

## 論文内容の要旨

論文題目：カベクトル場計測を目的とした光学式触覚センサの研究

氏名：神山和人

これまでに触覚情報の遠隔伝達を目的とした触覚センサの開発を行ってきた。極限空間における遠隔作業や医学分野における遠隔手術において高度な作業を行う際には、視覚や聴覚情報以上に触覚情報の伝達が重要な役割を果たす。

五感と呼ばれる感覚の情報を遠隔伝達するためには、情報の取得、及び情報の提示を行う装置が必要となる。視覚におけるカメラ及びディスプレイ、聴覚におけるマイクとスピーカがそれぞれに対応する装置となるが、触覚においても同様に触覚センサ、触覚ディスプレイと呼ばれる装置の開発が行われてきた。情報の提示、つまり触覚ディスプレイに関しては近年様々な手法が提案されている。それに対し情報の取得である触覚センサに関する研究は古くから行われているが、人間が知覚している触覚情報の一部分を計測しているものがほとんどであり[1]、提示を考えた際十分な情報を取得してはいない。そこで触覚ディスプレイによる提示を目的として十分な情報を取得するための触覚センサに着目した。

触覚情報の遠隔伝達を目的としたとき、触覚センサが持つべき物性と計測する必要のある情報が決定される。まずセンサの持つ物性として指先と同じ弾性及び形状を持たなければならない。触覚とは対象との接触によって生じる感覚であり、接触による相互作用を人間の皮膚と同じように再現しセンシングする必要があるためである。次に計測すべき情報であるが、これは人間が皮膚から得ている情報と等しいものと考えることができる。皮膚は対象との接触により変形を起し、それによって触覚は発生する。つまり皮膚の変形を発生させる力情報の取得が必要となる。計測する力は皮膚という面積を持つ対象に対して分布しており、また力は大きさと方向を持つベクトルである。以上より、遠隔伝達を目的とした触覚センサが計測すべき情報とはセンサ表面に発生するカベクトルの分布(カベクトル場)と考えられる。これまでに開発された触覚センサは[2][3]、力の大きさを分布計測可能ではあるが方向情報は取得不可能なものや、1点に加わる力の大きさ及び方向のみを計測するものが大半であり、カベクトル場を計測可能なセンサは少ない。また、遠隔作業や遠隔手術において、計測情報はリアルタイムに伝達される必要があり、計測に必要な時間もまた重要な要素となる。

上記の研究背景及び目的から、光学式を用いた触覚センサの開発を行っており、その計測手法を次に述べる。

開発した触覚センサは透明弾性体、弾性体内部の点状マーカーク群及び CCD カメラを用いて構成される(図 1)。力が付与された際に発生する透明弾性体内部の変形情報を、マーカーク群の移動情報として CCD カメラ画像から抽出し、変形情報からカベクトル場を再構成する。

弾性体内部に球形の赤色マーカーを表面に対して平行な面内に並べ、弾性体表面を  $xy$  平面に、その垂直方向を  $z$  軸にとり、CCD を用いて  $+z$  方向から球状マーカーを撮影する。これにより力が加わった際の変形情報を、画像中のマーカーの移動として  $xy$  平面に写像した形で計測できる (図 2)。

しかし、このままでは画像の 2 次元情報から力の 3 次元情報を計算することになり、情報量が少ない。そのため力ベクトル分布を再構成することは困難である。そこで最初に配置したマーカーとは異なった深さに異なった色の青色マーカーを並べる。そして撮影したカラー画像から赤色成分・青色成分を画像データから取り出すことで高さの違うマーカーの情報を分離することが可能になる。2 種類のマーカーを用いることはサンプリング点  $(x, y)$  において高さの違う 2 つの 2 次元移動ベクトルをそれぞれ異なった情報として求めることに等しく、情報量を増やし力ベクトル場が求めやすくなる。計測された力ベクトル場を図 3 に示す。既存のセンサでは計測が困難であったねじり力の計測に成功している。

触覚センサにおける新規手法の提案し、図 1 に示したプロトタイプを作成を行うことで提案手法の原理確認を行った後、指先形状型センサの開発を行った。プロトタイプの計測領域が平面であるのに対し、指先形状型センサの計測領域は人間の指を模しているため 3 次元曲面形状を持つ。そのため、弾性体の変形情報から力ベクトル場への写像を行うための数式がプロトタイプでは陽に解けるのに対し、曲面形状を持つセンサでは陽に解くことは困難となる。そこで写像のためのデータテーブルを実測により作成し計測に成功している。

また、作成されたセンサのプロトタイプに対して、性能評価実験を実施した。力ベクトル場の評価は、大きさと方向を持った力の分布をセンサは計測することから、力の大きさに関する分解能評価、力の方向に関する分解能評価、力の分布つまり空間分解能評価を行わなければならない。空間分解能は、2 点に力を付与し計測結果上で 2 点と確認できる最小の 2 点間距離を求めることで評価した。評価実験の結果、力の大きさに関する分解能約 30 グラム重、力の方向に関する分解能約 5 度、空間分解能 2mm の性能が確認された。

