

探索型レスキューロボットの 災害現場対応操作コンソールの開発

Development of An Operation Console Fits on Disaster Site for A Search Type Rescue Robot

嶋津 行宣[†], 平野慎也[†], 加藤 厚生^{††}

Yukinobu SHIMAZU[†], Shinya HIRANO[†], Atsuo KATO^{††}

Abstract: This paper presents a development of a operation console for our hand made search type rescue robot AIT-ReBo.1 intend to work in the disaster site. The operation console must have a human interface to control ReBo.1. Shape of developed human interface is ball type, about 60mm in diameter and about 200g in total weight. An operator of ReBo.1 holds this ball type human interface on his hand and he can tilt it to arbitrary angle, then ReBo.1 makes progressive motion, side winding motion and stop motion with tilt angle of holed ball. Moreover, the pseudo-force of environmental conditions sensed by ReBo.1 are presented to an operator using vibration motor built in the ball.

1. はじめに

1. 1 研究背景

1995 年の阪神淡路大震災, 2004 年の新潟中越地震, そして近年予想されている東海大震災. 地震での死者の多くは倒壊した家屋による圧死である. また, 火災など二次災害により命を落とすケースもある. 阪神淡路大震災を機に被災時人々への指示・支援など災害救助に関わるシステムを包括的に管理するレスキューシステムが提案された¹⁾.

提案されたレスキューシステムは総合的な災害救助システムであり, 多様な災害シミュレータとその中で活動を行う自律エージェントを分散型救助シミュレータにより結合することにより, 仮想的な災害空間を作り出す. エージェントの一つとして, 近年大きく進展してきたレスキューロボット技術の応用が期待されている. レスキューロボットは, 大きく分けて「探索型」と「救助型」の 2 種類に分かれる. 探索型レスキューロボットは, 人が入っていないような狭い場所で被災者を探索し, レスキュー隊等に居場所を伝える役目を担うロボットである. 救助型レスキューロボットは, 探索型レスキューロボットなどの情報を元にし, 災害現場の瓦礫を撤去し, 被災者を救助する役

[†] 愛知工業大学 大学院工学研究科 (豊田市)

^{††} 愛知工業大学 工学科 機械学科 (豊田市)

目を担うロボットである。

本研究室では、探索型レスキューロボットの研究を行っている。災害現場は常に安定した状況ではなく、時間経過とともに二次災害などにより変化するため、これに応じて適応するロボットの形状も変わる。そのため、我々は形態組み換え可能なユニット型ロボットの研究を進めており、その一環としてユニット構造を用いた探索型レスキューロボット AIT-ReBo.1 (以下 ReBo.1 と記す)がある。外観を図 1 に示す。

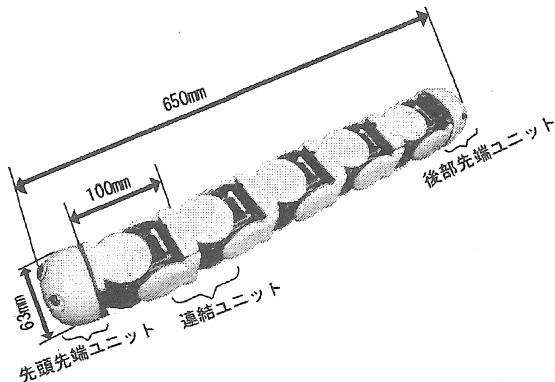


図 1 探索型レスキューロボット ReBo.1

車輪やクローラや脚等の移動機構を持つロボットでは、大型になり、複雑な制御装置を要するためコストが増大する。そこで ReBo.1 は車輪やクローラや脚等の移動機構を持たない構造とし、ユニットに内蔵する能動関節を屈伸して体幹に進行波を作り、これと接地面との摩擦によって推進力を得て移動する。進行波の伝播方向を変えることにより、ReBo.1 の進行方向を容易に転換することができる。

ReBo.1 を操作するには、コンソールを考えなければならない。ReBo.1 が災害現場で完全自律移動し、人命発見作業をさせるのが最終目的であるが、現状では困難である。そのため ReBo.1 を遠隔操作する操作コンソールが必要である。コンソールとは操作用の表示装置や操作装置の総称である。表示装置にはディスプレイや HMD(Head Mount Display)などがあり、操作装置にはマウスやキーボードなどのヒューマン・インターフェイスがある。

