

情報収集(被災者捜索)ロボットの 遠隔操縦インターフェースに関する研究

横山 哲也 稲葉 昭夫 天野 久徳*

Study on Tele-operating Interface of Mobile Robot to Gather Information for Relief Activities

Tetsuya YOKOYAMA Akio INABA Hisanori AMANO*

あらまし 大規模災害直後の救助活動において、被災者やその周囲の情報を収集する情報収集ロボットの活用が期待されている。当研究所では、瓦礫や階段等の不整地の走行が可能なクローラ型の全方向移動ロボットCUBIC-R2を開発し、情報収集ロボットの活動範囲を拡大させた。本年度はCUBIC-R2の開発課題の1つである遠隔操縦において、接地センサ等の情報を取り込んだ遠隔操縦インターフェースを試作し、その機能を確認した。

キーワード 全方向移動ロボット, レスキュー, 遠隔操縦インターフェース, 接地センサ

1. はじめに

大規模災害直後の2次災害の回避や迅速な被災者の捜索のために、情報収集ロボットの運用が期待されている。情報収集ロボットは、崩壊した建造物の瓦礫上や瓦礫内部を移動が必須となるため、高い不整地移動能力が必要となる。

筆者らはこのような情報収集ロボットの移動機構に関して、その活動範囲を半壊した建物や地下街を対象とした新たな移動機構を提案し、そのプロトタイプCUBIC-R2を開発した^{[1][2]}(表1に諸元を示す)。CUBIC-R2は変形機構を介してクローラユニットを十字形に連結したロボットで、その特徴は次のとおりである。

- ・ 瓦礫、階段、段差などの様々な不整地路面に併せて、ロボットの骨格となるプラットフォームの形状を変化させ、不整地を踏破する(図1)。
- ・ ロボット全体の旋回運動を伴わず、その進行方向を変更することができる。



図1 CUBIC-R2の不整地走行

このCUBIC-R2は、移動機構としての開発は終了しているが、直接目視できない環境を対象とした遠隔操縦インターフェースの開発が残されている。そこで本研究では、この遠隔操縦インターフェースについて検討する。

2. 遠隔操縦インターフェース

CUBIC-R2は不整地に応じてプラットフォームを変形させ、クローラを接地させることにより不整地を踏破する。現在、操作者は目視によりプラットフォームの変形操作を行っている。この操作を観察すると、操作者は進行方向の不整地形状に応じて、CUBIC-R2が転倒しないようにプラットフォームを変形させ、クローラを瓦礫等に接地させることにより、CUBIC-R2の推進力を得るようにしている。このことから、遠隔操縦をするためには次に示す情報を、操縦インターフェースで提示する必要があると考えられる。

表1 CUBIC-R2の諸元

全重量	30.0Kg
ロボット寸法	
格納時	420×420×332mm
展開時	840×840×190mm
自由度	19

* 消防庁消防大学校消防研究センター

- 1) CUBIC-R2の進行方向の不整地状況
- 2) CUBIC-R2のプラットフォーム形状及び姿勢
- 3) 各クローラユニットの接地の有無

本研究では1)を搭載カメラにより、2)を傾斜センサやエンコーダ等の内界センサにより取得することとし、3)については、新たな接地センサを開発することとした。

3. 接地センサの開発

3.1 接地センサの要件

2章で述べたCUBIC-R2の遠隔操縦インターフェースに必要な接地センサについて検討する。

先で述べた人が目視で行う操作を観察すると、どのクローラが接地したかが重要であり、クローラのどの箇所が接地しているかまでは必ずしも必要でないと考えられる。このことから、CUBIC-R2の接地センサに求められる要件として、

