

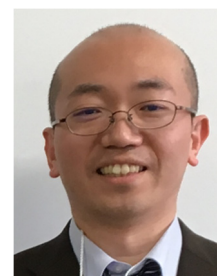
■受領No.1416

## 高精度遠隔治療を実現する次世代内視鏡 Vision の開発

代表研究者

若山 俊隆

埼玉医科大学 保健医療学部 臨床工学科 教授



### 1. 研究目的

本申請では高精度遠隔治療を実現する次世代内視鏡用の視覚 (Vision) の開発を目的とする。半導体レーザーを時空間に精密制御し、極細径の 0.2 mm 以下の光ファイバ型構造光高速投影制御を実現する。生体組織に照射されたカラーの光強度分布を赤、青、および緑色で分離できる CCD によってチャンネル毎に同時に撮像する。三次元形状計測技術を用いて次世代内視鏡の Vision 開発を目的としている。

### 2. 研究内容

遠隔治療を実現するロボット支援手術においては3次元空間座標としての精密な位置決めが必要不可欠とされている。ロボット支援手術の3Dビジョンに使用されているステレオ視は、術者に奥行方向を認識させる手段としては有用であるが、実際に計測できる精度は1 mm程度であり、精度不足が指摘されている。術前に撮影されたX線CTデータとのマッチングが可能な高精度3Dデータを取得するためには構造光の投影が必要不可欠な状況である。その一方で、内視鏡手術の妨げにならない方法で構造光を投影することは容易ではない。構造光を投影するために内視鏡よりも太い構造光投影システムが必要であったり、構造光を内視鏡内に伝播させるためにはレンズ系が多数必要になり操作性を低下させるという問題が重積している。

術者のために高解像度の画像も必要でありそれらのトレードオフを解決することが求まっている。

本申請では遠隔医療のための新しいビジョンシステムの開発を目的とする。半導体レーザーを時空間に精密制御し、極細径の 0.2 mm 以下の光ファイバ型構造光高速投影制御を実現する。生体組織に照射されたカラーの光強度分布を赤、青、および緑色で分離できる CCD によってチャンネル毎に同時に撮像する。これによって従来法の3Dステレオ視とは異なる3次元座標を精密にレジストレーション可能な遠隔手術用3D内視鏡 Vision の開発を目的としている。

#### 2.1 三次元内視鏡のための構造光発生

直径 200  $\mu\text{m}$  の光ファイバーに入射する光の条件を制御することによって光ファイバーから射出する構造光の制御を行った。制御方法として同心円状の構造光の縞数および位相は自作した構造光制御器に信号発生器で生じる電圧信号の周波数と位相を変調させた。構造光自体の光強度分布の精度を評価するために CMOS カメラで画像を取得して位相シフト法解析を用いた。

独自に開発した構造光制御器に加える電圧信号の周波数を 1 kHz ~ 8 kHz まで 1 kHz 毎に変化させた結果を図 1(a)-(h) に示す。構造光である同心円の形状が変化していくことが確認された。周波数を一定にして、電圧信号の位相を 90° 毎に変化さ

せると図1(i)-(l)のように構造光が変化した。これを位相シフト法によって構造光の光強度分布の位相の空間分布を解析した結果が図1(m)である。x-x断面での位相分布を見ると $\pm 180^\circ$ で折り返されているが、これは位相シフト法の解析範囲が $\pm 180^\circ$ で折り畳まれることで生じるものである。こ

の位相シフト法による結果から構造光照射面での構造光の位相分布が得られたことになる。今回は平面のサンプルを用いているが、平面と異なるサンプルを用いれば、その形状から位相分布に変化が生じる。

