

氏名	松本 廣一郎
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	甲 第 717 号
学位授与の日付	令和 元年 9 月 30 日
学位授与の要件	信州大学学位規程第 5 条第 1 項該当
学位論文題目	災害対応における環境認識のための 表面性状推定に関する研究
論文審査委員	主査 准教授 山崎 公俊 教授 千田 有一 准教授 高山 潤也 准教授 中山 昇 教授 渡辺 哲陽 （金沢大学）

## 論 文 内 容 の 要 旨

地震や津波などの自然災害が発生し、工場やプラントなどの建物が被災した場合、被害拡大を抑えるために建物の内部状況を把握する必要がある。そのような建物の内部状況調査において、人が建物内部に直接侵入することは危険であることが多い。この理由により、遠隔操作ロボットによる内部調査が望まれている。安全な遠隔地にいる操縦者は、被災建物に投入された遠隔操作ロボットを通して、内部状況を把握することが可能となる。

このようなロボットには、人間が到達困難な場所への移動、ドアやバルブなどの開閉作業、パイプや瓦礫などの物体操作などの作業が求められる。そのため、ロボットは頑丈で高度な環境認識機能を有する必要がある。環境認識機能ではこれまで、建物内部の地図作成や物体認識などの高度な認識機能に対する研究が行われており、それらの機能を組み合わせることで、比較的高度な環境認識機能を有する災害対応ロボットが提案されてきた。しかし、被災環境に投入されるロボットに必要とされる環境認識機能はまだ十分とは言えない。

工場などの建物は人間が生活する空間であるため、内部には水や油などの液体やホコリなどの粉体が存在しており、被災することでそれらが散乱する可能性が考えられる。そのような環境にロボットを投入すると、油やホコリによって転倒したり、壊れやすい対象の操作に失敗する可能性が考えられる。そのような失敗を回避するためには、接触対象の表面性状を把握する必要があり、表面性状情報を遠隔操縦者に提示することで、ロボットにとって好ましくない表面との接触を回避できると考えられる。

表面性状情報を把握するためには、表面性状を計測する必要があるが、表面性状計測の標準的な計測方法は確立されていない。

本研究の目的は、「新たな表面性状計測手法の確立」、「表面性状に基づく走行可否判別システムの作成」、「表面性状推定システムの作成」の 3 項目である。被災した建物内部において探索等を行う移動型ロボットで利用する事を前提とし、表面材質の違い、堆積物の有無、堆積物の性質などを定量的に計測できる仕組みを提案し、計測器の制作と提案手法と提案システムの有効性検証を行う。

本研究で提案する表面性状計測手法は、「払い動作」と「離し動作」である。払い動作とは、荷重をかけながら表面を撫でる動作である。表面をなでたときに発生する抵抗力は、表面性状ごとに異なる。払い動作はこの違いに着目した動作である。抵抗力は摩擦力と表面反力の合力とし、表面を払う速度（「払い速度」と呼ぶ）を変えながら払い動作を行い、抵抗力の大きさや変化傾向を観察する。

離し動作とは、接触状態にある 2 面を引き離す動作である。二面が液体を介して接触し

ている場合、面を引き離そうとすると液体による粘性抵抗が発生する。粘性抵抗は引き離す速度と接触面積と液体粘度によって変化すると考えられるため、液体の粘度によって異なる粘性抵抗を計測できると考えられる。離し動作によって、計測対象から計測装置を引き離したときの粘性抵抗の最大値（「接着力」と呼ぶ）を計測し、表面の状態ごとの違いを観察する。

提案計測手法の有効性検証では、自作した簡便な計測装置を用いて行う。ここでは、材質の異なる4種類の平滑な板材と、板材表面に塗布するための粘性の異なる3種類の液体を用い、乾いた表面状態と合わせて合計16種類の表面性状を用意した。各表面性状に対して、払い動作と離し動作を適用し、表面性状ごとに異なる抵抗力と接着力が得られる事を確認した。

さらに、計測された抵抗力と接着力を用いて表面性状を記述する特徴量の提案を行った。特徴量は3種類存在し、それぞれ  $sl$  特徴量、 $vr$  特徴量、 $vrj$  特徴量である。これらの特徴量を用いて、計測データを特徴空間にプロットし、記述特徴量について考察した。考察により、 $vrj$  特徴量による表面性状記述の有用性を確認した。

走行可否判定では、 $vrj$  記述特徴量とロジスティック回帰を用いて走行可能確率を求め、記述特徴量との比較を行った。その結果、柔らかい表面で、接着力が低い状態ほど走行可能確率が高いことがわかった。

最後に、表面性状記述特徴量を用いて、表面性状推定実験を行った。ここでは、対象表面の硬軟、液体の有無、表面材質名と状態名などを推定する4種類の実験を行った。推定にはRBFカーネルを用いたSVMを用い、それぞれ80%以上の推定精度を確認した。