

レスキューロボットの開発

新谷裕和*・瀬古亮太**

Development of a rescue robot

Hirokazu Araya and Ryota Seko

In this study, we built the remote-controlled rescue robot with the independent four crawler arms for running and the arm for the rescue, and evaluated the performance of the robot by the participation in the rescue robot contest [*resucon*] and the driving tests. In the *resucon*, we could remove rubble and get over rough terrain, but we could not rescue the *damiyan* (the doll which simulated a rescuer). Afterwards, we improved the arm for the rescue, and we could rescue the *damiyan*. The position control of the crawler arms occasionally became unstable though the effectiveness of the crawler arms was able to be confirmed in the driving tests.

Keywords: Rescue robot, Crawler arm, Remote control, Robot contest

1. 緒言

ロボットは1960年代から産業用ロボットとして使用されるようになり、コンピュータ技術の発展とともにロボット技術も飛躍的な発展を遂げた。1970年代になると重労働を人間に代わって行う産業用ロボットの普及が進み、1980年代には日本の産業用ロボットは全盛期を迎えた。1990年代になりロボットの研究開発はコンピュータの高速化とセンサ技術の発展に伴い、知能化の道を進み始めた。1995年には阪神淡路大震災が起き、被災者の救助ができるロボットの開発に注目が集まるようになり⁽¹⁾、これまでに様々な形のレスキューロボットが開発された⁽²⁾。2002年にはレスキューロボットの研究開発や実際の現場を想定した訓練などを行うために国際レスキューシステム研究機構(以下 IRS)が日本で設立された。最近では、2011年3月11日に東日本大震災が起き現在も大きな被害が残っている。特に福島原子力発電所は大量の放射能を放出しており、人の作業が困難な状態が続いている。そこでレスキューロボットなどのロボットが使用されることになり、IRSのロボットは7月から状況調査などを行っている。その他にも、水中ロボットによる海中の調査などが行われた。このように、レスキューロボットは様々な現場で使用され、活躍の場を広げている。

しかし、レスキューロボットには技術課題も多く残っている⁽³⁾。そこで新技術やロボットの性能

* 原子力技術応用工学科 **機械工学専攻大学院生

評価を行うためのロボットコンテストが開催されている。ロボットコンテストでは、ロボットを評価するだけでなく、多くの人々に関心を持ってもらうことや次世代の研究者を育てることに重点を置いている。そこで、本研究では瓦礫などが散乱する不整地走行において踏破性が高いクローラ型の遠隔操作型レスキューロボットを製作し、Rescue Robot Contest(以下レスコン)⁽⁴⁾への参加と実機実験によりロボットの性能を評価した。

2. ロボットコンテスト

国内で開催されているレスキューロボットのコンテストには、ロボカップレスキューとレスコンがある。ロボットコンテストでは様々な課題をクリアするごとに点数がつけられる。これら課題はロボットに求められている技術であり、実際の現場で役立つ技術とされている。製作したレスキューロボットの評価の一環として、今回はレスコンへ参加した。

レスコンでは災害現場を想定した 1/6 スケールの実験フィールドを使い、ダミヤン(救助者を想定した人形)の救助、瓦礫除去、不整地の踏破などを行う。

また、制御にはサンリツオートメーション株式会社の遠隔操作 IP システム「TPIP2」(レスコンボード)の使用が定められている。TPIP2 はモータの制御、アナログ入力を取り込み、画像処理などを行うことができ、無線 LAN によりロボットを遠隔操作することができる。

なお、レスコンはロボット技術の向上だけでなくレスキュー活動に関する考えやチームワークなど、レスキュー活動に必要な知識の向上も目的とし開催されている。

3. ロボットの概要

3.1 ロボットの仕様

製作したロボットの移動方法は、不整地での踏破に優れたクローラを使用した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。また、様々な走行形態がとれるように 4 つのクローラアームで構成し、4 つを独立駆動することができる。さらに、ロボットにはダミヤンの救助を行うためにアームを搭載している。図 1 に製作したロボット、表 1 にロボットの仕様を示す。