1. 2 研究目的

本研究では、災害現場対応操作コンソールとしてヒューマン・インターフェイスの開発を行った。ここでの着眼点

は、探索型レスキューロボットと同様にヒューマン・インターフェイスも災害現場へ容易に持ち運びでき、ユーザの誰もが把持できる小型・軽量で、かつ操作性に関しても熟練度にかかわらず誰もが操作可能とすることで、災害現場での使い勝手を良くする。また被災者の早期発見のため一斉に大量投入されるべき ReBo.1 の個数に対応し、それに対応する個数のヒューマン・インターフェイスを用意しなければならない。そのため、安価でなければならない。

機能に関しては、ReBo.1 を災害現場の外部から遠隔操作するための無線ネットワークを確保する通信モジュールが必要である。また ReBo.1 への関節指令値を計算する制御コントローラが不可欠である。これらの条件を満たす新しいヒューマン・インターフェイスの開発を本研究では行った。

2. 片手把持型ヒューマン・インターフェイス

2. 1 従来の研究開発

ヒューマン・インターフェイスの研究開発は様々な分野で行われている。福祉の分野では高齢者、障害者の生活の質を向上するとともに、介護者の負担軽減を図る研究が行われている。高見ら²⁾は階段の側壁に予めガイドレールを設置し、電動車椅子を自動走行誘導し階段を昇降するシステムを開発した。この研究では介護者の負担を軽減するためにヒューマン・インターフェイスが有効活用されている。ゲーム、アミューズメント分野でもヒューマン・インターフェイスの研究開発が行われている。コンピュータへの入力装置として現在市販されている装置の代表としてジョイスティックやジョイパッドなどがある。これらの構造はポテンシオメータによる 3 軸の角度センサの値とボタンスイッチの ON-OFF をコンピュータで処理している。これらの装置はおおむね、ユーザが簡単に操作しやすいことを主眼とし、加えて高臨場感を与える機能としてモータを使用した力覚フィードバックを実現しているものもある。またその汎用性により、しばしばロボットの操作装置として使われている。ロボット分野でのヒューマン・インターフェイスの研究開発も盛んに行われている。電気通信大学の松野ら³⁾は本研究同様レスキューロボットとレスキューシステムの開発を行っており、レスキュー

ロボットを遠隔操作するのにロボット搭載カメラからの画像反映と自動車のインターフェイスを一緒に用いたレスキューシステムを確立したとしている。しかし、どの研究開発品や市販品でも実際の災害現場で実用可能である保証はない。また、従来の研究では特別な訓練と技術が必要とする複雑なものが多い。そのため、災害現場で従来のヒューマン・インターフェイスを用いて生存者の情報収集などを行う時は、多数の熟練したオペレータが必要となる。しかし、その人達を集めるのはとても困難であり、探索効果を高めるためレスキューロボットを災害現場へ一斉に投入する上で障害となる可能性が高い。もう一つの問題点はヒューマン・インターフェイスの大きさである。本研究では一箇所の災害現場に止まらず多くの現場で探索型レスキューロボットを動かすことを目的としている。そのため持ち運びなどの移動の容易さ、操作の習熟に要する時間、価格の低廉を考えなければならない。

2.2 外観

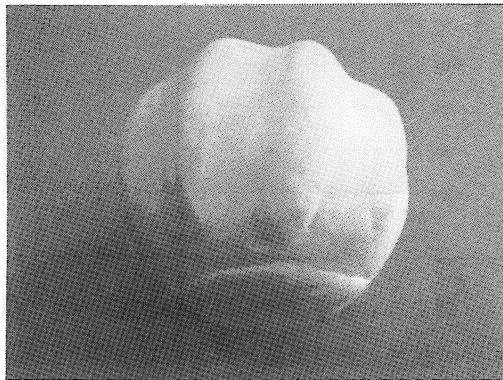


図2 外観

従来の研究開発を基に小型・軽量で操作が容易なヒューマン・インターフェイスを開発した。外観を図2に示す。

外形は球型であり片手で把持する形にした。球型にした理由は最も把持しやすい形の一つであり、また安定性が高いことによる。外形には指のくぼみをつけて把持しやすくし、かつ方向定位を容易にした。直径は約60mmと小型である。総重量も約200gと軽量である。開発したヒューマン・インターフェイスを把持している様子を図3に示す。

