

情報収集(被災者搜索)ロボットの移動機構のハードウェアの改良

田畑 克彦 稲葉 昭夫 天野 久徳*

Improvement of Mobile Robot Mechanism to gather Information for Relief Activities

Katsuhiko TABATA Akio INABA Hisanori AMANO*

あらまし 我々は大震災等の大規模災害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動区域を拡大するための高踏破能力を有する移動システムを開発している。開発している移動システムはガレキ上を移動でき、ガレキ内にも進入できる移動能力を有し、移動不能を回避するために全方向にわたって移動できる構成としている。本移動システムは、この開発コンセプトを実現するために幾つかの移動のための機構やセンシング機構を持つように製作されたが、ガレキ上走行実験などによりこれらの機構がもつ課題が判明した。本報告では、それらの改良を行ったので報告する。

キーワード 情報収集ロボット、移動システム、機構の改良

1. はじめに

現在、震災などの大規模災害後の要救助者を搜索するためのレスキューシステムに関する研究が数多く行われており、その中で情報収集ロボットは、救助隊員などの救助者による搜索が困難な場面での運用が期待されている。救助者による搜索が困難な場面は、搜索する区域の空間が狭く人間では搜索活動できない、もしくは人間が搜索するには二次災害の危険が伴う区域である。前者は想像に難くないが、後者には搜索区域に有毒ガス(一酸化炭素、二酸化炭素、もしくは可燃性ガスなど)が充満している、あるいは余震や火災による構造物の弱体化により二次倒壊の危険性がある、などが考えられる。

二次災害の可能性のある環境下では、崩壊した構造物のガレキだけでなく、崩壊を免れた構造物、たとえば、階段、段差などが存在する。したがって、ロボットが活動するためには、十分な移動能力を持った移動システムが必要となる。

そこで、我々は二次災害の危険性がある家屋内での情報収集を想定し、移動システムの研究開発を行ってきた^[1-3]。具体的には、クローラを変形機構により連結した移動システム(図1,2)であり、不整地路面に対応してそのプラットフォームを変形させることでガレキ、階段、段差などの様々な不整地路面を走行できる^[2,3]。さらに、前後左右に連結しているのでロボットを旋回することなく方向転換することができるため、前後に移動できない状況であっても、左右方向へ進行方向を切り替えること

ができる。我々は、このロボットを“CUBIC-R+”と呼んでいる。

しかしながら、走行実験を行った結果、機構的な課題が明らかになったので、その改良について報告する。

2. 機構の課題とその改良

本章では、機構の課題について論じ、その課題を克服するための解決手法について述べる。

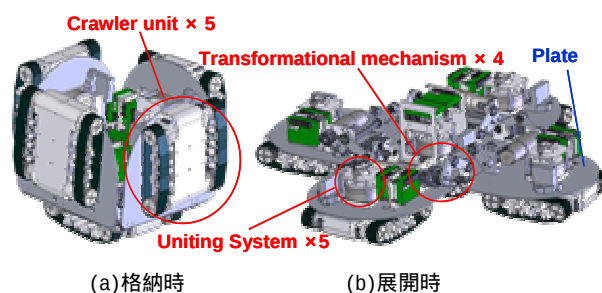
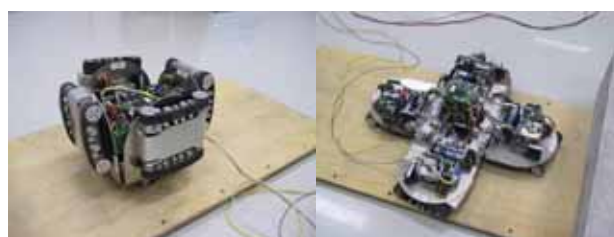


図1 CUBIC-R+の構成



(a) 格納時 (b) 展開時

図2 CUBIC-R+のプロトタイプ

* 独立行政法人 消防研究所 基盤研究部

2. 1 結合機構のブレーキ制動力の改善

図1に示すように各クローラユニットとプレートには、これらを結合する結合機構が備わっている。この結合機構は、パッシブな1自由度の軸とブレーキ機構を有しているので、接地しているクローラユニットを信地旋回することにより、プレートに対してアジマス方向に任意の相対角をとることができ、ブレーキによりその方向を保持させることができる。