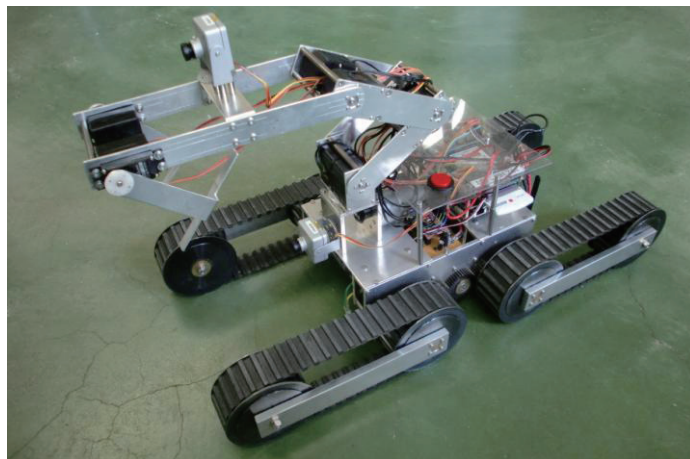


図 1 ロボットの全体図

表 1 ロボットの仕様

大きさ(初期位置)[mm]	840×330×320 (全長×全幅×高さ)
質量[kg]	14.2
自由度	アーム 6 自由度+走行部 6 自由度 計 12 自由度
アクチュエータ	サーボモータ, DC モータ
電源	9.9V LiFe
コントローラ	TPIP2(レスコンボード) +マイコン ATmega128 ボード

3.2 クローラアーム機構

クローラアームは、走行機構と位置制御機構の 2 つで構成されている。駆動には DC モータを使用し、角度センサとしてポテンショメータを使用している。クローラベルトには、ピッチ 12.7mm, 幅 38.1mm の物を使用した。図 2 はクローラアームの機構図である。回転軸はクローラアームとギヤ①に接続され、ギヤ②はプーリに接合されている。そのため、DC モータ 1 で走行駆動ギヤ③を駆動すると、②とプーリが回転し、クローラベルトが駆動し走行する。さらにギヤ④を DC モータ 2 で駆動すると、①と回転軸、クローラアームが駆動し位置制御を行うことができる。

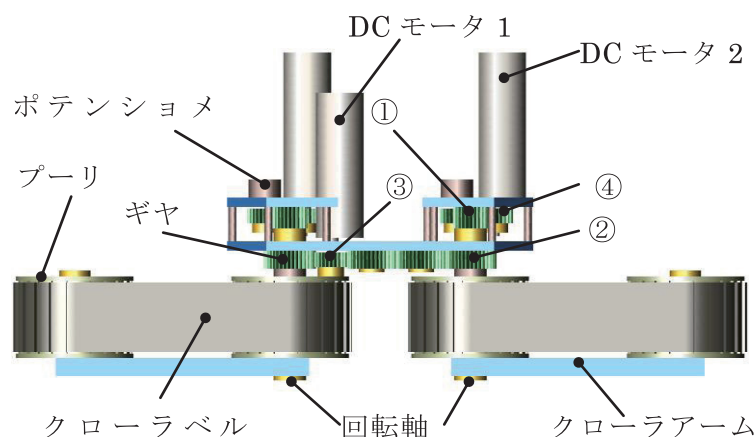


図 2 クローラアーム機構

3.3 走行形態

クローラアームには位置制御を行わない受動モードと位置制御を行う能動モードがあり、走行形態を変えることで不整地や様々な環境において走行することができる。図 3 は走行形態の例で、①は初期形態、②は V 型、③は逆 V 型、④は①②③の混合型である。①の形態では低い段差であ

ればクローラームの位置制御なしで走行できる．②の形態では①では上ることのできない段差の踏破が可能になる．③の形態では車体を地面から離すことができるため，浅い水溜りの走行が可能となる．更に，カメラ視点の変更も可能となる．④の形態は左右で高さが異なる走行面において，転倒防止や水平走行が可能となり，不整地走行で最も活用が期待される．

