既存の内視鏡を使用して体内の 3 次元形状を精密に取得する技術を開発
― 超小型パターンプロジェクタによるアクティブ 3 次元計測 ―

平成 28 年 10 月 6 日
公立大学法人広島市立大学
国立大学法人鹿児島大学
国立大学法人広島大学

■ ポイント ■

・光の損失を 5%程度に抑えて、段差のある格子状のパターン光を投影可能な超小型光源を開発し、内視鏡による人体内部の 3 次元形状計測を実現
・鉗子口を通るサイズのため、既存の内視鏡をそのまま利用可能
・複数枚の結果を統合して、高密度な 3 次元形状にする手法を開発
・人体内部の計測以外でも、配管内の検査などにも利用可能

■ 概 要 ■

公立大学法人 広島市立大学【学長 青木信之】大学院情報科学研究科 知能工学専攻 古川 亮 准教授は、国立大学法人 鹿児島大学【学長 前田芳實】大学院理工学研究科（工学系） 情報生体システム工学専攻 川崎 洋 教授と国立大学法人 広島大学【学長 越智光夫】広島大学病院内視鏡診療科 田中信治教授と共同で、既存の内視鏡を使用して、体内の 3 次元形状を精密に計測する手法を開発した。

この技術は、段差のある 格子パターン光 を物体に投影し、カメラで撮影することで、撮像された物体表面の 3 次元形状を計測可能とするものである。特に、通常のパターン光を利用した 3 次元計測では不得意であった、人体臓器のように 表面下散乱 の強い物体であっても、DOEという特殊な光学機器を用いることで、安定した計測が可能なパターンを開発した。さらに、表面下散乱がある場合、一般に復元結果が疎となるため、これらを複数枚重ね合わせて高密度化を実現する手法も併せて開発した。これらにより、従来の技術ではなしえなかった、超小型・高密度・高精度な形状計測を同時に実現することができ、内視鏡診療の精度の向上が期待される。また、開発した技術は医療分野に限らず、原子炉や排水管の配管などの検査などでの利用も見込まれる。

なお、この技術の詳細は、2016 年 10 月 8 日～16 日にオランダ・アムステルダムで開催される The 14th European Conference on Computer Vision (ECCV2016)で口頭発表される。また、独自の格子パターンによる 3 次元復元手法および、内視鏡への応用手法等多数が特許出願されている。

アンダーラインは【用語の説明】参照

■ 開発の社会的背景 ■

昨今、3 次元計測が一般してきている。例えば、自動運転が実用に近づいた大きな理由の一つに、車外の状況認識において、レーザを用いた 3 次元計測装置である Lider による高精度・安定化がある。また、工業製品や食品包装の検査目的でも、これまで目視により行われてきたものが、精度と効率化の両面から 3 次元計測による自動化へと急速に移行しつつある。また、医療の分野でも高精度な人体計測の研究が世界レベルで進められている。上記の例では全て、計測対象あるいは計測者が動く動的シーンであり、動的シーン計測の重要性が強く認識されるようになってきている。しかし現在、動いている物体を計測するセンサーは、装置が複雑で大きかったり（最小でも 10cm 程度）、撮影できるフレームレートが限定的（～30 コマ／秒）で、精度や密度に関しても十分と言えるものではなかった。超小型で、さらに強い表面下散乱や、水中での高精度な形状計測を実現することができれば、医療分野や検査解析など、3 次元形状計測技術の応用範囲が格段に広がると考えられる。

■ 研究の経緯 ■

広島市立大学、鹿児島大学では、これまで形状計測技術を医療、検査、マルチメディア、などのさまざまな分野に応用することを目指した研究を進めてきた。一方で、広島大学では、先進の内視鏡技術の開発で世界レベルの成果をあげてきている。さらに、広島市立大学、鹿児島大学、広島大学では共同で、3 次元内視鏡の実現を目指して、超小型パターン光投影に基づいた形状計測技術の開発に取り組んできた。今回、従来課題となっていた表面下散乱への対応や、計測範囲の拡大、復元密度の向上を図った手法を開発した。

