

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：32713

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24592104

研究課題名(和文) 多次元医用画像と深部情報可視化映像によるリアルタイム手術支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of real-time surgical assisted systems using multi-dimensional medical image and optical technique of deep visualization

研究代表者

佐治 久 (SAJI, HISASHI)

聖マリアンナ医科大学・医学部・准教授

研究者番号：60420965

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：呼吸器外科手術領域では、CT検診の普及により小型早期肺癌が多く発見され、高齢化に伴い高齢者肺癌の増加が著しく、安全で確実な低侵襲手術の開発が望まれている。当該研究では、近年急速に進歩している多次元医療画像の開発・発展させ術前シミュレーション・術中ナビゲーションの新しい手術支援システムを開発し、より普遍的かつ実用的な技術の構築を行った。今後、さらなる実用化に向けて研究を継続する予定である。

研究成果の概要(英文)：Development of safe and less-invasive surgery are warrant in the field of thoracic surgery, because of early small sized lung cancer increasing due to spread of CT survey and elderly lung cancer patients due to the aging society in Japan. In this study, we have developed a new preoperative simulation and intraoperative navigation assisted surgical systems using multi-dimensional medical image. In future studies, we will apply these results to realize practical and universal systems.

研究分野：呼吸器外科

キーワード：肺外科 手術シミュレーション 手術ナビゲーション 多次元医用画像

## 1. 研究開始当初の背景

近年、外科領域のキーワードとして低侵襲手術の開発と確立がある。CT 検診の普及により肺野末梢小型早期肺癌が多く発見され、さらに人口動態の変化に伴い

高齢者肺癌の増加が著しく安全で確実な低侵襲手術の開発がさらに望まれている。

呼吸器外科領域における低侵襲手術には、切除範囲の縮小を目的とした縮小切除（区域切除、楔状切除）と、アプローチの縮小を目的とした胸腔鏡下手術がある。区域切除は肺区域に則した解剖学的切除を行い、また胸腔鏡下手術は近接視野で 2D 画面を見て手術を行うため、共に立体画像認識がその手術の成否に大きく関与する。

本研究代表者は 2009 年より深部情報可視化 3 次元画像ならびに区域切離面など様々な切離面表示ソフトの共同開発を続けて個々の症例報告を行ってきた（下図）。

## 2. 研究の目的

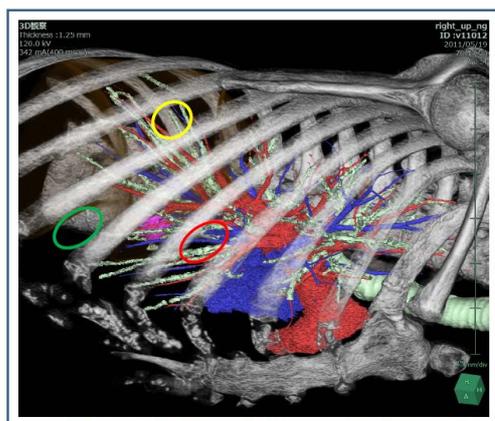


図5 胸腔鏡下手術におけるポートと肺血管・気管支との距離・角度測定

呼吸器外科領域における低侵襲手術には、切除範囲の縮小を目的とした縮小切除（区域切除、楔状切除）とアプローチの縮小を目的とした胸腔鏡下手術がある。前者は肺区域に則した解剖学的切除を行い、後者は近接視野 2D 画面での手術であり、共に立体画像認識がその手術の成否に大きく関与する。本研究では深部情報可視化 3 次元画像ならびに区域切離面など様々な切離面表示に加え、術中に動的 3 次元画像としてモニター画面に重畳表示して提供し、適正に外科医を導くナビゲーションシステムを開発することを目的とする。