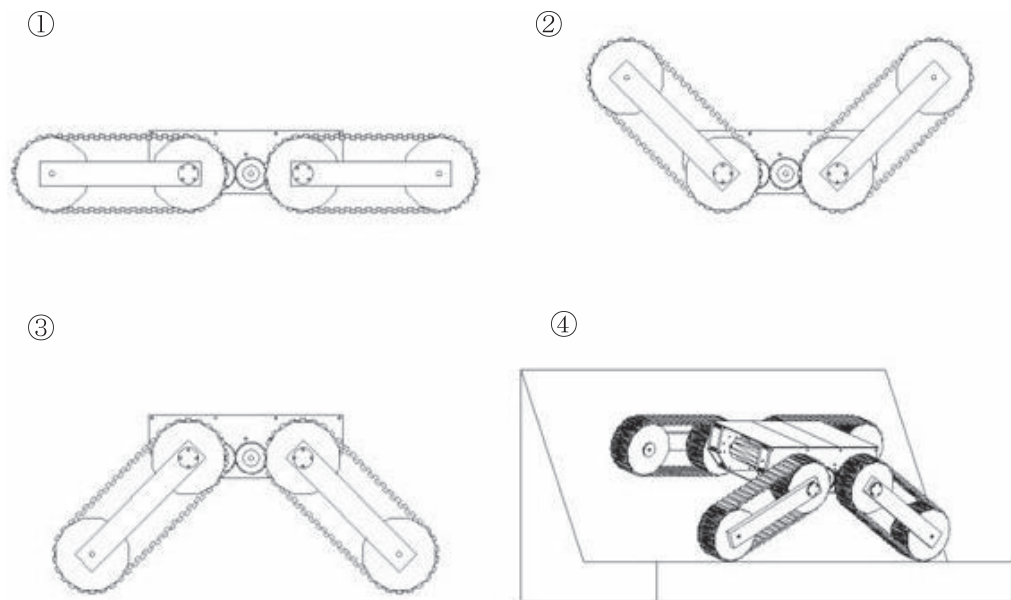


図3 走行形態の例

3.4 段差走行

3.3 節で述べた走行形態を組み合わせることで，走行が困難な不整地での踏破を行うことができる．図4では高い上り段差の踏破方法例を示している．始めに前クローラームを上げ，③の状態になるまで前進する．次に全てのクローラームを下げ⑤の状態になるまで前進する．最後に全てのクローラームを元に戻すことで踏破が可能となる．

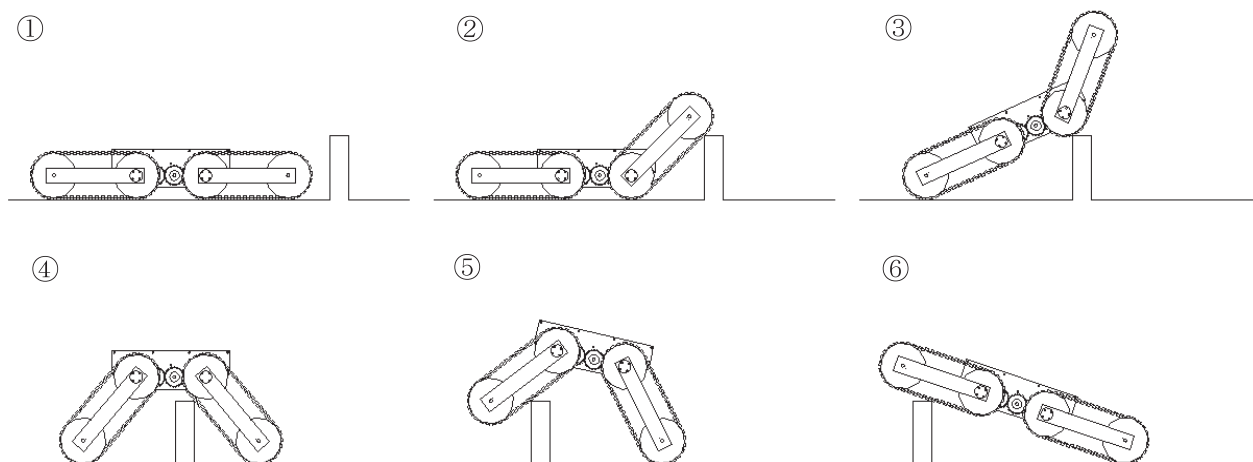


図4 段差踏破方法例

3.5 アーム機構

ダミヤンの救助や瓦礫除去を目的としたアームを製作した。レスコンで使用したアームによる救助はダミヤンにダメージを与えることが判明したため、レスコン後に新たなアームを製作した。レスコンで使用したアームをアーム 1、レスコン後のアームをアーム 2 とし、以下にそれぞれの機構について説明する。