なお、この研究開発の一部は、文部科学省科学研究費「高輝度小型パターン光源を用いた 3 次元内視鏡の開発と人体消化器官計測の試み（平成 27～29 年度）」、JST 研究成果最適展開支援プログラム A-step「内視鏡用 3D スキャニングシステムの開発（平成 27 年度）」および、内閣府 最先端・次世代研究開発支援プログラム「人体の内外表面形状すべてをリアルタイム計測するシステム～表情筋の動き計測から腸内壁の形状取得まで～（平成 22～25 年度）」の支援を受けて行った。

■ 研究の内容 ■

今回開発した手法は、プロジェクターなどの光源からパターン光を投影し、カメラで撮影したパターンを画像処理することで、撮影した物体の 3 次元表面形状を計測する。パターンが固定のため、投光機がシンプルにできるメリットがある。さらに、撮像された瞬間の 1 枚の画像だけでその形状を得ることができるため、カメラや対象物体が動いても計測ができ、人体計測に利用しやすい。図 1 にカメラとプロジェクターの内視鏡への配置例を示す。

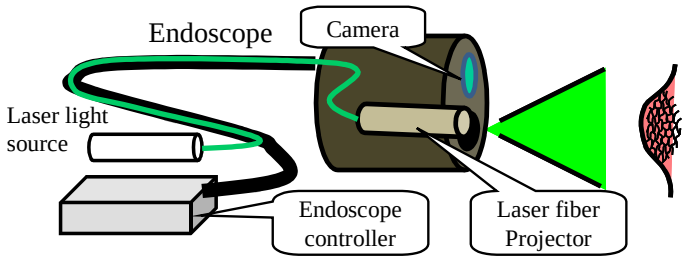

図 1　内視鏡の鉗子口に光ファイバによる光源を設置

この技術は、まず、対象とする物体に、図 2 左に示すような縦・横の線からなる格子パターンを投影する。画像処理によって物体表面に投影された曲線を検出し、線がどのようにつながっているかを示す交点グラフを作成する（図 2 中央および右）。各交点は、投影したパターンと撮影したカメラ画像で 1 対 1 に対応するので、交点の組み合わせを最適化し、投影パターンと画像の各交点の対応を決定する。対応が決まると 三角測量 によって交点の 3 次元位置が計測できる。図 2 右 は手法の流れを説明したものである。図 3 は上段左から、入力画像、線検出画像、線検出によって生成した交点グラフ、下段左から、撮影画像上の交点とパターンとの対応関係を計算した結果、すべての画素について 3 次元位置を計算して得られた形状である。実際に内視鏡と、今回新たに開発した DOE ファイバ・パターン光源を使って、連続撮影画像からの 3 次元復元結果を図 4 、 5 に示す。上から順に内視鏡による撮影画像、各フレームごとの復元結果（2 段）である。さらに、疎な形状を重ね合わせた結果を図 6 に示す。12 枚を連続的に統合した結果となっている。12 枚の時の RMSE が、0.6mm であり、24 枚の時が 0.7mm と、内視鏡検査で一般に目標とされる精度である、1mm を上回る性能を満たせることを確認した。