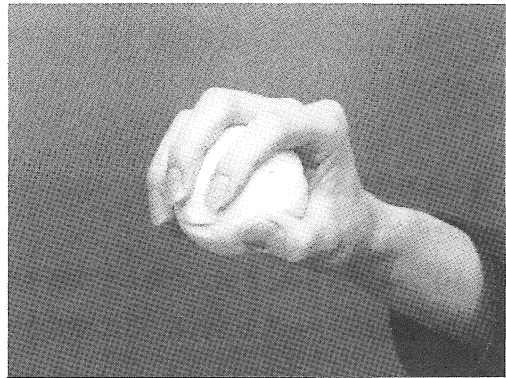


図3 把持したヒューマン・インターフェイス

2.3 システム構成

片手持型ヒューマン・インターフェイスは、形状をボール型とし、任意に傾けることでRebo.1を操縦する。傾き角度を検出するために静電容量型3軸加速度センサを使用した。このセンサを内蔵した片手持型ヒューマン・インターフェイスを任意に傾けると、加速度センサの三軸から重力加速度の分力がアナログ電圧として出力される。これをCPUでA/D変換したのち重力加速度の方向に対するセンサの傾きを算出する。つぎに、傾きに対応したRebo.1の動作コマンドを設定し、さらに関節角度指令値を算出して無線通信でRebo.1へ伝送する。図4に全体のシステム構成を示す。

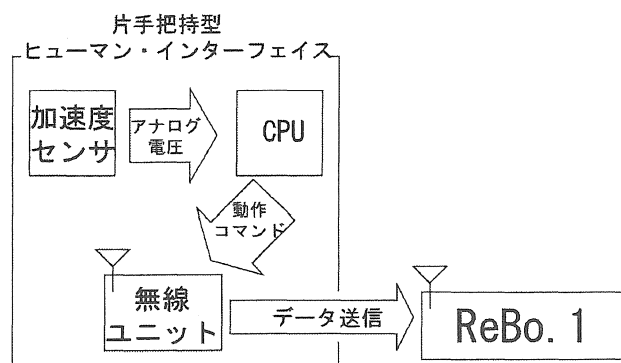


図4 全体のシステム構成

三軸加速度センサの出力には高周波ノイズが含まれる。このノイズを除去する目的で2次ローパスフィルタを用いた。また出力は各軸とも100mV/Gと小さく、電源電圧が3.3Vのときセンサ出力は+1G~1G間で三軸とも約1.4V~1.7Vであり、ダイナミックレンジは約0.3Vである。加えて、CPUに内蔵されるA/Dコンバータの変換可

能範囲は 0~3. 3V である. そのため出力信号を増幅し, 最適バイアスかけた. 以上の信号処理は全てハードウェアで行った.

2. 4 入力信号処理

センサからの入力信号は, アンプを通して増幅された後 CPU の A/D 変換ポートへ入力される. ここでアナログ信号からデジタル信号への変換をする. デジタル信号に変換された出力値は電圧値のため, 式 (1) により重力分力値に換算した. この処理を行うため三軸それぞれに対して, +1g, 0g, -1g における出力電圧を測定し定数として定義した.

$$g_n[G] = \frac{2(V - B)}{C - A} \quad (1)$$

G : 重力単位

n : 各軸(X, Y, Z)

A : -1gの加速度センサ電圧 [V]

B : 0gの加速度センサ電圧 [V]

C : +1gの加速度センサ電圧 [V]

V : 測定値 [V]

式 (1) により各軸の値が重力加速度分力へ変換される. ここから重力加速度方向に対する各軸の傾きを求める. 例として図 5 に X-Y 平面での傾きを示す. 図 5 のように平面上の直交する 2 軸に式(1)により求めた重力加速度分力 g_x , g_y があるとき, θ_{xy} の値は式 (2) より求められる.