(1) アーム 1

アーム 1(図 5)は、サーボモータで駆動する 3 自由度の垂直関節アームと、2 自由度のアーム先端部よりなる。なお、垂直関節はトルクの関係から各関節に 2 つのサーボモータを組み合わせて 1 自由度としている。根元は DC モータで駆動し、アーム全体をヨー軸方向に回転できる。ダミヤンの救助は、アーム先端部をダミヤンの脇に差し込み持ち上げる。

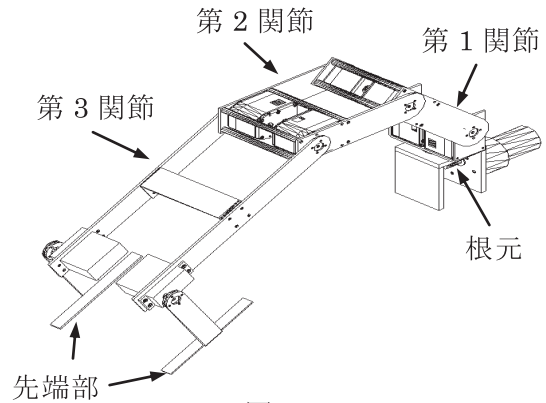


図 5 アーム 1

(2) アーム 2

アーム 2(図 6)は、根元はアーム 1 と同じであるが、アーム部をサーボモータで駆動する垂直関節を 2 自由度に、アーム先端部をアーム 1 より大きくした上で 1 自由度とし、操作性の向上とダミヤンへのダメージの軽減を狙った。ダミヤンの救助は、ダミヤンを横から掬い上げ行う。

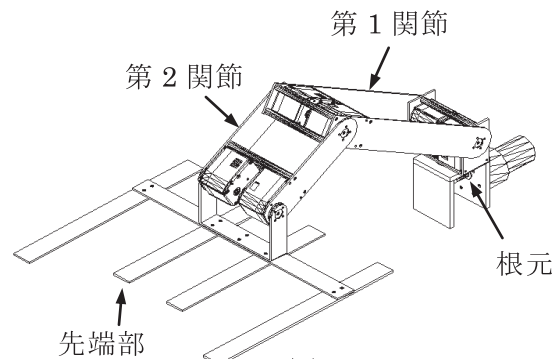


図 6 アーム 2

3.6 制御部

3.6.1 制御回路

図 7 に簡略化した回路図を示す。ロボットの制御には、レスコンボード「TPIP2」とマイコンボード「ATmega128」の 2 つをメイン基盤として使い、ゲームパッドを使いロボットを操作することができる。PC と TPIP2 は無線 LAN で結ばれており、PC の画面上にはロボットを制御するための情報とカメラ映像を表示できる。TPIP2 では PC からの情報をもとに PWM 信号により、アーム 1 の先端部に使用しているサーボモータと走行用モータの制御をモータコントローラ「MC331CR」を通し行っている。ATmega128 では