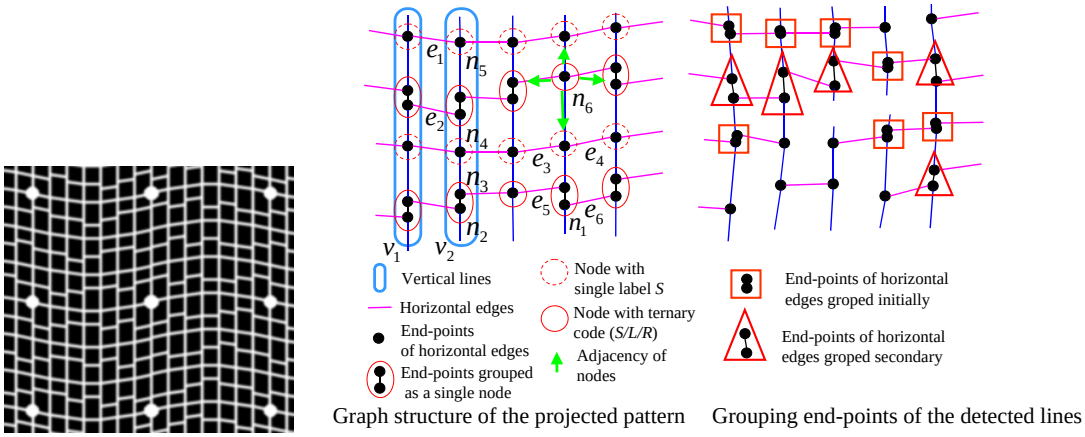

図 2　格子パターンと、復元のためのデコードの様子

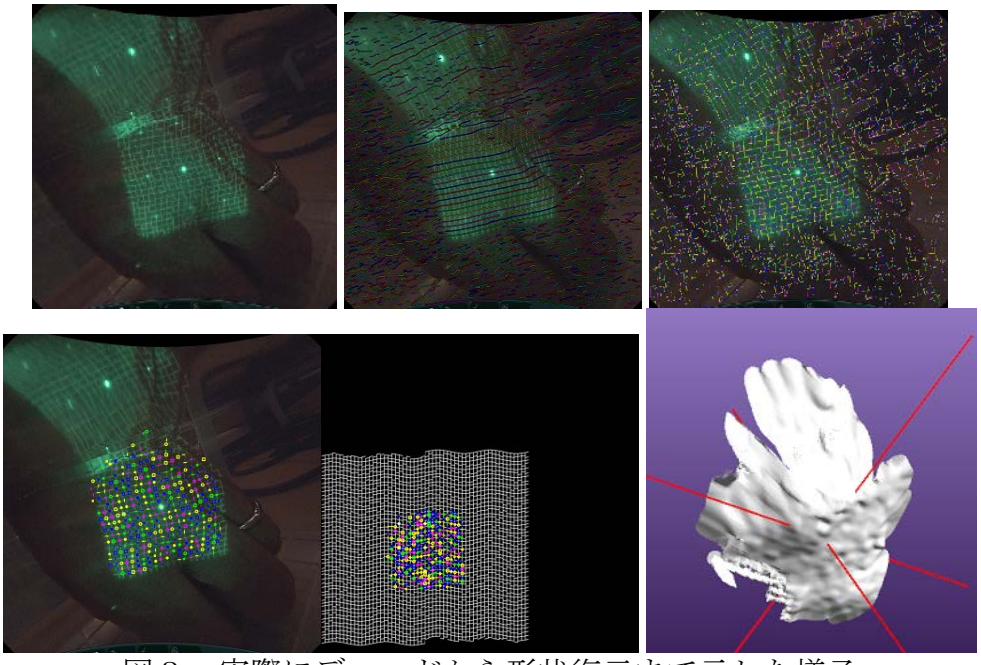

図 3　実際にデコードから形状復元まで示した様子

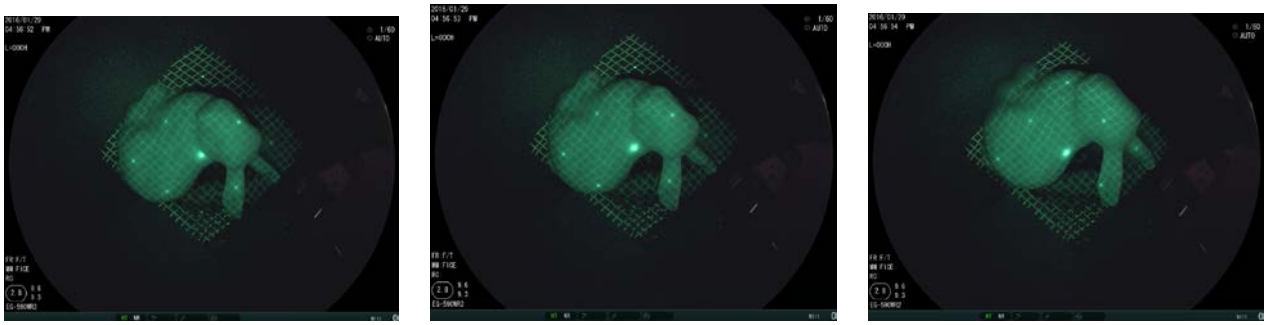

図４　内視鏡による撮影画像

