狭隘環境内で作業可能な伸縮駆動機構を有するレスキューロボットの開発

Development of Rescue Robot with Expandable Side Crawler

○正 古野 誠治・北九州高専

中井 瑞貴・北九州高専

正 平野 剛・近畿大学

Seiji FURUNO

Mizuki NAKAI

Go HIRANO

Kitakyushu National College of Technology

Kitakyushu National College of Technology

Kinki University

Key Words: Rescue Robot, Expandable Side Crawler, Narrow Environment,

1. はじめに

地震や台風などで建物が倒壊した被災現場では、瓦礫が積み重なり、人が入れない狭い場所が数多く存在するため、瓦礫内で探査活動を行うロボットが開発されている。例えば、森らのヘビ型ロボット ACM-R3[1] はほふく運動によって推進するヘビと同様な運動により移動を行い、亀山らのクローラ型ロボット KOHGA[2]は複数のクローラ型ロボットを連結した形状をしている。これらは共に複数ユニットを連結した構造をしており、全幅に対して全長が比較的長尺となっている。これにより狭隘環境での活動を可能としているが、狭隘環境内での方向転換を行う場合、ロボットの全長もしくは全幅以上の場所が必要であるため、長尺のロボットでは環境によっては方向転換が困難になる。

そこで本研究では、狭隘環境で移動できるよう突起物をなくし、コンパクトかつ高い踏破性を実現する機構を有する探査用レスキューロボットを開発する。

2. 伸縮駆動機構を有するレスキューロボット

2.1 概要

本研究では Fig.1 に示すような伸縮駆動機構を持つレスキューロボットを開発する。4 本の独立した駆動用クローラを平行に配置し、胴体に固定した 2 本のクローラをセンタクローラ、両側に取り付けたクローラをサイドクローラとする。通常時のサイドクローラは Fig.1 のような状態であり、瓦礫内等の狭隘箇所への進入や方向転換が可能である。この状態で段差を乗り越えられない場合は、Fig.2(a)に示すようにサイドクローラを伸張（スライド）し、Fig.2(b)に示すようにセンタクローラとの結合軸周りに回転（フリップ）することでサイドクローラを腕のように使うことができ、乗り能力を一時的に高めることができる。また、瓦礫が形成する溝の上を通過する場合にも、サイドクローラを伸ばすことで対応できる。以下に、開発したレスキューロボットの機構、設計、ハードウェア構成について説明する。

2.2 スライド機構の設計

サイドクローラは、センタクローラと同一位置 (Fig.1) から、センタクローラ前方の回転軸とサイドクローラ後方の回転軸が一致する位置 (Fig.2(a)) までスライドできるものとする。つまり本ロボットのホイールベース長だけスライド可能とする。またサイドクローラは、ロボット胴体およびセンタクローラに対してフリップ軸のみで結合されており、この軸がスライド機構との結合点となる。したがって、この軸およびスライド機構には、サイドクローラの自重によるモーメントおよびロボットの運動時の衝撃力が加わる。そこで、これらを考慮しスライド機構としてリニアガイドを使用する。駆動には台形ネジを用い、Fig.3 に示すようにセンタクローラ側に取り付ける。

Fig.1 Rescue robot with expandable side crawler

Fig.2 Side crawler motion

Fig.3 Slide mechanism

2.3 フリップ機構の設計

クローラ型レスキューロボットの多くは、フリップ機構を胴体に取り付けているが、本レスキューロボットはスライド機構が胴体側にあるため、フリップ機構を取り付けることが難しい。そこで本研究では、フリップ機構をサイドクローラに取り付ける方法を採用した。これにより、サイドクローラには駆動用とフリップ用の 2 つの DC モータとそれぞれの駆動機構が内蔵されることになり、その結果、サイドクローラの自重が大きくなってしまふ。フリップ機構には、サイドクローラを任意の姿勢に保持することが求められるが、自重が大きくなるため DC モータで姿勢を保持することが難しい。そこで、機構自身で保持できるようにフリップ機構にウォームギヤを用いる。またフリップ角度としては $\pm 180[\text{deg}]$ の範囲で動作するものとする。