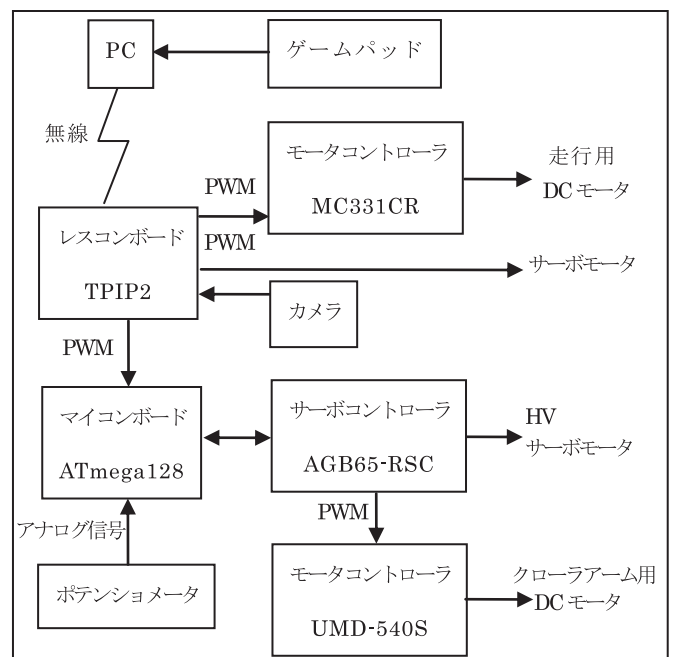


図 7 回路図

TPIP2 からの PWM 信号とクローラーム制御用ポテンシオメータの入力を処理し、クローラームとアームの制御をサーボコントローラ「AGB65-RSC」とモータコントローラ「UMD-540S」を通し行っている。

3.6.2 プログラム

TPIP2 では提供されているプログラムのパラメータを CVS ファイルで変更することによりプログラミングし、ATmega128 では C 言語を使用した。図 8 に ATmega128 のフローチャートを示す。PWM 信号の読み取り、ポテンシオメータの読み取りなどを行い、アームの制御とクローラームの位置制御を行っている。なお、クローラームの位置制御は P 制御を用いた。

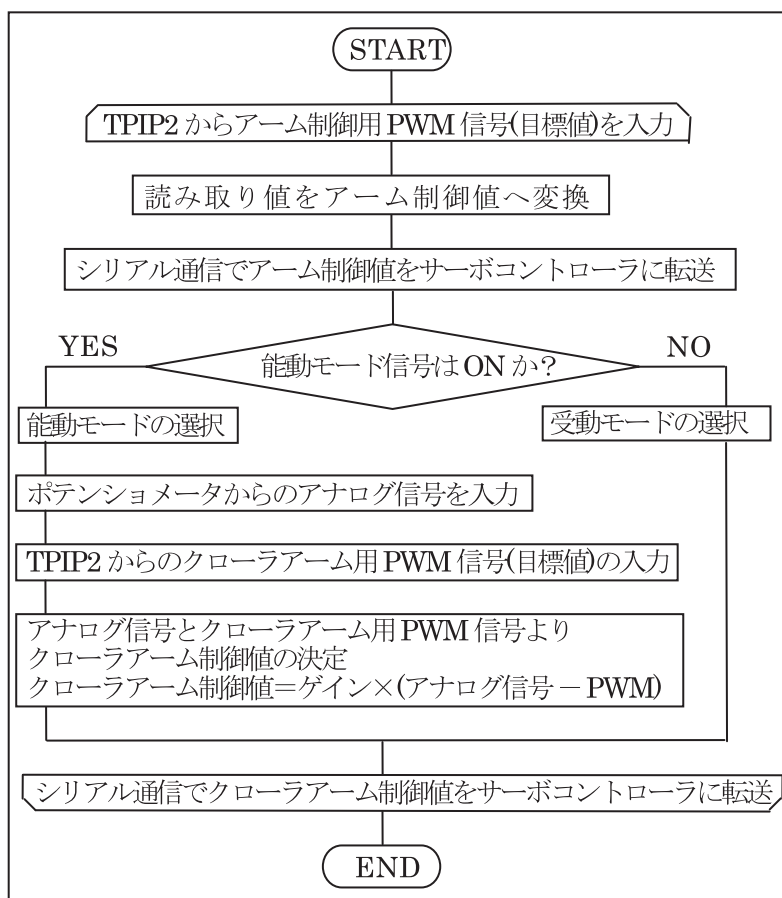


図 8 ATmega128 のフローチャート

4. ロボットの操作

4.1 制御画面

ロボットの操作は PC の画面に表示されたカメラ映像と出力情報などを基に行う。図 9 は表示された制御画面であり、①は通信状態、②はバッテリー残量、③はカメラ映像、④はカメラ番号、⑤はゲームパッド情報、⑥は出力情報を示している。