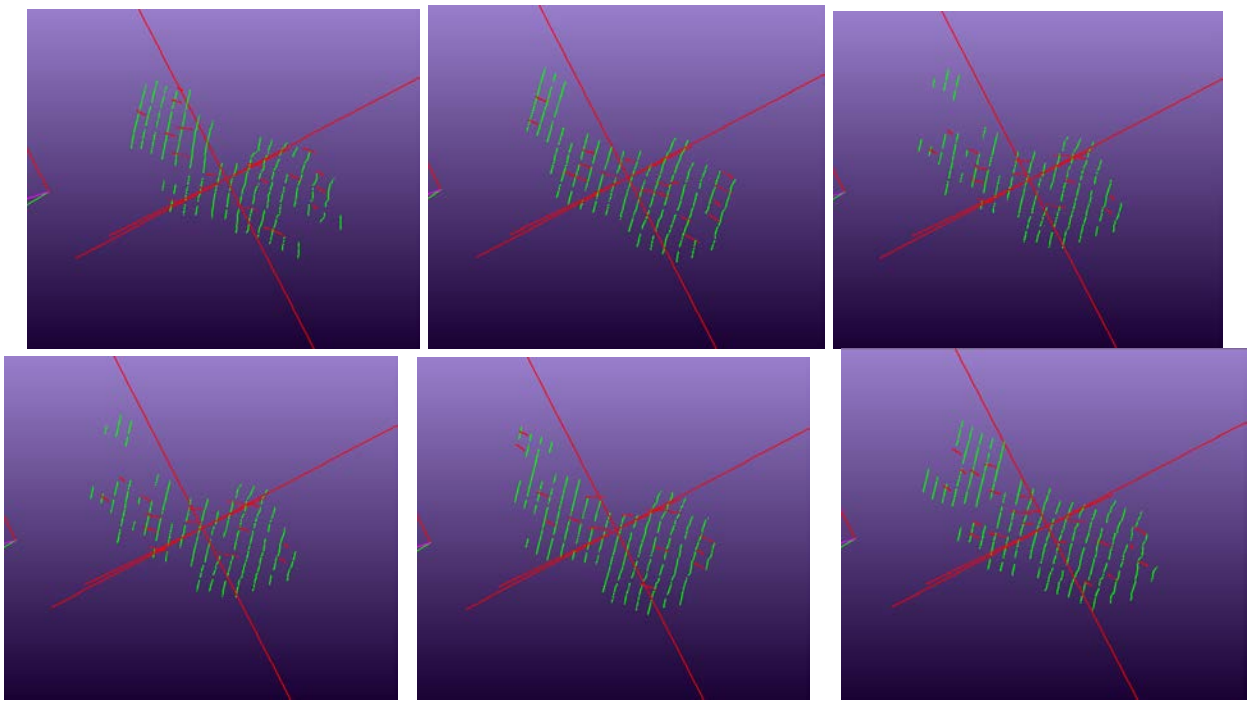

図５　各フレームごとの復元結果

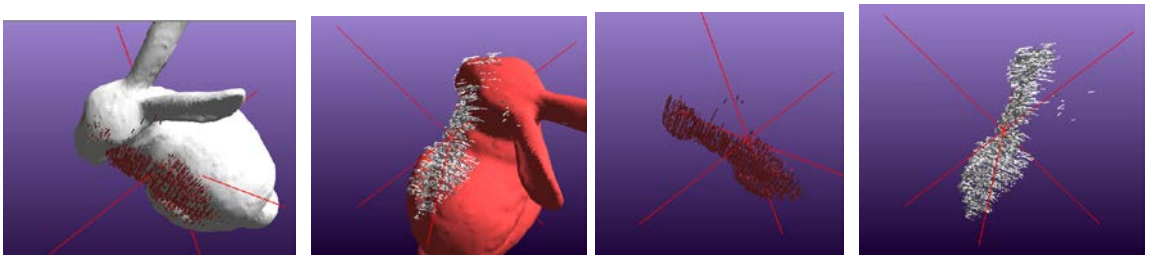

図６　12 枚を統合した結果　（左）正解形状と重ねあわせたもの、（右）開発センサの結果のみ

以下図７に、表面下散乱に対する本手法の利点を、散乱の比較的強いテフロンで検証した結果を以下に示す。強い散乱でも、格子パターン特徴が残っていることが分かる。