現在、この結合機構のブレーキとして電磁ブレーキを用いている。電磁ブレーキは、通電すると固定部の電磁石の働きにより、回転部を吸着し制動力が発生するものである。この機構は、制動力を超える回転力が印加されても回転部がずべるので、機械的に破損する恐れはないが、制動力が大きいものは大型になり重量もかさむ。図2で使用している電磁ブレーキは小倉クラッチ製で制動トルクは6Nm、結合機構全体の重量は576gである。

CUBIC-R+の走行実験の結果、段差に対して斜め方向から登った場合などの、ガレキ走行時に片側のクローラのみが接地している場合において、クローラユニットにおよぼす回転力が結合機構の制動トルクを超えて、クローラユニットが回転してしまうことがしばしば発生した。

そこで制動力を増すために、図3に示すストッパを用いて機械的にロックするブレーキ機構を考案した。

ブレーキの原理は、結合軸に固定されたブレーキディスクの穴に、アクチュエータとバネによりピン型のストッパを上下させて脱着させるというものである。

ブレーキ解除時は、カムを回転させて2つのスライダとこれと一体になっているストッパA,Bを下方に変位させて、ブレーキを解除する(図3の状態)。

ブレーキ時はさらに90°カムを回転させることでバネの復元力により上方に変位し、クローラユニットの回転によりどちらかのストッパが最寄りのブレーキ穴に入りブレーキする。この時、ストッパがそれぞれ独立に上方へ変位するため、どちらかのストッパがブレーキ穴に入った場合、もう一方のストッパはブレーキディスク上にとどまる状態となる。ここで、ストッパAはブレーキディスクの外穴に、ストッパBはブレーキディスクの内穴に入るように実装されている。

2つのストッパを用いた理由は、ロボットへの実装の空間的制約から、ブレーキディスク径を小さくする必要があったためである。

製作した結合機構を図4に示す。仕様はクローラユニットの回転分解能が10°、結合機構全体の重量が565gである。

以上より、重量を増やすことなく、機械的にロックすることにより十分な制動力をもつブレーキを開発した。

2. 2 クローラユニットの改良

(1) 防塵機構の付加

先に述べたとおり、CUBIC-R+の活動エリアとして、二次倒壊の危険性のある半壊家屋内を想定している。このような現場においては、ロボットに対して防塵機能を

持たせることが必要である。

例えば、新潟中越地震後の被災アパート内におけるクローラ型ロボットの走行実験では、コード等のひも状のものや、布団等がクローラ部等に絡まった事例の報告がある^[4]。また、米国における同時多発テロ後においても、被災者探索ロボットが運用されたが^[5]、搭載の可視光力

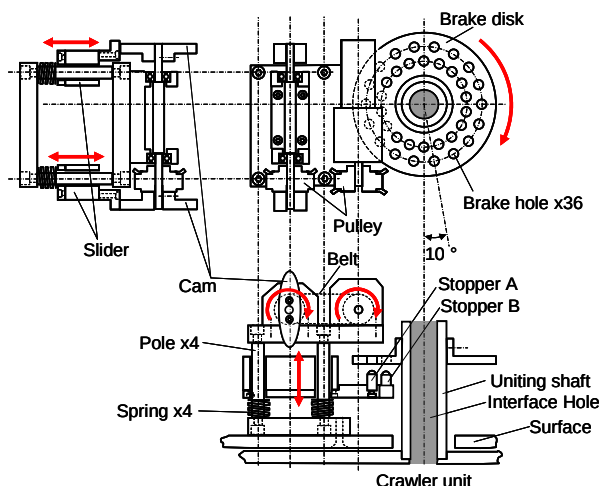


図3 結合機構のブレーキメカニズム(ブレーキ解除時)