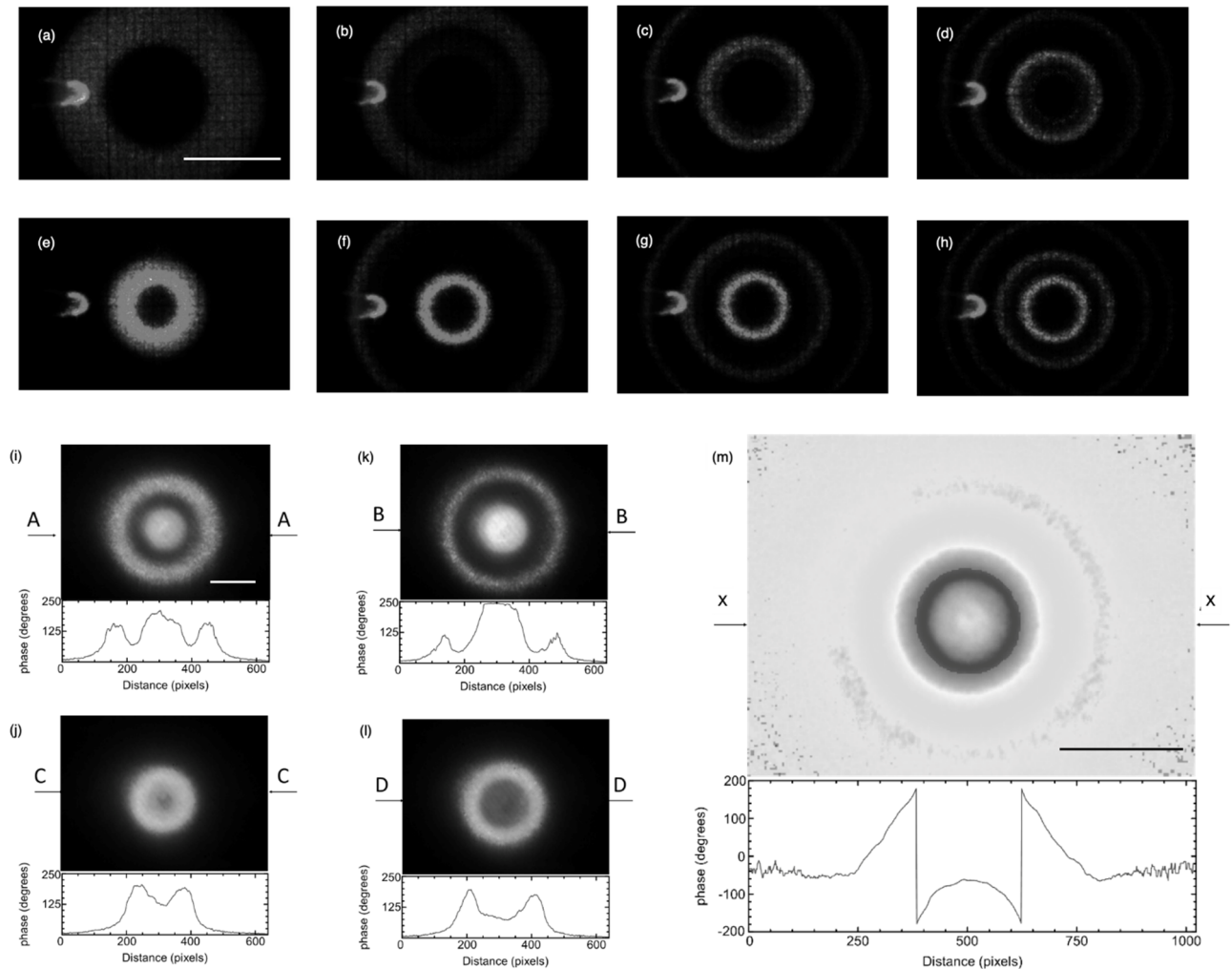


図 1. 構造光の制御

(a)-(h) 周波数を 1kHz~8kHz まで変調したときの光強度分布、(i)-(l) 位相を  $90^\circ$  毎に変化させた光強度分布、(m) 位相解析した結果。スケールバーは全て 10 mm を表している。

## 2.2 三次元内視鏡による形状計測

硬性内視鏡に構造光を制御できる光ファイバーを設置することで三次元内視鏡を開発した。今回は、4種類の構造光を投影した画像を取得することで三次元形状計測することを可能にした。カメラのフレームレートによって形状計測できる速度は制限されるが、30 frame/秒のCMOSカメラを用い