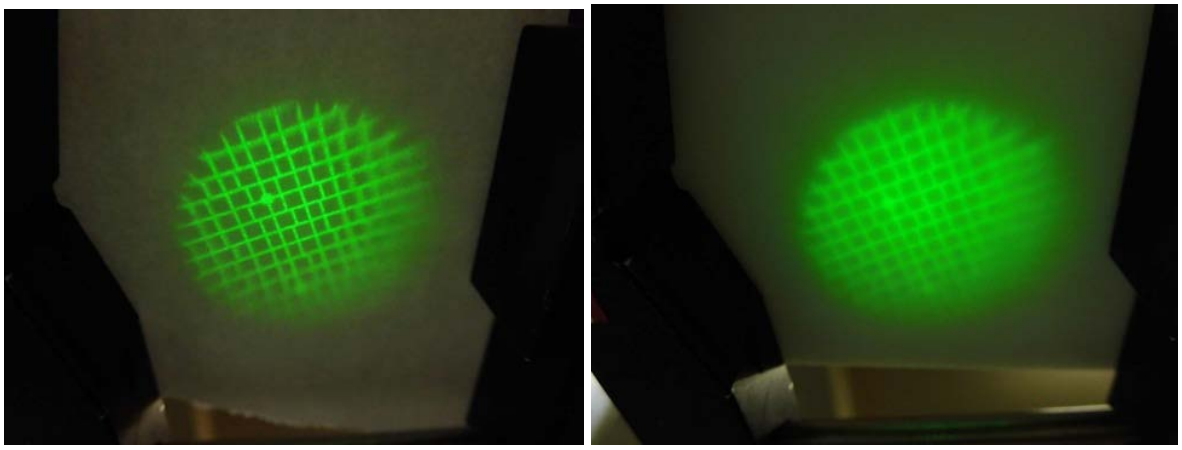

図７　パターンの照射画像（右がテフロン、左が紙）、テフロンでは滲みより、紙（左図）に比べてコントラストが低くなっているのがわかる。

また、図８に広島大学病院内視鏡診療科において、切除切片を用いて実際に内視鏡と DOE パターン投光機を用いて 3 次元計測した例を以下に示す。正しくデコードされ、3 次元形状復元出来ていることが確認できる。

