定されてきたという歴史的背景があり、手術器具に余分なものを付加しないのが理想的である。これらの問題を解決するために、手術器具先端位置ではなく内視鏡で観察している部位の中心を術前画像に表示することにより、術者に手術部位を教える新たなナビゲーション装置を考案した。

3-1. 内視鏡の観察部位を教えるナビゲーションシステムの概要：新しく考案したシステムも手術器具先端の位置を検出して表示するナビゲーションシステムと同様に、術前 CT を撮影し、それを DICOM 形式で事前にナビゲーションシステムに取り込んでおく。手術当日の操作も同様で、手術室で位置合わせを行う。新しく考案したナビゲーション装置では、手術器具の先端位置を表示するのではなく、術前 CT にその観察画面の中心位置を表示する。しかもそれを実現するために、距離計測装置など特殊な機能を持った内視鏡でなくても、内視鏡に標識球を付け、その撮影結果をソフトウェア上で処理して実現するところが特徴である（図 3）。

3-2. 内視鏡観察画面の中心位置の算出と表示：DICOM 形式で事前にナビゲーションシステムに取り込んだ CT は、面で形成されたポリゴンデータに変換しておく。手術中に標識球付内視鏡を白色光スキャナで撮影する。その画像から、ソフトウェア上で標識球を自動抽出しその 3 次元位置を算出し、あらかじめ分かっている位置関係に基づいて内視鏡光軸の 3 次元空間における式を算出する。この式をソフトウェア上で処理し、内視鏡観察画面の中心位置の座標を算出するのに用いる。なお、標識球付内視鏡と共に患者顔面も同時に撮影するので、初回の位置合わせを更新して患者の動きに追従できることは同様である。内視鏡光軸とポリゴンデータ化した CT の副鼻腔壁との交点の 3 次元座標を算出し、術前に撮影した CT 画像にその位置を表示する。現時点では、撮影から表示までの時間は、手術器具先端の位置を表示する前述のナビゲーションシステムと同様で、1 秒以内で可能である。

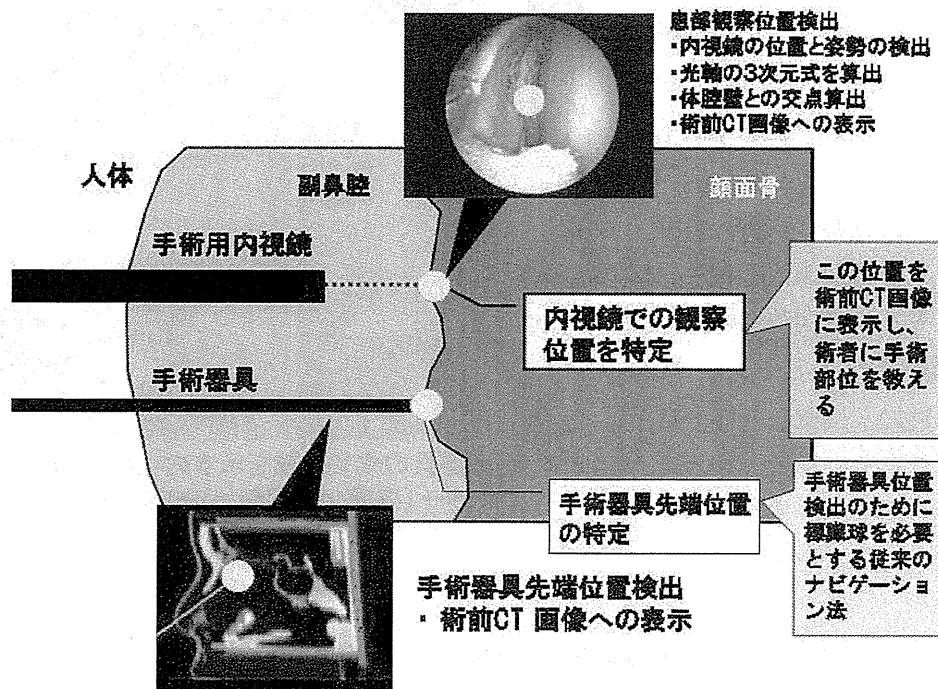


図3 内視鏡観察画面の中心位置を示す新規ナビゲーション

手術操作には内視鏡場にならない邪魔のけら付を標識球に所距離計測、れること機能な特殊など機能内の普通たない持をできる使用でも視鏡器具あらゆる、ことえて替り持に自由をが、できること手術。である利点
特願 07-022077、特願 08-068606