た今回の場合、7.5秒毎に三次元形状を計測することが可能になった。内視鏡が有するレンズの収差を独自に開発した方法でキャリブレーションした上で、形状計測の精度を確認するため、あらかじめ形状がわかっている平板を奥行方向に変化させて、その深さデータを取得し、これを評価した。

これを計算することで形状が計測できる。図2

は平面を高さ34mm, 39 mm, 43mmに設置し形状計測を行なった結果である。平面のばらつきが、構造光の位相シフトゆらぎの影響から最大±1mm程度で生じているが、設定値と一致した結果が得られた。この結果から形状計測が実現できることが示唆された。図2に示した結果のように三次元形状計測が可能になったので、本研究の有効性を示すために、膝前十字靭帯のファントムモデルの形状計測を行った。膝前十字靭帯はバスケットボールなどの激しい運動によって靭帯断裂することが知られており、この再建術においては内視鏡を用いることで低侵襲手術が行われている。しかし、従来の内視鏡は画像でしかその様子を捉えることはできないので、手術は簡単なものではない。患者の生活の質 (Quality of Life) を向上させるた

めに、三次元のVisionは極めて有効である。本研究では膝前十字靭帯のファントムモデルを形状計測することに成功した。(現在、論文執筆の関係で結果は示していない。)

以上のように本研究では、三次元形状計測に必要な構造光制御から三次元形状計測に必要なキャリブレーションおよび形状計測のアルゴリズムの提案と実証実験までを行い、その有効性を示すことができた。今後の課題としては、まだ計測結果には周期的な誤差が生じている。これは構造光の位相シフトが完全に行えていないことが原因である。この部分を解決することで、病院で従来利用されている内視鏡を三次元形状計測用の三次元内視鏡に置き換えることができると考えており、今後も研究開発をさらに進めていく予定である。

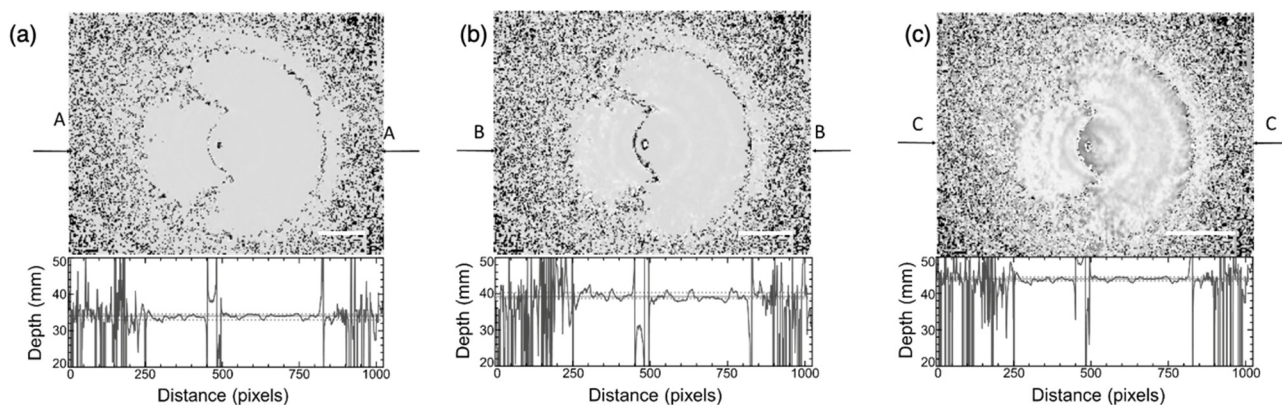


図2 三次元内視鏡による形状計測の結果

(a)-(c)  $z = 34 \text{ mm}, 39 \text{ mm}, 43 \text{ mm}$  の位置にある平面の形状を計測した結果である。

### 3. 発表 (研究成果の発表)

若山俊隆、偏光のトポロジー制御とその応用、第3回日本光学会関西支部講演会 (web講演、2021年3月)

論文発表に向けて追実験を行なっているため、研究成果としての論文掲載はまだない。