2.4 ハードウェア構成

本レスキューロボットには8個のDCモータが使用されている。Fig.4 に示すように、サイドクローラとセンタクローラの駆動に4個、サイドクローラのスライドに2個、サイドクローラのフリップに2個となっている。すべてのDCモータにはロータリーエンコーダが取り付けられており、回転数を計測することで各クローラの回転角速度、サイドクローラのスライド量とフリップ角度を測定できる。また、重心が常にロボット全長の半分の位置にくるように、DCモータをロボットの前後左右に均等になるように配置している。これによりサイドクローラの伸縮によって重心位置が変化しても転倒せずに安定した走行が可能となる。センタクローラの間にはスペースを設けており、CCDカメラ、距離センサ、バッテリー、電源回路などを組み込むことができる。

2.5 実機の外観

Fig.5 と Fig.6 に開発したレスキューロボットを示す。Fig.5 は通常時のサイドクローラを縮めた状態で、全長が444[mm]、幅408[mm]、高さ125[mm]である。Fig.6 はサイドクローラ最大伸張時の状態を示しており、全長は763[mm]である。また、質量は約16.0[kg]となっている。クローラの表面には走行面とのグリップ力を高めるために、ゴムが取り付けられている。

3. 実験

開発したレスキューロボットの走行実験、段差の乗り越え実験の結果を示す。ただし、実験は平坦な路面上で行い、操縦者は実機を目視しながら操縦を行った。

3.1 走行実験

走行実験として通常時とサイドクローラ伸張時の直進走行実験、旋回動作実験を行った。直進走行については通常時と伸張時ともに直進走行することを確認したが、旋回動作については、クローラが滑りを生じながら旋回するため、摩擦による抵抗が大きく不安定であった。また各クローラの速度の違いやサイドクローラのスライドにより回転中心が変化するため、旋回動作を安定して行うためには、それらの関係式を導出する必要がある。

3.2 段差の乗り越え実験

伸縮駆動機構の性能を確認するために、高さ170[mm]の段差の乗り越え実験を行った。以下にその手順、Fig.7 にその様子を示す。

- Step 1. Fig.7(a)のようにサイドクローラを縮めた状態で乗り越えられない段差に遭遇したら、サイドクローラをスライドさせる (Fig.7(b))。ここでは、スライド機構の最大伸張位置まで伸ばしている。
- Step 2. Fig.7(c)のようにサイドクローラをフリップさせ、その状態のまま前進し、段差にサイドクローラを引っ掛ける。
- Step 3. サイドクローラを Step 2 と逆方向にフリップさせ、センタクローラを持ち上げ (Fig.7(d))、サイドクローラ全体が段差に乗り上げるまで前進する (Fig.7(e))。
- Step 4. サイドクローラが後退しないようにスライド機構でセンタクローラをスライドさせる (Fig.7(f))。

4. おわりに

本研究では、狭隘環境内での作業を可能にするレスキューロボットの開発を目的として、サイドクローラが伸縮可能なレスキューロボットを開発し、走行実験および段差の乗り越え実験を行った。今後の課題としては、旋回動作を制御するための操縦法の提案、遠隔操作システムの構築、瓦礫環境での実証実験が挙げられる。

Fig.4 Motors location

Fig.5 Over view of rescue robot in drive mode

Fig.6 Over view of rescue robot in expansion mode

Fig.7 Experiment of climbing motion

参考文献

- [1] 森淳, 山田浩也, 広瀬茂男: “三次元索状能動体 ACM-R3 の設計開発とその基本操舵制御”, 日本ロボット学会誌, vol.23, no.7, pp.120-131, 2005
- [2] 亀川哲志, 松野文俊: “遠隔操作性を考慮した双頭ヘビ型レスキューロボット KOHGA の開発”, 日本ロボット学会誌, vol.25, no.7, pp.52-59, 2007