

がれきにおける移動性評価を目的としたレスキューロボットのモデル化

北海道大学 ○川尻 将大, 小野里 雅彦, 田中 文基

要 旨

がれきにおけるレスキューロボットの移動性評価を目的として、がれき上を走行するクローラ型ロボットとがれき内を走行するヘビ型ロボットを物理エンジンを用いてモデル化した。またモデルの妥当性を検証するために基本動作シミュレーションを実施し、実機との性能比較を行った。

1. はじめに

1995年1月17日未明に発生した阪神淡路大震災では、木造家屋などの建造物倒壊が主な原因となり多くの犠牲者を出した。この震災以降、迅速に救助活動を行うためのレスキューロボットの開発が各地で行われている。

しかし、実世界においてがれきフィールドでのレスキューロボットの走行試験が不足しており、知見を蓄積することができないため、開発時において設計の要求事項を明らかにすることや開発されたロボットの有する性能を一般性をもって評価することができないといった問題が存在する。

このような問題に対して本研究では、仮想空間上でがれきにおけるレスキューロボットの移動性評価が行えるシステムを構築し、がれきとレスキューロボットに関する知見の蓄積を目指す。本稿では物理エンジンを用いたレスキューロボットのモデル化とモデルの妥当性を検証するために行った基本動作シミュレーション、そして仮想空間上でのがれきにおける移動性評価の方針について記す。

2. 物理エンジンを用いたレスキューロボットのモデル化

本研究グループではこれまで、物理エンジン PhysX[1]を用いて仮想空間上にがれきモデルを構築し、そのモデルをもとに様々な解析を行ってきた[2]。本研究ではがれきモデルにおいて走行試験を行うために、PhysX を用いてレスキューロボットのモデル化を行った。

今回は目的の異なる 2 種類のモデルを作成した。一つはがれき上からの情報収集を目的としたクローラ型ロボット。もう一つはがれき内探索を目的としたヘビ型ロボットである。

(1) クローラ型ロボットのモデル化

IRS, 東北大, 千葉工大, 筑波大, 岡山大, AIST, NICT など共同開発されたクローラ型ロボット Kenaf[3]をモデル対象とした(図1)。Kenaf は本体を覆う左右のクローラとそれぞれが独立して制御される 4 本のフリッパから構成されており、フリッパの角度を適切に調整し、確実に接地することで不整地での走行を可能にしている。

作成したモデルを図2に示す。このモデルは東北大の研究[4]において用いられた各クローラを車輪列で再現する手法を採用している。この手法を採用した理由としては、クローラ構造を忠実にモデル化することが困難であることや設置場所を点とすることで計算量を減らしシミュレーション速度を向上できることが挙げられる。また車輪に爪を付加させることで、引っ掛かりによる推力を再現している。モデルの仕様は実機[4]と同じ全長 570[mm]、高さ 180[mm]、全幅 430[mm]、重量 20.0[kg]となっている。部品同士の結合には PhysX に用意されている汎用的な要素結合クラスである D6Joint を用いた。D6Joint のパラメータである Spring, Damping, DriveVelocityなどを調整することで車輪の駆動力や速度を設定することができる。

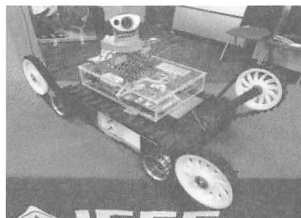


図1 Kenaf[3]

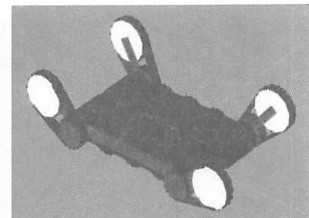


図2 Kenaf モデル



図3 ACM-R4.2[5]