25 年度からは拡大手術における術前シミュ

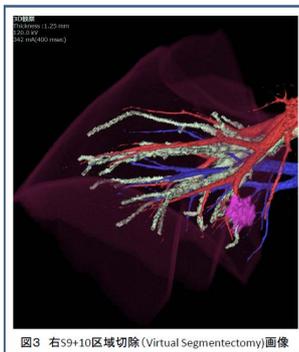


図3 右S9+10区域切除(Virtual Segmentectomy)画像

レーションとして 3D プリンターモデルの応用も本研究に含むこととした。

## 3. 研究の方法

### (1) 肺区域切除

術前シミュレーションに従い肺区域切除術を行う。その切除検体が術前 Virtual Segmentectomy で得られた画像（図 3 参考）と比較して、以下の腫瘍から切離断端までの距離、肺動脈・静脈・気管支の走行、切離した肺動脈・静脈・気管支部位の整合性の検討を行う。

### (2) 胸腔鏡下手術

手術操作を困難にしている理由の一つに、手術器具を挿入するポートの数的ならびに位置的制限が加わることにある。通常、3 - 4 ポートから肺動脈・静脈・気管支を主にステープルで切離して肺葉切除を行う。現在考える制限因子はステープル機器と肺動脈・静脈・気管支との角度、ポート入口部からの距離、各ポート間距離などがあげられる。これら因子を術前に高精度 3 次元画像上で測定し、実際の手術時にその操作性の難易度を比較する。これら検討から胸腔鏡下におけるポートの位置決定のアルゴリズムの構築を行う。

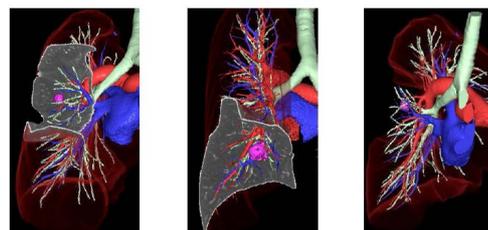
### (3) 拡大手術

局所進行肺尖部浸潤性肺癌における高画質 3 次元画像による術前シミュレーションと 3D プリンターの応用（右図）。



## 4. 研究成果

多次元医用画像と深部情報可視化映像によるリアルタイム手術支援システムの開発に



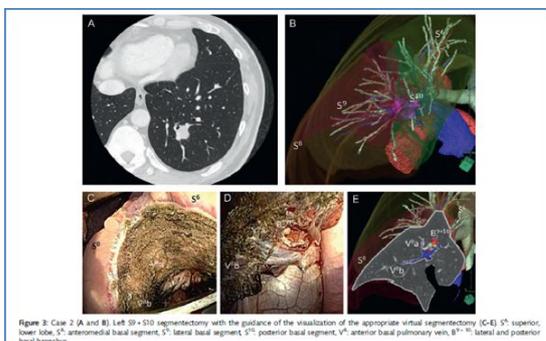
拡大S6区域切除 術前シミュレーション画像  
S9+10区域切除 術前シミュレーション画像  
胸腔鏡下アプローチ 肺動脈・気管支走行3D画像  
図2 サンプル画像

における概要に関して、第 29 回（2012 年、ランチョンセミナー：肺癌発見から手術シミュ

レーション - 容易にできる手術リハーサル) 第 30 回 (2013 年、ランチョンセミナー: 外科医が日常利用できる手術シミュレーションソフト - 実際の利用と有効例 - ) と報告してきた。さらに 3 つのプロジェクトに関して下記に詳細を述べる。

### (1) 肺区域切除

呼吸器外科領域における多次元医療画像による仮想区域切除=virtual segmentectomy (下図) という新技術の開発 (Saji H, Interact Cardiovasc Thorac Surg 2013)、ロボット支援手術における高速度 3 次元 CT 画像の応用 (Kajiwara N, Ann Thorac Surg 2014) として英文雑誌に掲載して、その有用性を検証してきた。



### (2) 胸腔鏡下手術

胸腔鏡手術における 3 次元 CT 画像肺モデルを用いたシミュレーションならびにナビゲーションの有用性 (Ikeda N, Ann Thorac Cardiovasc Surg 2013) を過去の報告をまとめた Review として報告を行った。さらに 179 例の呼吸器外科手術症例を用いて術前シミュレーションの短期的術後効果と、3 次元 CT 画像と実際の切除検体の肺動静脈と気管支の解剖学的な一致性を検証した (Hagiwara M, Eur J Cardiothorac Surg. 2014)。結果は術前シミュレーション