4. 考察

新たに開発したナビゲーションシステムは、白色光を用いた 3 次元形状計測スキャナによりを測定し、形状マッチングによる自動的な位置合わせを行い、同じ装置で手術器具の位置を測定し術前 CT に表示するシステムである。位置合わせの平均誤差は 0.8 ミリで精度も高く、位置合わせの計算時間は 2 秒で、あらかじめ術前 CT データの読み込みを行っておけば、初回の位置合わせは 30 秒以内で実施できる。既存のナビゲーションシステムは、反射式・発光式を問わず、いずれも空間における点の位置を検出することにより、3 次元空間での座標、すなわち 3 次元位置を算出している。そのため計測した点の意味づけを行う必要があり、マーカーを付けて術前 CT 撮影を行いそのマーカーの位置や顔面の特定の部位を指し示して位置合わせに用いるいわゆるランドマーク方式を採用する必要がある。このため、位置合わせ操作が煩雑である他、術前 CT 撮影から手術まで患者にマーカーを付けたままにする必要があり、精度の劣化と患者の煩わしさが問題となる。完全にマーカーレスである点が、我々のシステムの第 1 の利点である。

また、離れた場所から非接触で撮影しコンピュータに位置合わせの指示をする操作以外に必要な操作はない。従って、術中であってもすぐに位置合わせのやり直しができる点で優れている。標識球付

手術器具を撮影する際に、露出した顔面も同一のスキヤナで同時に撮影するので、このデータを用いて患者が動いていないかをチェックし、動いていた場合には位置合わせをアップデートする方式を採用することが可能であり、患者の動きに追従することを可能にした。既存のナビゲーションシステムは、患者を動かさないように固定するか、動きに追従するためのリファレンス（患者の頭部につけるアンテナ）が必要である。患者を固定するためにピンで頭部を固定するが、術後の痛みは患者にとって苦痛であり避けるべきである。また、頭部につけるリファレンスも、リファレンス固定のために装着部が腫れたり、テープで止める場合にかぶれたりして患者の苦痛の原因になる。また、術中にリファレンスがずれるために精度の劣化が起りやすいという問題も含んでいる。リファレンス不要で患者の動きに追従できる点が、我々のシステムの第2の利点である。

我々は白色光を用いた3次元形状計測スキヤナにより、手術器具先端位置ではなく新たに内視鏡で観察している部位の中心を術前面像に表示することにより、術者に手術部位を教えるナビゲーション装置を考案した。これにより全く制限がなく任意の手術器具を使用出来るナビゲーションが実現できるが、そのような装置が存在しないのが現状である。すでに、オリンパスから内視鏡の観察位置を表示しナビゲーションを行う方法は提案されている⁵⁾。これは、内視鏡先端に距離計測機能を付加した物であり、1) 特殊な内視鏡を必要とするため、内視鏡そのものをあらたに購入する必要があり、滅菌操作や維持管理にも問題を残す；2) 手術器具が内視鏡の前方を横切る、あるいは前方に存在するので、内視鏡から手術器具までの距離を計測してしまい、結果的に観察している部位を正確に検出しない；3) 光軸と内視鏡鏡筒の中心軸は完全に一致しておらず6度程度ずれているので、内視鏡先端と観察面との距離計測のみでは精度良く観察位置を同定できない、などいくつかの問題点を含んでいる。我々の方法では、既存の内視鏡に標識球をつけるだけで実現できる点で優れ、上記の欠点は克服している。

我々のナビゲーションシステムの問題点としては、白色光を用いた3次元形状計測スキヤナは投影したストライプ模様を読み取るという特性から、无影灯の下では明るすぎて画像が取りにくいという欠点があり、内視鏡下の手術以外には使いにくい。フィルターの使用による特定の波長の投影とその模様の読み取りや、近赤外光の利用により、明るい光の下でも撮影できる可能性があり、今後更なる研究を要する。