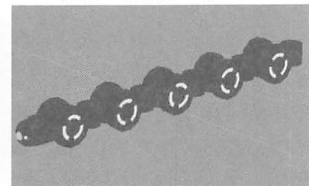


図4 ACM-R4.2 モデル

(2) ヘビ型ロボットのモデル化

東工大において研究開発が行われているヘビ型ロボット ACM-R4.2[5]をモデル対象とした(図3)。ACM-R4.2は、1自由度の関節ユニットを回転軸が水平と垂直交互に連結されており、3次元的な移動を可能にしている。また運動制御は、頭部節の軌跡を従属節が追従するシフト制御が用いられている。

作成したモデルを図4に示す。モデルの仕様は実機[5]と同じ全長 983[mm]、高さ 102[mm]、全幅 90[mm]、重量 5.0[kg]となっている。部品同士の結合には Kenaf の場合と同様、D6Joint を用いている。このモデルの運動制御には実機のシフト制御に似せた方法を採用している。モデルに実装した制御のアルゴリズムを以下に示す。

1. 頭部節が角度指令値を受け、角度を変更する。
2. 車輪の回転数より移動距離を計測し、2ユニット分移動するごとに同じ角度指令値を一つ後ろの節へ送る。それと同時に自身の節の角度を元に戻す。
3. 2を繰り返し、最後の節まで角度指令値を送る。

この制御を実装したことにより、頭部節の角度を変更するだけの比較的容易な操作でモデルを操縦できるようになった。

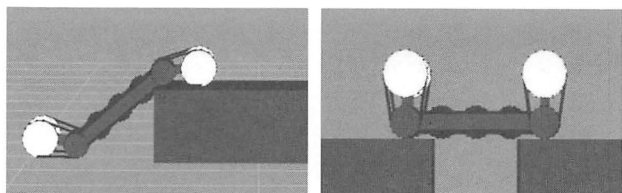
3. 基本動作シミュレーション

作成したモデルを用いて基本的な動作シミュレーションを実施し、実機との性能比較を行った。

Kenaf モデルでは速度を 10[cm/sec]になるようにパラメータ調整を行い、動作シミュレーションとしてフリッパを用いる場合と用いない場合の段差超提、フリッパを用いない場合の超壕を実施した(図5)。それぞれの性能比較結果を表1に示す。

表1よりそれぞれの動作において、実機とモデルの結果が一致していることが確認できる。

ACM-R4.2 モデルでは速度が 6[cm/sec]、最大登坂角度が実機と同じ 37[deg]になるようにパラメータ調整を行い、動作シミュレーションとして段差超提、壁面超提、超壕を実施した(図6)。それぞれの結果を表2に示す。

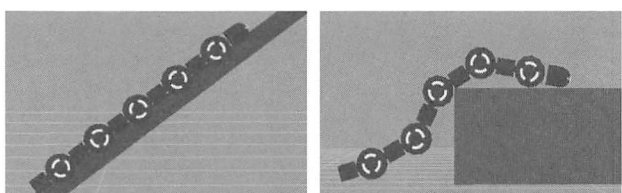


(a) 段差超提 (フリッパーあり) (b) 超壕 (フリッパーなし)

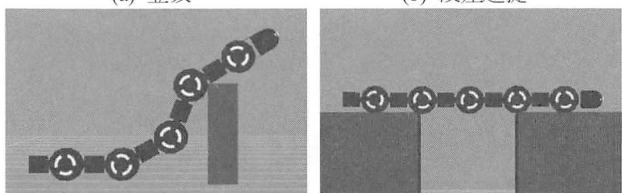
図5 Kenaf基本動作シミュレーション

表1 実機 Kenaf とモデルの基本性能比較

		実機[4]	モデル
段差超提[mm] (フリッパーなし)	50	○	○
	100	○	○
	150	×	×
段差超提[mm] (フリッパーあり)	100	○	○
	200	○	○
	300	○	○
	350	×	×
超壕[mm] (フリッパーなし)	100	○	○
	200	○	○
	300	○	○
	350	×	×



(a) 登坂 (b) 段差超提



(c) 壁面超提 (d) 超壕

図6 ACM-R4.2基本動作シミュレーション

表2 実機 ACM-R4.2 とモデルの基本性能比較

	実機[5]	モデル (手動制御)
段差超提[mm]	370	300 (380)
壁面超提[mm]	360	300 (380)
超壕[mm]	350	340 (340)