図9 コントロール画面

4.2 各部の操作

アームの操作は軸ごとに操作可能である．クローラアームの操作は，位置制御を行わない受動モードと位置制御を行う能動モードの2つを切り替えることができ，高い段差の踏破を行う場合は能動モードで操作を行う．クローラアームは4つを独立制御できるが，ゲームパッドのボタン数の関係で，前クローラアームで1組，後クローラアームで1組とし，操作するものとした．

5. 性能評価

5.1 レスコンでの評価

レスコンにはアーム1を搭載し，受動モードのみで出場した．走行障害物であるバンププレート(最大高さ 10mm の凹凸面)の踏破，棒瓦礫の除去を行うことができたが，アームを使ったダミヤンの救助はできなかった．ダミヤンを持ち上げることはできたが，ダミヤンに対するダメージが大きいことが判明した．また，アームの軸数が多いことやカメラの視野が狭いことが，操作を難しくしていることが分かった．図10にダミヤン救助の様子を示す．



図10 アーム1を使ったダミヤン救助

5.2 アーム 2 の評価

レスコンで使用されるダミヤンと家瓦礫を製作し、救助実験を行った。ダミヤン全体を支えるように救い上げることで、少ないダメージで救助が可能となった。また軸数を少なくしたことで操作性が向上した。なお、カメラ映像を用いた操作実験は行わなかった。図 11 にアーム 2 を使ったダミヤン救助の様子を示す。

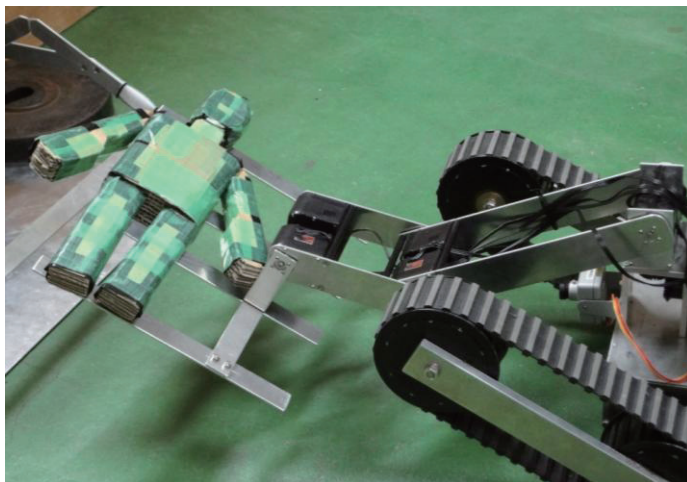


図 11 アーム 2 を使ったダミヤン救助

5.3 走行部の評価

5.3.1 整地走行

整地を直進させた場合、走行面・クローラアームの制御モードによる違いは見られず、約 0.3m/s の速度で走行することが可能であった。しかし、旋回を行った場合、受動モードではクローラベルトが旋回方向とは違う方向に動くため、クローラベルトが抵抗となり旋回速度に変化が見られた。また、クローラアームを図 3-②のように V 型に制御し旋回を行うと、受動モードよりも約 2 倍の速度で旋回することが可能であることが分かった。実験は、ロボットが 3 回転する時間を 3 回測定し、旋回速度を求めた。表 2 に制御モードの違いによる旋回結果を示す。

表 2 制御モードの違いによる旋回結果

制御モード	動作	1 回 目[s]	2 回 目[s]	3 回 目[s]	平均 [s]	旋回速度 [deg/s]
受動モード	右旋回	16.35	16.60	16.41	16.45	65.64
	左旋回	15.68	15.63	15.59	15.63	69.08
能動モード	右旋回	8.41	8.43	8.34	8.39	128.67
	左旋回	8.25	8.35	8.29	8.30	130.17