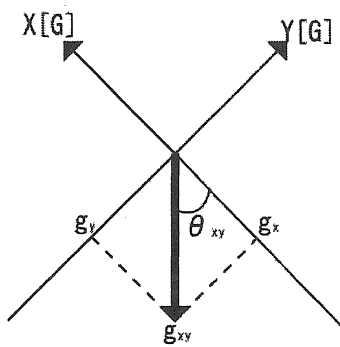


図 5 X-Y 平面

$$\theta_{xy} = \tan^{-1} \frac{g_y}{g_x} \quad (2)$$

この手法が有効かどうかを検証するため Y-Z 平面, Z-X

平面での重力加速度方向の角度値を測定した. 理論値には, 実際の角度(degree)を使用した. Y-Z 平面での理論値と実測値での偏差を図 6 に, Z-X 平面での理論値と実測値での偏差を図 7 に示す.

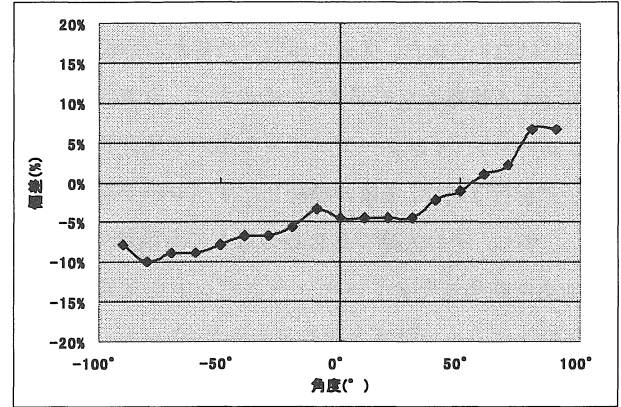


図 6 Y-Z 平面での理論値と実測値での偏差

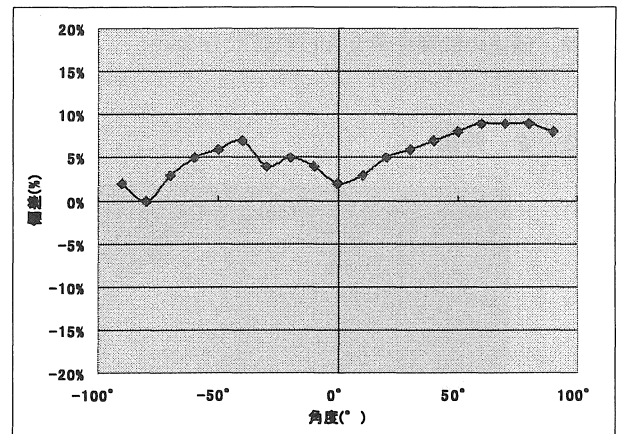


図 7 Z-X 平面での理論値と実測値での偏差

2 つの結果より理論値と実測値での値の偏差はフルスケールで 10%以下となる結果を得た. これにより, 実用上支障の無い角度偏差に収まるものと考え, 片手持型ヒューマン・インターフェイスの操作方法を考察した.

2. 5 片手持型ヒューマン・インターフェイスの操作

片手持型ヒューマン・インターフェイスをどの方向に傾けた時に Rebo.1 をどのように動作させるかを考える. Rebo.1 の動作には前進, 後退と左右への平行移動がある. これらに対応して片手持型ヒューマン・インターフェイスを操作する. 片手持型ヒューマン・インターフェイス

の操作方法として手首を前後に傾ける、左右に傾ける、および手首を水平に保ったまま維持する、の3種類の操作方法を採用することとし、これを Rebo.1 の動作と関連付ける。まずヒューマン・インターフェイスを把持する基準角度として重力加速度の方向を選び、これを0度としてその±30度(degree)を Rebo.1 の停止範囲とした。Rebo.1 の前進動作には把持した状態で基準角度から手首を前に傾けることとし、後退には逆に手首を後ろにそり上げることとした。左方向への平行移動には、手首を左に傾け、右への平行移動には手首を右に傾けることとした。これらの動作の様子を図8に示す。