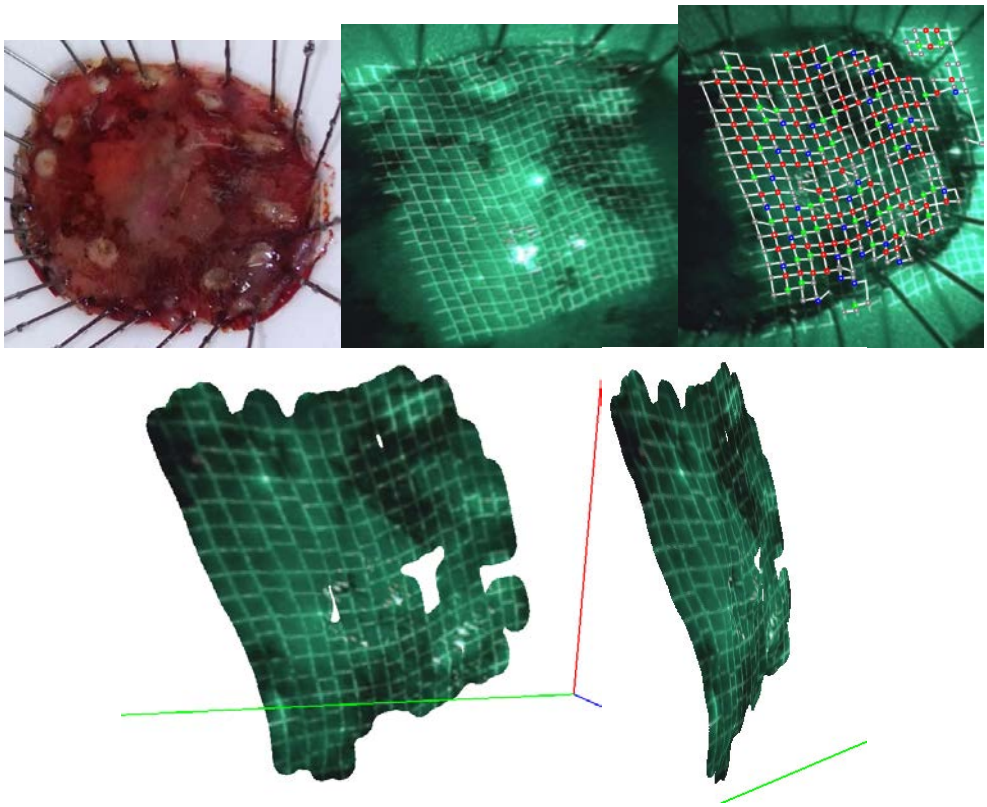

図８　切除切片を用いて本手法により 3 次元復元した結果

■ 今後の予定 ■

今回開発した計測手法を用いて、実際の内視鏡検査や手術において使用可能な実システムを開発する予定である。そのため、希望する研究・医療機関には積極的な技術供与・試作機の貸与などを行い、必要な機能の追加や絞り込み、問題点の洗い出しなどを行う。さらに、配管検査など、狭くてこれまで形状の計測が十分に行われていなかったさまざまな分野への応用も並行して進める予定である。

■ 本件問い合わせ先 ■

【研究内容に関するお問い合わせ先】
公立大学法人 広島市立大学大学院
情報科学研究科 知能工学専攻
准教授 古川 亮
〒731-3194 広島市安佐南区大塚東 3－4－1
TEL/FAX：082-830-1686
E-mail： ryo-f@hiroshima-cu.ac.jp

国立大学法人 鹿児島大学大学院
理工学研究科 情報生体システム工学専攻
教授 川崎 洋
〒890-0065 鹿児島市郡元 1 丁目 21-40
TEL/FAX:099-285-8440
E-mail: klab-office@ibe.kagoshima-u.ac.jp

国立大学法人 広島大学病院
内視鏡診療科
教授 田中信治
〒734-8551 広島市南区霞 1-2-3
TEL:082-257-5538
E-mail: colon@hiroshima-u.ac.jp

【報道に関するお問い合わせ先】
公立大学法人 広島市立大学
事務局企画室企画グループ 長山 哲也
〒731-3194 広島市安佐南区大塚東 3－4－1
TEL/FAX：082-830-1666/082-830-1656
E-mail： kikaku@office.hiroshima-cu.ac.jp

国立大学法人 鹿児島大学広報センター
〒890-0065 鹿児島市郡元 1 丁目 21-40
TEL：099-285-7035　FAX：099-285-3854

E-mail: sbunsho@kuas.kagoshima-u.ac.jp

国立大学法人　広島大学
社会産学連携室広報部広報グループ　坂本　晃一
〒739-8511 東広島市鏡山一丁目3番2号
TEL:082-424-6762
E-mail: koho@office.hiroshima-u.ac.jp

【用語の説明】

◆格子パターン光
~~　カメラが1秒間に撮影する画像の枚数。通常のカメラでは24～30コマ／秒。~~
　投光器から投影される、特別に設計された２次元パターン状の光。

◆表面下散乱
　半透明な物体に光をあてると内部に光が届く現象が見られるが、これを表面下散乱と呼ぶ。人の皮膚などは強い表面下散乱を持つ。光がぼやけるため、パターンなどをシャープに投影することが難しくなる。

◆DOE
　Diffractive Optical Element の略。レーザ光源から回折により独自のパターンを高効率で作成することが可能で、近年注目を集めている。

◆Lider
　レーザを照射することで、周辺の３次元環境を取得する技術。レーザを用いることで、高精度な計測が可能。

◆三角測量
　今回開発した手法では、カメラで撮影されたパターンの交点が、プロジェクターから投影されたどの点かを探す。プロジェクターの点が決定されると、カメラとプロジェクターの視線、およびそれぞれの視点位置の関係から三角形が決まり、各辺の長さ、すなわちカメラから観測対象までの距離が計算できる。各点の距離を高密度に計算することで、観測対象の形状が得られる。