- ・CUBIC-R2に容易に装着可能
- ・装着したセンサが走行の妨げとならない
- ・クローラ接地面積内の接地有無を検出

が挙げられる。

従来の接地センサとして、2足歩行ロボットの足裏等に使われるマイクロスイッチがある。マイクロスイッチは実装が簡単であるが、スイッチの一部がクローラ筐体の外にでるため、走行を妨げる可能性がある。森村らはクローラを有するレスキューロボットの接地検出を、モータ電流値の変化により検出した^[3]。しかし、CUBIC-R2はモータギア比が高いため電流変化の検出が難しいことから適用は困難である。井上らはクローラの接地箇所を特定できる有益な接地センサとして、分布触覚センサ^[4]を開発した。しかしクローラシュー毎に光学装置を設ける必要があるなどの制約があり、CUBIC-R2に装着することは困難である。さらに当センサの能力までは必要としていない。以上のことから、従来の接地センサをCUBIC-R2に使用することは困難であり、新たにセンサを開発する必要がある。

3.2 CUBIC-R2接地センサ

前節での議論を踏まえ、本研究ではCUBIC-R2における各クローラユニットの接地状態を、プラットフォームがクローラユニットから受ける反力に着目して検出することとした。図2に示すとおり、CUBIC-R2のプラットフォームとクローラユニットを、隙間が発生する仕組みで締結し、この間に感圧抵抗素子^[5]を装着する構造とした。この構造により、非接地のときはクローラの自重で隙間が生じ、接地のときは反力により隙間が埋まる。隙間が埋まることで感圧抵抗素子に圧力が働き、素子の抵抗値が変化する。素子にかかる電圧値を測定し、閾値を基準に比較することで接地の有無を判定する。

感圧抵抗素子は平面形状で厚みが薄く、結合部の取り

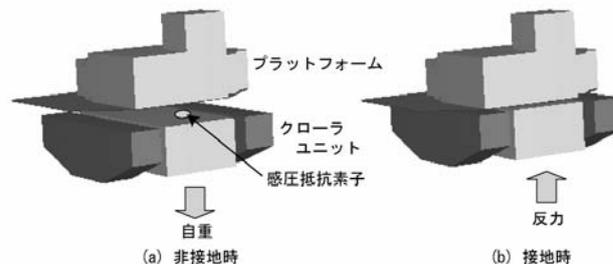


図2 接地センサ構造と取得原理

付けに適しており、容易に取り付け可能である。またクローラユニットの筐体内に取り付けるため走行の妨げとならない。その上、結合部に位置するため、接地センサを分布させることなくクローラの接地面積内の接地が感知できる。

3.3 接地センサの機能確認

実装した接地センサの出力を確認するため、段差踏破の予備実験を行った。図3に示す手順で段差踏破を行った際のCUBIC-R2のピッチ角度を図4に、接地センサ出力（接地有:1、接地無:0）を図5に示す。接地センサはCUBIC-R2の各面(ロボットの前、中央、後)に取り付けた。またピッチ角度は中央面の姿勢センサで検出する。なお、段差サイズは高さ160mm、奥行き380mmである。

図4のピッチ角度から図3の接地パターン(1)~(5)を推定し、図5に接地パターンを記載する。図5より接地センサの出力は時間遅れがあるものの、(1)~(5)の接地パターンに応じた接地状態を出力しており、接地状態を推定できている。