5. まとめ

我々は、従来のナビゲーションシステムのような光学式に点を検出する方式とは異なり、光学式に面を検出し形状をマッチングさせることによる自動的な位置合わせと、同じ装置で手術器具の位置を測定することを実現した。これにより、完全なマーカーレスシステムであり、自動化された簡単な位置合わせ操作、患者を手術中に動かしても位置合わせを自動的に行えるなどの優れた点を生み出した。さらに、このナビゲーションシステムを発展させ、従来のナビゲーションシステムのような手術器具の先端位置を表示する方式とは異なり、内視鏡観察画面の中心位置を表示する新しいナビゲーションシステムを試作した。これは、内視鏡の光学系に変更を加えたり、距離計測機能を付加した特殊な内視鏡を使用したりすることなく、実際の計測データをソフト上で画像処理するものであり、標識球など余分なものを付加しないあらゆる手術器具を任意に自由に持ち替えて手術することが可能である。これにより、あらゆる器具を自由に持ち替えて、内視鏡で観察している部位を解剖学的に認識しながら手術できる。

謝辞

この研究は、経産省地域新生コンソーシアム研究開発事業（H19年）、経産省地域イノベーション創出研究開発事業（H20年）、JST 地域イノベーション創出総合支援事業（H19～21年）により行われた、浜松医科大学（浜松市）、パルステック工業（株）（浜松市）、（株）アメリオ（浜松市）、（株）ゾディアック（浜松市）、（株）エヌエスティー（浜松市）、永島医科器械（株）（東京都）の産学共同研究成果である。

参考文献

- 1) 友田幸一, 村田英之, 宮澤 徹: 鼻副鼻腔領域ナビゲーション手術の現状. 日本鼻科学会会誌 40 : 69~71, 2001.
- 2) 木内庸雄, 矢野裕之, 肥塚 泉: 当科におけるナビゲーション手術の導入-各社の光学式ナビゲーション機器を試用して-. 耳鼻咽喉科展望 49 : 35~40, 2006.
- 3) 山本清二, 渡邊高弘, 岩崎 聡, 細川誠二, 竹下 有, 峯田周幸, バイガルマ・ツァーガン, 阿部圭一, 中谷広正, 寺川進: 新しい副鼻腔手術用光学式ナビゲーションの開発. 耳鼻咽喉科展望 50 : 385~388, 2007.
- 4) Yamamoto S, Miura A, Mochizuki K, Nakamura T, Takai T, Hayashimoto E, Orimoto M, Saitoh H, Hotta J, Suzuki Y, Mineta M Newly developed surgical navigator for endoscopic sinus surgery based on 3D measurements using a white light scanner. Int J CARS 4(Suppl 1):S74-75, 2009.
- 5) オリンパス光学株式会社（出願人）: 手術用ナビゲーションシステム. 特開 2001-204738 号.

鼻内手術用立体内視鏡の臨床応用

橋本泰幸¹ 高橋吾郎¹ 峯田周幸¹
友田幸一² 山本清二³

はしもとやすゆき、たかはしごろう、
みねたひろゆき、ともだこういち、
やまもとせいじ

- 1) 浜松医科大学 耳鼻咽喉科
- 2) 関西医科大学 耳鼻咽喉科
- 3) 浜松医科大学 光量子医学研究センター

I. はじめに

近年、3-Dimensional(3D)表示による立体内視鏡システムが、腹腔内手術や胸腔内手術などにおいて導入され、その有用性が報告されるようになっている¹⁻²⁾。狭い視野においては、病変部位を把握し、解剖学的に危険な部位を如何に判別するかが重要であり、従来の2-Dimensional(2D)表示による単眼式内視鏡と比較して奥行き情報の判断がしやすいことが利点としてあげられる。

今回我々は、永島医科器械と共同開発した立体内視鏡と3Dビューアを鼻内手術に試用した。我々のシステムは2眼1カメラ方式の立体内視鏡に、カメラアタッチメントを介してCCDカメラ(1920 X 1080 pixels)を接続し内視鏡像を撮影する。得られたハイビジョン画像を3Dビューアに表示し、術者はそれを見て立体視をしながら手術を行う。術者がモニターの位置に合わせて無理な姿勢をとる必要なく施術できる、他に類のない特徴を持つシステムである。立体視により術者の疲労を減らし、より安全に内視鏡手術を行うことが可能になるものと考える。その使用経験について報告する。