段差超提と壁面超提の動作シミュレーションにおいてモデルに実装した制御を用いたところ、実機の性能を下回る結果となった。原因として、移動距離計測に用いる車輪が物体と接触して回らない、または物体と接触せず空回りする場合があります。実際の移動距離と計測した移動距離が一致しないため、従属節が頭部節の軌跡を追従しないことが挙げられる。そこで各関節を手動で制御する方法で再度シミュレーションを行ったところ、実機の性能を多少上回ったが近い結果が得られた。超壕の動作シミュレーションにおいても実機の性能を多少下回ったが近い結果が得られた。

今後の課題として、ACM-R4.2 モデルに実装する運動制御の改

善や両方のモデルにおいて実機との挙動比較、不整地における走行性能比較による妥当性の検証が必要である。

4. レスキューロボットモデルの移動性評価

4.1 仮想基準がれきフィールドの構築

一般にがれきは複雑かつ不安定な構造をしており、その様相は様々である。しかし、レスキューロボットの開発や救助計画の立案において、作業現場であるがれきを特徴付けて分類し、それぞれのがれきにおけるロボットの移動性評価を行うことが重要となる。本研究グループの先行研究において、仮想空間上のがれきに対する定量的な特徴量抽出手法の提案が行われてきた[2]。本研究ではその手法より得られる特徴量を用いたがれきの分類方法を提案し、その分類に基づく数種類の仮想基準がれきフィールドを構築することを計画している。

4.2 移動性評価項目の検討

仮想基準がれきフィールドにおけるレスキューロボットモデルの移動性評価項目として以下に示す2つの項目を考えている。

- 所要時間
- がれき崩れ度合

所要時間については、不整地において迅速な救助が行えるかどうかを評価する。がれき崩れ度合はレスキューロボットモデルの走行に伴いがれきがどれくらい崩れるかを評価するものである。この評価は二次倒壊防止の観点から重要だと考えられる。がれき崩れ度合を評価する指標として物体の並進・回転運動を考慮したがれき移動量やがれきの位置エネルギー変化などを用いることを検討している[6]。

5. おわりに

本研究では、がれきにおける移動性評価を目的とし、がれき上を走行するクローラ型ロボット Kenaf とがれき内を走行するヘビ型ロボット ACM-R4.2 を物理エンジン PhysX を用いてモデル化した。また作成したモデルの妥当性を検証するために、実機と速度や最大登坂角度が一致するようにパラメータ調整を行い、手動で制御する方法で基本動作シミュレーションを実施したところ、実機と近い結果が得られた。

6. 参考文献

- [1] NVIDIA 社 PhysX, <http://www.nvidia.co.jp/page/home.html>
- [2] 増田寿信, “がれきの形成シミュレーションと定量的評価手法に関する研究”, 北海道大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻修士論文, 2008.
- [3] T. Yoshida, E. Koyanagi, S. Tadokoro, K. Yoshida, K. Nagatani, K. Ohno, T. Tsubouchi, S. Maeyama, I.Noda, O. Takizawa and Y. Hada, “A High Mobility 6-Crawler Mobile Robot “Kenaf,” Proc. the 4th International Workshop on Synthetic Simulation and Robotics to Mitigate Earthquake Disaster, p. 38, 2007.
- [4] 黒瀬健介, 嵯峨智, 岡本正吾, 大野和則, 田所諭, “不整地移動ロボットの制御手法開発支援を目的としたオンラインシミュレーション環境構築”, (社)日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 講演論文集 2P2-B01, 2008.
- [5] 河野健太郎, 山田浩也, 広瀬茂男, “高い荒地踏破性を有する能動節能動車輪型ヘビ型ロボット ACM-R4.2 の開発”, (社)日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, 2A1-P07, 2012.
- [6] 川尻将大, 小野里雅彦, 田中文基, “がれきとレスキューロボットの相互影響についての定量的評価に関する研究”, (社)日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, 2A2-N06, 2012.