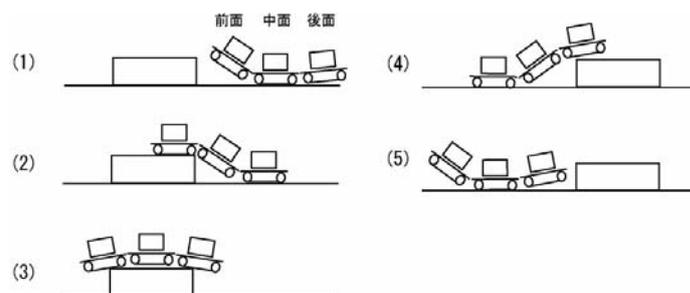


図3 段差踏破のプロセス

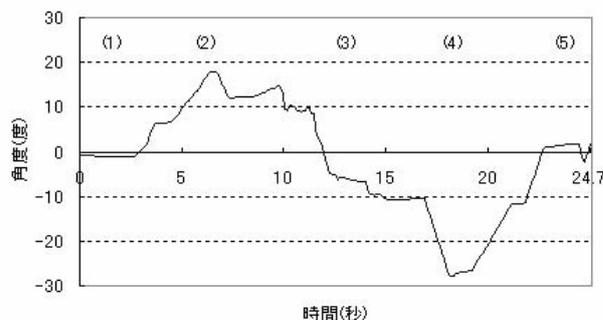


図4 段差踏破時のピッチ角

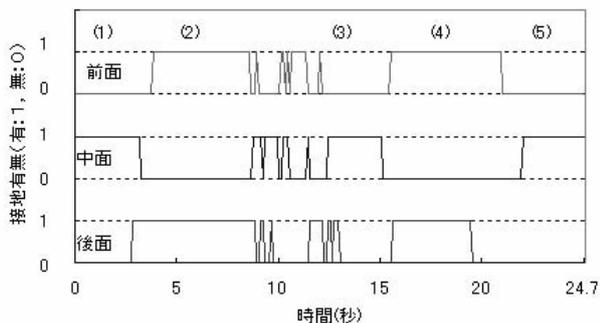


図5 段差踏破時の接地状態

4. 遠隔操縦インターフェースの実装

2章で検討した遠隔操縦に必要な情報を用いて操作が可能か否か確認するため、具体的なインターフェースを試作した。図6にそのインターフェース画面を示す。

CUBIC-R2の進行方向の不整地状況に関しては、ロボットの頭上に魚眼レンズ（ソニー(株) カメレオンアイ）を取り付け、その映像を提示することとした。魚眼レンズを用いた理由は、CUBIC-R2と周辺環境との位置関係および不整地の状況が容易に提示できるからである。しかし、魚眼レンズを比較的高いところに接地する必要があるため、CUBIC-R2が狭部に進入するときの障害になる恐れがあり、さらなる検討が必要である。

CUBIC-R2のプラットフォーム形状及び姿勢については、エンコーダ出力からプラットフォームの変形を、傾斜センサ出力からロボットの姿勢を検出し、CUBIC-R2のコンピュータグラフィックス(以下、CG)を用いて操作者に提示した。提示画像に関しては、より姿勢が理解しやすくなるように、俯瞰視点と側面視点のCG画像を提示することとした。

接地状態に関しては接地センサの出力を用いて、CG上に接地しているプラットフォームの色を変化させることにより提示することとした。

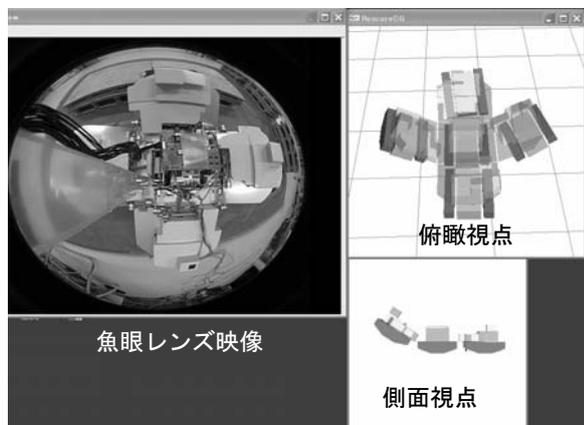


図6 遠隔操縦インターフェース

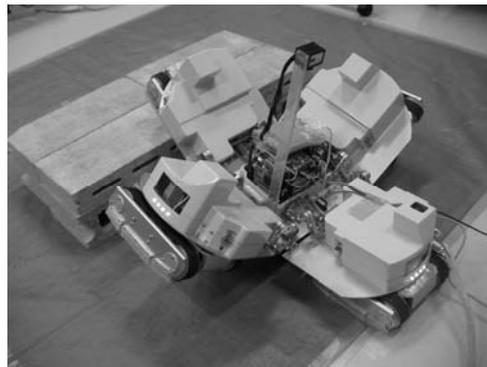


図7 段差踏破の実験環境

5. 遠隔操縦実験および考察

試作した遠隔操縦インターフェースを用いて遠隔操縦が可能か否か確認するため、不整地踏破に関して最も基本的なタスクである段差踏破を対象とした実験(図7、段差高さ160mm、奥行き380mm)を行った。この結果、遠隔操縦できることを確認した。