開発したセンサの特長として、第一にセンサの性能向上の容易さが挙げられる。用いる弾性体のヤング率を下げることで力の大きさに関する分解能を上げることができ、また、弾性体内部に配置されるマーカー群の密度を上げることで空間分解能を向上させることができる。第二の特長として、作成の容易さが挙げられる。従来型の触覚センサの大半が大量の配線を必要とするものであったのに対し、開発したセンサは CCD カメラ一台分の配線のみでよく、また弾性体中に電気的な素子を用いず色マーカーのみで構成されるためである。

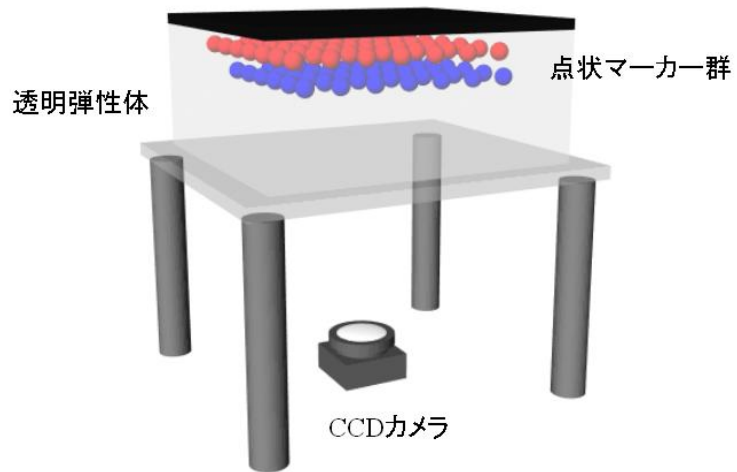


図 1 : 開発したセンサの構成

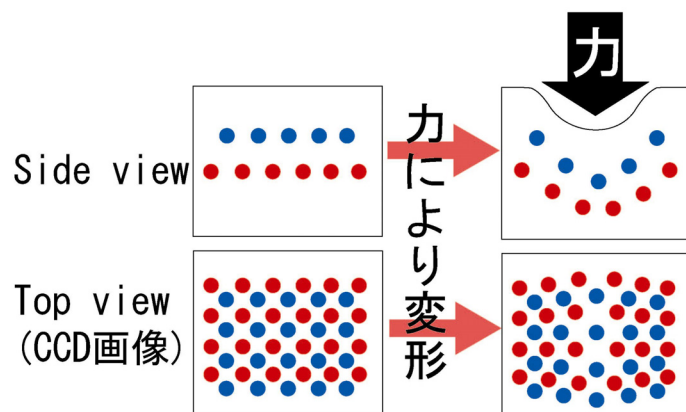


図 2 : 弾性体の変形によって起こる  
マーカーク移動の模式図

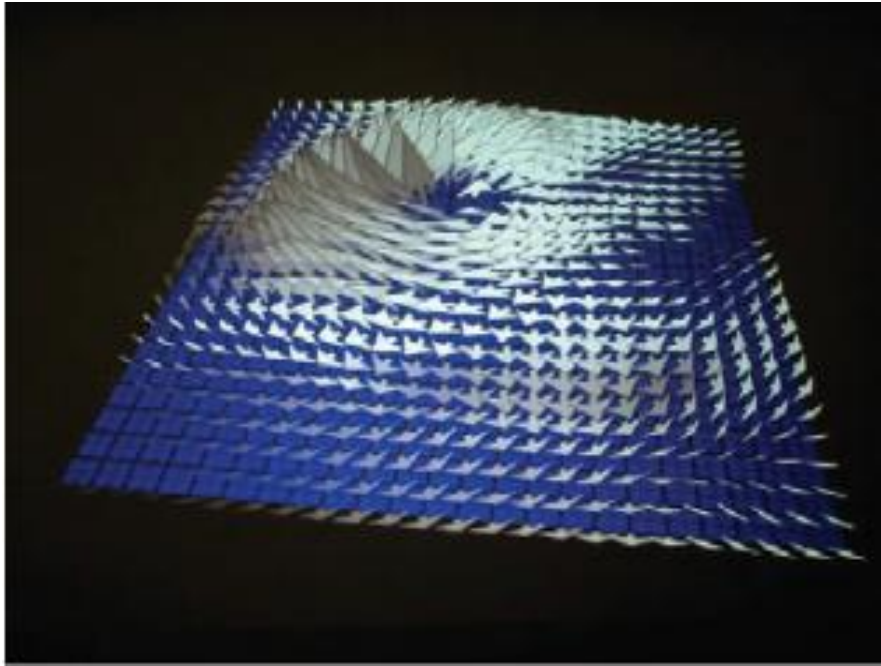


図 3 : 計測された力ベクトル場