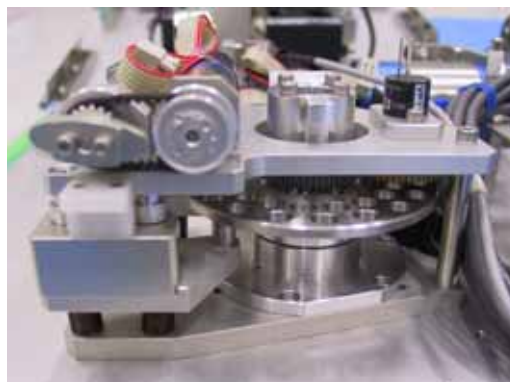


図4 製作した結合機構

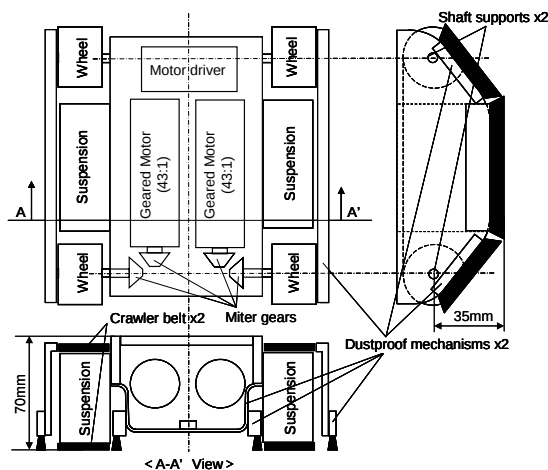


図5 防塵カバーの取付け

メラで人であるかどうか判別が困難なほど、塵が積もっていたケースがあった^[6]。

そこで本年度は、ロボットの走行能力に最も影響のあるクローラユニットに対する防塵機構を付加することとした。

防塵機構は保護カバーを用いた。これらの取付位置は図5に示すように、クローラの外側と内側側面部、クローラユニット筐体の下部全体である。

外側と内側側面部に関しては、サスペンション部にストロークが存在するので、ストローク部は刷毛の先などの柔軟な多毛構造とした(図5の台形黒色部分)。また、外側側面部はクローラ部のホイール軸を延長し、この軸で側面部を保持する構造とした。これにより、カバーは両持ち構造となるので強度を保てる。また、段差に対して斜めに進入する場合、クローラベルトを外す方向に力が働くので、時に外れてしまう場合があったが、本カバーによりクローラベルトのガイドの役割を果たし、外れにくい構造とすることができる。

以上より、カバーによる簡易な防塵機能を付加するとともに、クローラベルトが外れにくい構造とすることができた。

(2) クローラユニット単体の移動能力の向上

ガレキなどの不整地を走行する際、面開閉機構の変形機能を用いれば、240mmの段差を乗り越えることができるが、オペレータの負担を軽減するために、通常はできるだけ面開閉機構を用いないほうが望ましい。この場合には、クローラユニットの厚みが重要となり、平地の段差乗り越え能力は、理論的にはクローラの出力ホイール軸の取付高さ以下の段差高さとなる。したがって、よりコントロールレスで踏破能力を向上させるためには、ユニット厚を増やし、出力ホイール径を大きくすることが望ましい。

しかしながら、情報収集ロボットの場合、狭所への進入能力を合わせ持つことが必要であり、単純に厚みを増やすと、ロボットの高さが増し、進入能力が低下する。

そこで、ロボット展開時(図1(b))の高さを維持するクローラ厚とすることを設計方針として、2.1項の結合機構の薄型化や実装を見直すことにより、従来50mmであったクローラ厚を70mmにすることができた(図6, 7)。これにより、平地における段差乗り越え能力を理論値で24mmから35mmに改善することができた。

また、実装可能な範囲で走行能力を向上させるために、ホイールの駆動トルクを減速比を上げることにより従来の約3倍にし、走行速度の低下を補うために、ホイール径を40mmから60mmに変更した。

(3) 接地位置の検出機構の改良

ガレキ上走行におけるロボットの操縦は、予想を超える困難さがある。現時点では、遠隔操縦を想定しており、そのためのマンマシンインタフェースを検討している。これまでの走行実験により、オペレータはどのクローラ

ユニットが接地しているか確認しながらでないと操縦が難しいことがわかってきた。

そこで昨年度、前検討を行うために、どのクローラユニットが接地しているかを把握するための接地センサ機構をクローラユニットのサスペンション部に組み込んだ。

サスペンション機構は、図6に示すように、ベルトの張力を保つために天秤構造とし、ボールがスライダとジョイントの間をピストン運動する。あるアイドラが凸路面などで上方に変位すると、スライダとアイドラの間のバネが圧縮され、衝撃を吸収する。平地に戻るとバネの復元力によって平衡状態となる。

接地位置の検出機構としては、ジョイントとスライダの間に感圧センサを実装した。アイドラが接地して上方に変位した場合、バネが圧縮されるので、スライダとジョイントとの接触圧が増加し、感圧センサが反応する。感圧センサは、インターリンク エレクトリック社のFSR(感圧抵抗体素子)を用いている。このセンサは、圧力の増加により抵抗値が低下する小型($\phi 5\text{mm}$)軽量で薄型(厚さ0.3mm)のセンサである。