Table 5: Association between clinical factors and operative time (<237 min vs ≥237 min) in patients who underwent VATS anatomical resection with primary lung cancer (n = 165)

Variables	Univariate analysis, P-value	Multivariate analysis		
		RR	95% CI	P-value
Operative time, mean (min, range)	237 (132-455)			
Sex	0.26			
Age	0.15			
Clinical staging: IA/IB/IIA/IIIA/IIIB	0.25			
Tumour laterality: right/left	0.77			
Preoperative 3D imaging: present/absent	0.019	2.282	1.131-4.604	0.021
Conversion from VATS to thoracotomy: present/absent	0.77			
FEV1.0%	0.31			
Intraoperative blood loss	0.001	1.005	1.001-1.009	0.005
Operative procedure: lobectomy/segmentectomy	0.21			
Respiratory comorbidity: present/absent	0.08			
Cardiovascular comorbidity: present/absent	0.24			
Diabetes: present/absent	0.68			

RR: risk ratio; CI: confidence interval; FEV1.0: forced expiratory volume in 1 s.

の導入により術後合併症、出血量、手術時間の有意な減少が認められた。さらに 97.8% の肺動脈が術前 3 次元 CT 画像での同定が可能であった。

### (3) 拡大手術

局所進行肺尖部浸潤性肺癌における高画質 3 次元画像による術前シミュレーションと 3D プリンターの有用性を英文雑誌に報告した (Saji H, Gen Thorac Cardiovasc Surg. 2015)。

### 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 4 件)

Saji H, Kato Y, Shimada Y, Kudo Y, Hagiwara M, Matsubayashi J, Nagao T, Ikeda N. Three-dimensional multidetector computed tomography may aid preoperative planning of the transanubial osteomuscular-sparing approach to completely resect superior sulcus tumor. Gen Thorac Cardiovasc Surg. 2015 Nov;63(11):627-31. 査読有

Hagiwara M, Shimada Y, Kato Y, Nawa K, Makino Y, Furumoto H, Akata S, Kakihana M, Kajiwara N, Ohira T, Saji H, Ikeda N. High-quality 3-dimensional image simulation for pulmonary lobectomy and segmentectomy: results of preoperative assessment of pulmonary vessels and short-term surgical outcomes in consecutive patients undergoing video-assisted thoracic surgery. Eur J Cardiothorac Surg. 2014 Dec;46(6):e120-6. 査読有

Saji H, Inoue T, Kato Y, Shimada Y, Hagiwara M, Kudo Y, Akata S, Ikeda N. Virtual segmentectomy based on high-quality three-dimensional lung modelling from computed tomography images. Interact Cardiovasc Thorac Surg. 2013 Aug;17(2):227-32. 査読有

Ikeda N, Yoshimura A, Hagiwara M, Akata S, Saji H. Three dimensional computed tomography lung modeling is useful in simulation and navigation of lung cancer surgery. Ann Thorac Cardiovasc Surg. 2013;19(1):1-5. 査読有

[学会発表](計 14 件)

佐治 久、教育講演 7 「原発性非小細胞肺癌に対する標準的肺葉切除術と縮小切除」第 56 回日本肺癌学会学術集会、2015 年 11 月 27 日、パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)

Hisashi Saji, Hideki Marushima, Rie Tagaya, Hiroyuki Kimura, Noriaki Kurimoto,

Haruhiko Nakamura. Single Institutional Experience of the Surgical Treatment of Second Primary Lung Cancer, 16th World Conference on Lung Cancer, 2015.09.08. Denver, Colorado, USA.

佐治 久、新明卓夫、多賀谷理恵、安藤幸二、栗本典昭、中村治彦、原発性肺癌術後多発肺癌に対する外科治療 - 当科の治療経験、第 115 回日本外科学会定期学術集会、2015 年 4 月 16 日、名古屋国際会議場（愛知県、名古屋市）

佐治 久、I 呼吸器外科領域での VINCET の活用、富士フィルムメディカルセミナー in 横浜、2015 年 2 月 22 日、コンカード横浜（神奈川県横浜市）

佐治 久、多賀谷理恵、新明卓夫、栗本典昭、中村治彦、局所進行肺癌にて術前 3D 画像シミュレーションにより安全に治癒切除した術前導入後右中下葉 + S3 区域切除術、第 55 回日本肺癌学会学術集会、2014 年 11 月 16 日、国立京都国際会館（京都府京都市）

Hisashi Saji, Norihiko Ikeda, Haruhiko Nakamura, Virtual segmentectomy: preoperative simulation of segmentectomy using 3D-MDCT lung modeling, 2014 IASLC Asia Pasific Lung Cancer Conference Nov. 7, 2014, Kuala Lumpur, Malaysia.