次に遠隔操縦インターフェースを構成する情報提示の効果を把握するため、CUBIC-R2のプラットフォーム形状、姿勢および接地状態を提示するCG有り無しで段差踏破を行った。図8にCG有りで段差踏破を行った際の、CUBIC-R2のピッチ角度およびその角速度(数値微分)を示す。ピッチ角度の推移より滑らかに段差踏破をしていることが確認できる。次にCG無しで操縦したときの、CUBIC-R2のピッチ角度およびその角速度(数値微分)を図9に示す。ピッチ角度の推移を見ると図8に比べ動きが激しいことが確認できる。さらに角速度に2つの鋭いピークが現れている。これは段差を登った直後および段差を降りる直前に、CUBIC-R2が段差ブロックのエッジを支点に大きく回転したと推定される。このことより、操作

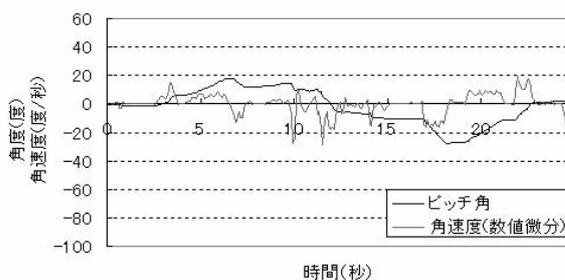


図8 ピッチ角及びその角速度 (CG有)

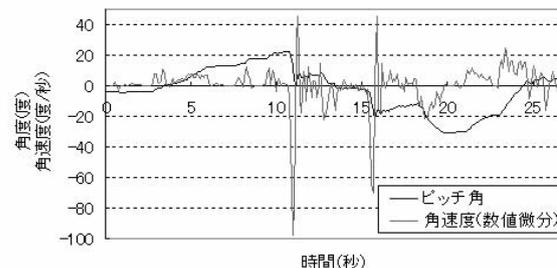


図9 ピッチ角及びその角速度 (CG無)

者は遠隔操縦インターフェースのCGで接地状態を確認し、プラットフォームを適切に変形することで、急激な姿勢変化を低減していると考えられる。

急激な姿勢の変化は、ロボットの転倒可能性を高める。仮に転倒した場合、元の状態に復帰させるために無駄な時間を費やすことから、転倒は避ける必要がある。接地状態を参考にCUBIC-R2の形状を変形させることで、その危険性は避けられる。ただし、接地の情報提示が有ると操作が慎重になり、操作時間を費やす可能性がある。そのため、一連の操作時間も含めた評価を別途行う必要がある。

6. まとめ

本研究では遠隔操縦に必要となる情報を検討し、その中で重要な情報である接地状態を検出する接地センサを開発した。さらに検討した情報を取り込んだ遠隔操縦インターフェースを試作し、最も基本的な段差の踏破実験により遠隔操縦が可能であることを確認した。さらに提示情報の比較実験により、CUBIC-R2のプラットフォーム形状、姿勢および接地状態の提示は、ロボットを滑らかに操作する上で重要な情報であることが確認できた。

今後は接地センサ有無による操作時間の測定と評価、搭載カメラの取り付け位置等について検討する。さらに半自律でCUBIC-R2が不整地を踏破できるよう遠隔操縦インターフェースの改良も取り組む予定である。

文 献

- [1] 田畑克彦, 稲葉昭夫, 天野久徳, “不整地走行用全方向移動システムの開発”, 計測自動制御学会論文集 Vo.41, No.12, pp.998-1004, 2005.
- [2] 田畑克彦 他, 情報収集(被災者捜索)ロボットの移動機構に関する研究(第4報)”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告 第7号, pp.40-46, 2006.
- [3] 森村章一, 大野和則, 田所諭, “未知段差の半自律踏破のためのクローラ型レスキューロボットの制御即の提案”, 第24回日本ロボット学会学術講演会, 2006.
- [4] 井上大輔, 昆陽雅司, 田所諭, “クローラ型ロボットのための分布触覚センサの開発”, 第24回日本ロボット学会学術講演会, 2006.
- [5] <http://www.interlinksensors.com/products/forcesensingresistors/index.html>