しかしながら、昨年度製作の検出機構を動作確認した結果、変位した瞬間は抵抗値が変化するものの、徐々に定常(平衡)状態における抵抗値に戻ってしまうという問題が発生した。そのため、接地状態が続いているか否かを断続的に判断することは困難である。この現象は、ボールがピストン運動できるようにスライダとボールの間にクリアランスが存在することと、スライダとジョイントの接触面が片持ち構造であることから、FSRが面でしっかりと押されていないことが原因である。

そこで本年度は、図7に示す構造に改良した。サスペン

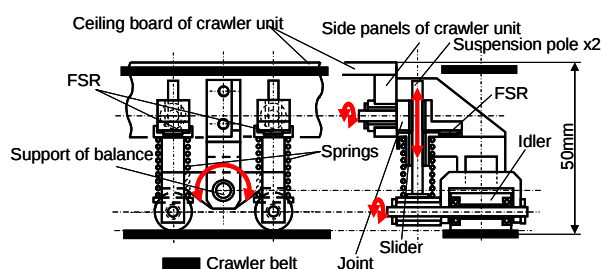


図6 昨年度の接地位置の検出機構

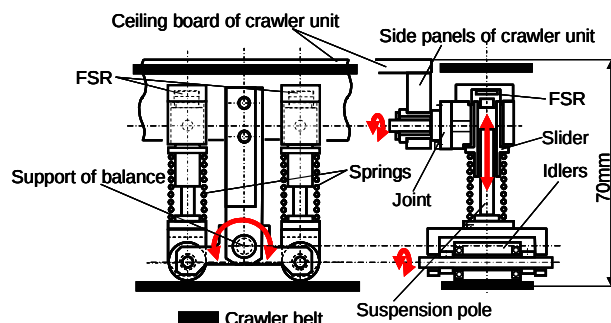


図7 本年度の接地位置の検出機構

ション機構の完成度は高いため、昨年度と同様のメカニズムを継承している。検出機構は前述のようにクローラ厚を大きくしたため、サスペンションをクローラベルト間に実装できる。このため、ボールがFSRを垂直に面で押す構造とすることができ、従来の問題点を解決できると考える。

また、サスペンションをクローラベルト間に実装できたので、図7のようにベルトとクローラユニット側板との隙間を小さくでき、より防塵性を高めることができた。

本年度試作したクローラユニットの写真を図8に示す。

2.3 ロボット実装の見直し

本年度は、本報告のほかにロボットの移動能力や操作性を向上させるため、既存の機体を改造し、ロボット形態の見直しをおこなっている^[7]。しかしながら、これまでの機体をさらに流用することは本報告で述べた改良モジュールやその他の部品実装の点で困難であるため、図9に示す3面型の部分試作機を設計/製作した。今後は、本報告で述べた改良モジュールの妥当性を走行試験等により評価する予定である。

3. おわりに

本報告では、これまで開発をおこなってきたCUBIC-Rの各モジュールのもつ問題点とその解決手法について述べた。これまでのガレキ上走行実験の結果から、よりガレキ上走行に整合したメカニズムを考案することができ、クローラユニットに対しては簡易な防塵構造を付加する



図8 製作したクローラユニット



図9 製作した部分試作機

ことができた。

今後は改良したモジュールの評価を行うとともに、ロボット上部カバーなどの検討を行い、防塵構造の強化を行う予定である。

謝 辞

本研究の一部は文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクトの一環としてなされたものである。

文 献

- [1] 田畑, 稲葉, 張, 天野, “情報収集(被災者搜索)ロボットの移動機構に関する研究”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告書, No.4, pp.31-36, 2003.
- [2] 田畑, 稲葉, 張, 天野, “情報収集(被災者搜索)ロボットの移動機構に関する研究-第2報-”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告書, No.5, pp.13-18, 2004.
- [3] Tabata, Inaba, Zhang, Amano, “Development of a Transformational Mobile Robot to Search Victims under Debris and Rubbles”, Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and System, pp.46-51, 2004.
- [4] 田所他, “フィールド・評価タスクフォース”, 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト 被災者救助等の災害対応戦略の最適化 レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発 第3回国際シンポジウム論文集, pp.457-494, 2005.
- [5] Murphy.R.R, “Rescue Robots at the World Trade Center”, Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, special issue on Disaster Reponse Robotics, vol.102, no.1019, pp.794-802, 2003.
- [6] 天野, 稲葉, 田畑, “表面硬さを利用した人体センサの実験的検討”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'03 講演論文集CD-ROM, 2P2-2F-A7, 2003.
- [7] 田畑, 稲葉, 張, 天野, “情報収集(被災者搜索)ロボットの移動機構に関する研究-第3報-”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告書, No.6, 2005.