佐治 久、新明卓夫、多賀谷理恵、栗本典昭、中村治彦、池田徳彦、根治的放射線治療後遺残局所進行肺腺癌に術前術中高画質 3D 画像マネージメントにより安全に治癒切除した salvage 手術、第 67 回日本胸部外科学会定期学術集会、2014 年 10 月 2 日、福岡国際会議場（福岡県福岡市）

佐治 久、萩原 優、加藤靖文、梶原直央、中村治彦、池田徳彦、呼吸器外科領域における高精度 3D 画像支援システムによる術前シミュレーション、術中ナビゲーション手術の現状と将来展望、第 39 回日本外科系連合学会学術集会、2014 年 6 月 20 日、日本教育会館（東京都千代田区）

佐治 久、安藤幸二、新明卓夫、多賀谷理恵、栗本典昭、中村治彦、3DMDCT シミュレーションを併用し根治的放射線療法後に安全に完全切除した局所進行肺扁平上皮癌の左上葉切除術、第 31 回日本呼吸器外科学会、2014 年 5 月 30 日、ホテル日航東京（東京都港区）

Hisashi Saji, Virtual segmentectomy: Preoperative simulation of segmentectomy

using 3D-MDCT reconstruction software, 18th WCBIP/WCBE World Congress, 2014.04.15, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan.

佐治 久、萩原 優、吉田浩一、牧野洋二郎、加藤靖文、垣花昌俊、梶原直央、大平達夫、池田徳彦、外科医が日常利用できる手術シミュレーションソフト～実際の利用と有効例～、第 30 回日本呼吸器外科学会総会、2013 年 5 月 10 日、名古屋国際会議場（愛知県、名古屋市）

佐治 久、萩原 優、吉田浩一、加藤靖文、石角太一郎、垣花昌俊、臼田実男、梶原直央、大平達夫、池田徳彦、呼吸器外科領域におけるシミュレーション、ナビゲーションの現状と将来展望 次世代低侵襲手術の構築に向けて、第 113 回日本外科学会定期学術集会、2013 年 4 月 11 日、福岡国際会議場（福岡県福岡市）

佐治 久、加藤靖文、垣花昌俊、臼田実男、梶原直央、大平達夫、池田徳彦、右肺尖部前壁浸潤肺癌に対して術前導入化学放射線治療後、術後上肢運動制限を考慮した前方アプローチによる完全切除術、第 65 回日本胸部外科学会定期学術集会、2012 年 10 月 20 日、福岡国際会議場（福岡県福岡市）

佐治 久、肺癌発見から手術シミュレーション～容易にできる手術リハーサル～、第 29 回日本呼吸器外科学会総会、2012 年 5 月 18 日、秋田キャッスルホテル（秋田県秋田市）

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐治 久 (SAJI, HISASHI)  
聖マリアンナ医科大学・医学部・准教授  
研究者番号：60420965

### (2) 研究分担者

池田 徳彦 (IKEDA, NORIHIKO)  
東京医科大学・医学部・教授  
研究者番号：70246205

#### 研究分担者

嶋田 善久 (SHIMADA, YOSHIHISA)  
東京医科大学・医学部・助教  
研究者番号：00459497

#### 研究分担者

吉田 浩一 (YOSHIDA, KOICHI)  
東京医科大学・医学部・助教  
研究者番号：00424490

#### 研究分担者

萩原 優 (HAGIWARA, MASARU)  
東京医科大学・医学部・助教  
研究者番号：90338806

#### 研究分担者

加藤 靖文 (KATO, YASUFUMI)  
東京医科大学・医学部・講師  
研究者番号：70424489