II. 立体内視鏡

従来の内視鏡は1眼1カメラ方式であり、縦、横情報のみの2D情報から奥行きを判断する。そのため不慣れた術者においては、内視鏡先端の位置を認識するのに若干の困難を伴うことになる。我々は、立体視を可能にするため両眼視差を利用した2眼1カメラ方式の内視鏡システムを開発した(図1)。内視鏡内に鏡筒に平行して2本の光軸を配し、カメラアタッチメントを介して1つのハイビジョンカメラと接続する。2点の視野から得られた画像を3Dビューアに表示し、立体を認識させる。

III. 3Dビューア

立体内視鏡の2眼レンズから得られた像を1つのCCDカメラにて撮影し、左右並んだ形で1つの動画ファイルとして記録される(図2)。術者は3Dビューア

ーアを使用し左右それぞれに分離した画像を見て、立体を認識する（図3）。

IV. 症例提示

症例は53歳男性、鼻中隔彎曲症の診断にて全身麻酔下に鼻中隔矯正手術を行った。立体内視鏡を使用し、術者には3Dビューアを用いて画像を提示した。術者の体位は、術者の通常の内視鏡手術と同様に立位で行った。3Dビューアは可動式のスタンドに装着され、術中も術者の望む位置に移動させて使用することが可能であった。室内のスタッフには、壁面に設置された大型モニターを使用し内視鏡画像を表示した（図4）。専用のビューアやメガネを用いなくとも、平行視に慣れた者であれば立体視は可能であった。

医療機器としての承認されていない器具に該当するため、今回の手術にあたり事前に浜松医科大学倫理委員会に使用申請し承認を得た。被験者には事前に文書にて説明し、承諾を得た。

V. 考察

内視鏡手術は狭い術野でも手術ができるため利点は多い。しかし、現在広く使用されている手術用内視鏡は単眼視であり、距離感がつかみにくいことに問題がある。近年、術野の奥行情報が得やすい立体内視鏡が使用されるようになり、今後も様々な分野での使用拡大が見込まれている。立体内視鏡は、光学方式によるものや先端にCCDを2つ装着する方式などがあるが、基本的には2眼により対象を撮影する。その一方、立体視方式は様々な方法が試行されているのが現状である。国内でもドーム型スクリーン面上に左右映像を円偏光方式で同時投影するもの³⁾や時分割表示方式（フレームシーケンシャル方式）などが報告されている。我々のシステムでは簡便な裸眼立体方式であるサイドバイサイド（平行法）を採用した。

市販のテレビに多く採用されているフレームシーケンシャル方式は、視聴する際に専用の眼鏡をかける必要があり、更にはモニターに対し頭部を平行に保つことが求められる。坐してテレビを見るような場合にはよいが、手術に際し、術者の頭部は常に画面に対し水平に保たれているとは限らない。また、内視鏡画像のみでなく、肉眼視を併用して鼻内手術を行う場合に通常のものより重く大きな偏光レンズ式や、電子シャッター式的眼鏡の装着は長時間にわたる場合に術者の疲労の一因となることが予想される。

今回使用した3Dビューアは、術者自身には眼鏡などの器具の装着を必要としない。随時、術者の望む位置、角度にアームを動かすことで、周りからの反射光も入らず、簡便に立体視することが可能である。術中の使用感は、顕微鏡手術に近い印象であった。立体視しながらも、他の2Dモニターに映し出されたCT画像の確認は行い易く、スタッフとの意思疎通においても、視界の切り替えによる違和感、疲労感を覚えることはなかった。

麻酔医をはじめとするスタッフへの画像提示は、通常室内モニターに左右どちらかの画像を表示することで可能であり、導入へのコスト負担は少ないことも利点として考えられた。