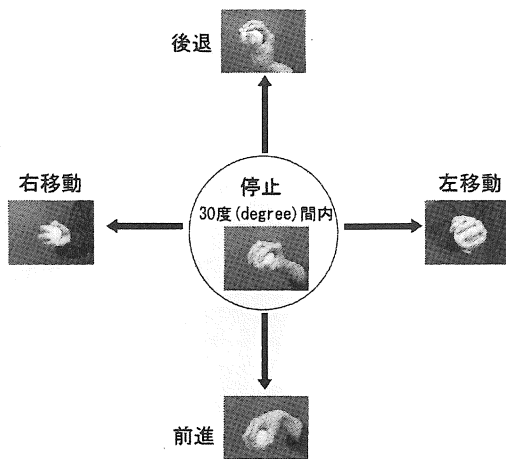


図8片手把持型ヒューマン・インターフェイスの動作方法

3. 環境情報のフィードバック

3.1 フィードバック機能

ReBo.1 に搭載したカメラやセンサの情報を操作者へ提示する方法は多様である。たとえば外部 PC やモニターなどのディスプレイ装置に視覚情報として提示する方法があり、また音響を出して聴覚提示する方法がある。しかしここでは、災害現場における煩雑性と予想される喧騒を考慮して視覚、聴覚を避け、手への力覚として情報提示する可能性を検討した。本研究では片手把持型ヒューマン・インターフェイスに振動モータを搭載し、Rebo に搭載されたセンサ信号の値がフィードバックされた時に擬似的な力覚フィードバックを提示することとした。

片手把持型ヒューマン・インターフェイスでは内部構成上、極力小型化する必要がある。そこで力フィードバック

素子として振動モータを採用した。振動モータを選定したのは、小型軽量であることや、操作者に十分な振動を提示できることにある。モータを3つ搭載し、回転軸が互いに直交するように配置した。この様子を図9に示す。

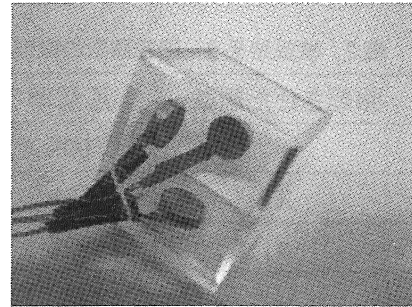


図9 回転軸を直行にした振動モータ配置図

3.2 感応実験と結果の検討

振動モータが発生する振動をどのくらいの精度で人間が感知できるかを感応検査により検証した。感応検査には11人の被験者に試みてもらった。

検証1として正回転(CW)と逆回転(CCW)が区別できるかを実験した。この検証には剥きだしの振動モータと片手把持型ヒューマン・インターフェイスに内蔵した場合を比較検証した。この検証を行った目的は振動モータの正、逆回転の判別が可能ならば少ないデバイスで多彩な表現ができることによる。

検証2として3個までの振動モータを使用し、それぞれに正回転だけのONとOFF信号をランダムに与え、振動個数を問うとともに、2個のモータを振動させた時にどのモータが振動しているかを検証した。この検証の目的は直交配置したモータでONとOFFの判別が可能であれば、より多様な情報表現ができるものと考えたことにある。

検証3としてモータの回転数による振動変化の判別能力を調べた。回転数は感覚的な高速と低速を選び、3個のモータそれぞれにデューティ比の違う2種類のPWM信号をランダムに与えて駆動する方法を採った。

表1に検証1の結果、表2に検証2の結果、表3に検証3の結果を示す。

表 1 検証結果 1 回転方向の識別

	振動モータのみ	内蔵した時
認識(人)	0	1
誤認(人)	11	10

表 2 検証結果 2 回転個数の識別

回転させた個数	正解率
1	90%
2	58%
3	72%

平均正解率	70. 80%
-------	---------

表 3 検証結果 3 振動強弱の識別

平均認識率	誤認率
83. 3%	16. 7%

検証 1 の結果から、大多数の被験者は正、逆回転に関しては識別不能であったので、回転方向を片方向に限定することとして以下の検証を行った。

検証 2 の結果から、回転する振動モータの個数については全体の平均正解率 70%と高い認識率を得た。中でも 1 個と 3 個の正解率は高かった。しかし 2 個を同時に回転した場合は 1 個もしくは 3 個と誤認するケースが多く、有意な正解率を得ることはできなかった。また、データを示してはいないが、2 個の振動モータを回転させた時、振動を発生する個体を識別することはほとんど不可能であるとの結果を得ている。