5.3.2 不整地走行

砂利道で走行させた場合も、直進では整地走行同様に制御モードによる変化は見られなかった。しかし、旋回を行った場合、受動モードでは旋回をすることができなかった。これは、ベルトに砂利が引っ掛かり旋回を妨げたためであると考えられる。それに対し図 3-②の V 型状態では、これが解消されたため旋回を行うことができた。

5.3.3 段差の踏破

受動モードでは 30mm までの踏破が可能であった。これ以上の段差では、70mm までの高さであれば前クローラアームのみ段差を上り、車体が走行面と接触し踏破不可能であった。制御モードでは、クローラアームに段差による外力が加わり、制御が不安定となったため実験を中止した。制御が不安定となった原因としては、ギヤのバックラッシュなどによる非線形性やモータのトルク不足などが考えられる。

5.4 操作性評価

アーム部の操作はアーム 1 では軸数が多く操作が困難であったが、改良したアーム 2 では軸数が少なくなったことで、操作性が向上した。しかし、制御画面のみでの操作は、アーム位置座標の把握が難しく操作が困難な場合があった。

走行部は、アーム部に比べ操作は容易に行うことができた。しかし、アーム部と同様に制御画面だけではクローラアームの位置座標が分からなかった。さらに、クローラアームの制御速度が軸ごとに違い、応答性が悪いため操作が困難であった。

また、カメラ映像は死角が多く、周りの状況把握ができないため、過酷な環境下では操作が難しいと考えられる。

6. 問題点と解決策

性能評価より、以下の問題点が見つかった。

- ① クローラアームの位置制御が不安定になる。
- ② 制御画面のみでの操作が難しい。

①の原因は、バックラッシュによるポテンシオメータの入力誤差、部品の加工誤差・組み付け不良などの機構部の非線形性、回転が速過ぎて制御が追い付かないことなどが考えられる。②の原因は、カメラ映像だけではロボット全体の把握や、各部の位置座標が把握できないことなどが考えられる。

そこで、機構面ではポテンシオメータを回転軸に直接取り付け遊びを無くすこと、回転軸にベアリングを圧入すること、ギヤ比を上げ速度を遅くすることなどで解決する。制御面ではクローラアームの位置制御を PID 制御へ変更する。操作面では TPI2 を C 言語でプログラミングし位置座標を可視化するなどし、マン・マシンインターフェイスを改良することで解決する。更に、カメラ位置の最適化や全方位カメラの搭載などで、操作性を向上させる。

7. 結言

本研究では、4 つの走行用独立クローラアームと救助用アームを持った遠隔操作型レスキューロボットを製作し、レスコンへの参加および実機実験でその性能を評価した。レスコンでは、ダミヤンの救助はできなかったが、走行障害物であるバンププレートの踏破や棒瓦礫の除去を行う

ことに成功した。レスコン後には軸数を減らすことなどでアームを改良し、家瓦礫内のダミヤン救助が可能なことを確認した。また、その後の走行実験によりクローラアームの有効性も確認することができた。

しかし、クローラアームの制御性向上と操作画面による操作性の向上という課題が残った。

今後はこれらの課題を解決するため、機構面では非線形性などを無くす改良、制御面ではクローラアーム位置制御の高度化、操作面ではカメラ位置の最適化などを行い、実用化を目指し、レスキューロボットの開発を続ける。

参考文献

- (1) 松野文俊, 阪神淡路大震災を振り返って, ロボット学会誌 Vol. 28, No2, pp. 6-9, 2010
- (2) 大野和則, レスキューロボットの研究開発と性能評価, 日本機械学会誌 Vol. 110, No. 1068, pp. 882, 2007
- (3) 田所諭, レスキューロボットの技術チャレンジ, ロボット学会誌 Vol. 28, No2, pp. 2-5, 2010
- (4) 土井智晴, レスキューロボットコンテストの概要, 平成 21 年電気学会電子・情報システム部門大会講演集, pp. 963-964
- (5) 森和也, サブクローラを有するレスキューロボットの走行性能, 平成 18 年度長岡技術科学大学修士論文
- (6) 小柳栄次, サブクローラを持つレスキューロボット, 日本機械学会誌 Vol. 28, No. 2, pp. 147-150, 2010

(平成 24 年 3 月 31 日受理)