2D画面に表示される両眼視差・両眼輻湊角方式の立体視システムでは、目

の焦点は常時画面上に有り、その焦点調節距離と立体結像位置の違いに生理的な奥行き情報の違いがある。これは実際の三次元空間を使用して表示しない限り解決しない。このため平面に表示されることによる眼精疲労の可能性が考えられる。そのことについて調べた山内⁴⁾らによれば、2Dと3Dとの間に自覚疲労の増大は生じないとしている。また Plichler⁵⁾らによれば、立体内視鏡下の鉗子移動操作の疲労は、単眼方式の内視鏡に比較し優位に少ないとある。今回の手術においても、単眼内視鏡と比較して奥行きがしやすく、疲労の少ない印象があった。このことは、あまり症例経験数の多くない術者においても、立体内視鏡の使用が勧められると考えられた。耳科手術に代表されるように、耳鼻咽喉科医は顕微鏡手術には慣れている者も多く、多くの違和感を伴うことなしに立体視に移行できるものと思われる。今後、安全で術者の疲労も軽減する内視鏡の3D化は広まっていくものと予想された。

VI.まとめ

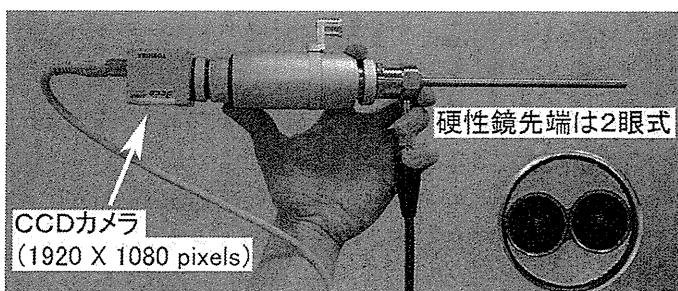
本研究は永島医科器械（株）との産学連携研究の成果である。

参考文献

1. 白橋幸洋、岩田尚、松本真介、山田卓也、関野考史、他：立体内視鏡を用いた肺部分切除の一例. 日内視鏡外会誌 11(7):432,2006
2. 滝内秀和、安田和生、山本新吾、川喜田睦司、他：腹腔鏡下根治的前立腺全摘術における3次元立体内視鏡の有用性. 日泌会雑誌 101(2):177, 2010
3. 家入里志、大内田研宙、山本厚之、澤田一哉、鬼丸学、他：画像診断の小児外科への応用 新規内視鏡外科手術用ドーム型立体映像提示システム (Cyber Dome 3D)を用いた内視鏡外科手術の経験
日本小児外科学会雑誌 46(3)499.2010
4. 山内康司、篠原一彦：立体内視鏡下手術操作時の疲労に対する両眼立体視の影響. 日コンピュータ外会誌 7(2):115-125. 2005
5. C. von Pichler, K. Radermacher, W. Boeckmann, G. Rau and G. Jakse,: Stereoscopic Visualization in Endoscopic Surgery: Problems, Benefits, and Potentials. Presence 6(2): 198-217, 1997.

(図1)

両眼視差を利用した2眼1カメラ方式の内視鏡システム。2眼式の硬性鏡先端にCCDカメラを接続する。



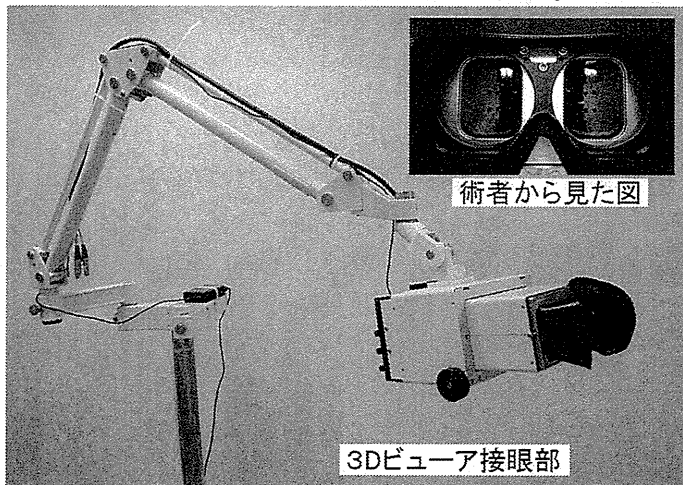
(図2)

立体内視鏡の2眼から得た画像を、そのまま左右に並んだ形で一つの動画ファイルに記録する。



(図3)

術者は3Dビューアを使用し、一つの動画ファイルから左右それぞれに分離して画像を見ることで立体を認識する。



(図4)

3Dビューアは可動式のスタンドに装着され、手術中も術者の望む位置に移動し見ることが可能。壁面に設置された大型モニターにも内視鏡画像を表示した。