検証結果 3 から 3 個までの振動モータを高速と低速で回転したときその平均認識率は 80%を超えており高かったことから、振動の強弱を識別できることが分かった。

以上の結果から、振動モータを片手持持型ヒューマン・インターフェイスに搭載する場合、同じ規格の 3 個のモータを使うならば、回転方向を一定として 1 個もしくは 3 個のモータを 2 種類の回転速度で駆動すれば 4 種類の情報を人間に提示できるとの結論に達した。

4. 実験

4. 1 内部構成

開発した片手持持型ヒューマン・インターフェイスの内部構成図を図 10 に示す。機能を 3 分割した。それぞれを図 11 に示す。第 1 はモータ駆動部でありモータドライバとモータを実装している。第 2 は CPU 部であり H8/3694F を実装している。第 3 はマザーボード部であり表面に加速度センサからの信号増幅回路を、裏面には無線ユニット Wiport を実装している。バッテリーは、リチウムポリマー電池を使用した。

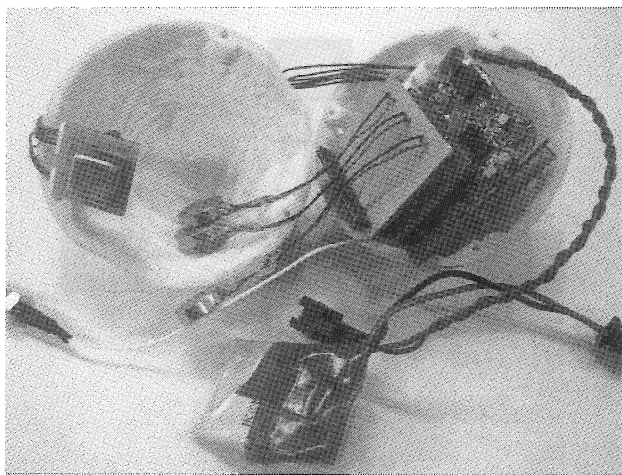


図 10 内部の全体構成

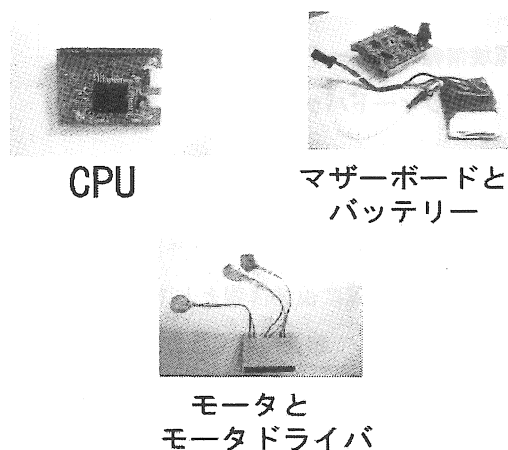
モータと
モータドライバ

図 11 機能別部位

4. 2 動作実験と結果

システムを使用して動作実験を行う。対象とするロボットとして探索型レスキューロボット Rebo.1 を採用した。

まず片手持持型ヒューマン・インターフェイスを前方に傾け、Rebo.1を前進動作させている様子を図12に示す。①が停止、②～⑤が前進、⑥が再び停止である。

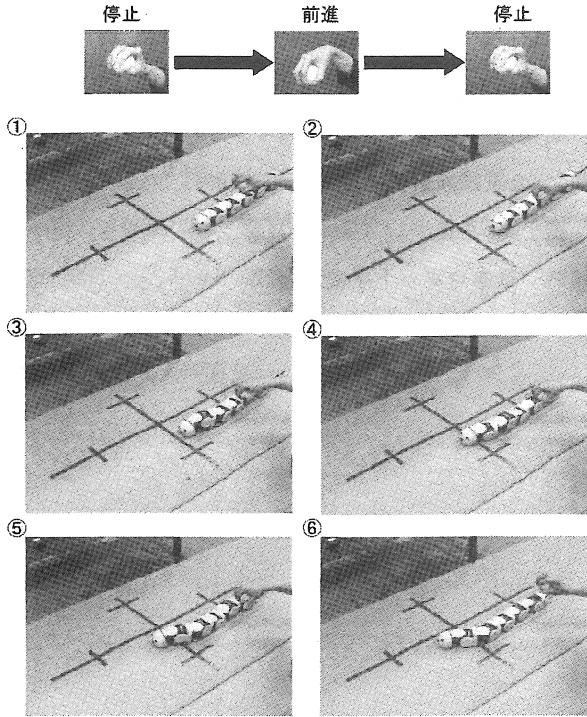


図12 前進動作

さらに Rebo.1 を左へ平行動作させる様子を図14に示す。①が停止、②～⑤が左平行移動、⑥が再び停止である。

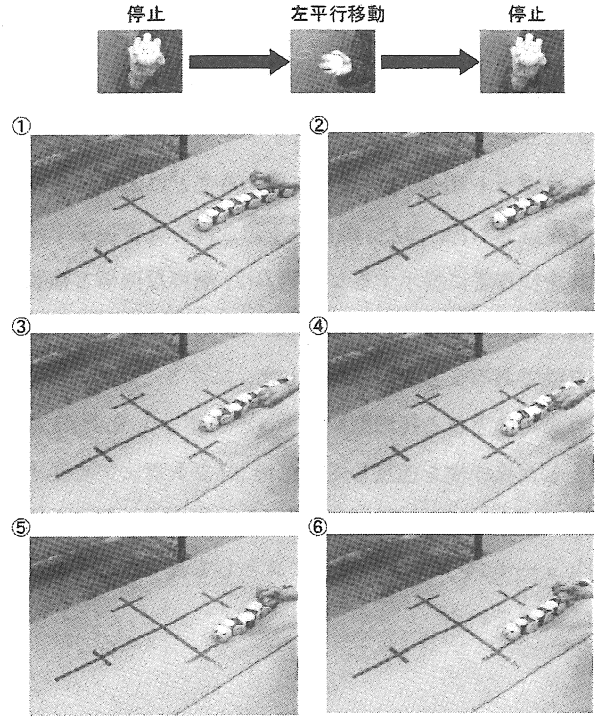


図14 左平行移動動作

次に後退動作させている様子を図13に示す。①が停止、②～⑤が後退、⑥が再び停止である。

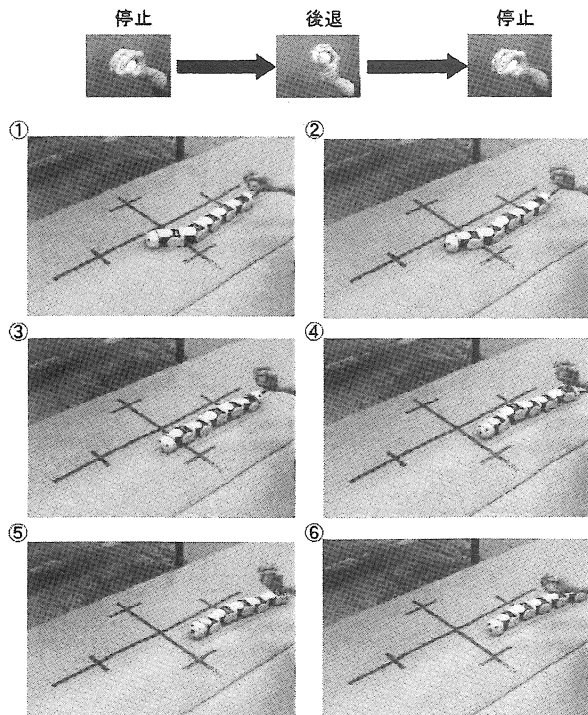


図13 後退動作

最後に Rebo.1 を右へ平行動作させる様子を図15に示す。①が停止、②～⑤が右平行移動、⑥が再び停止である。

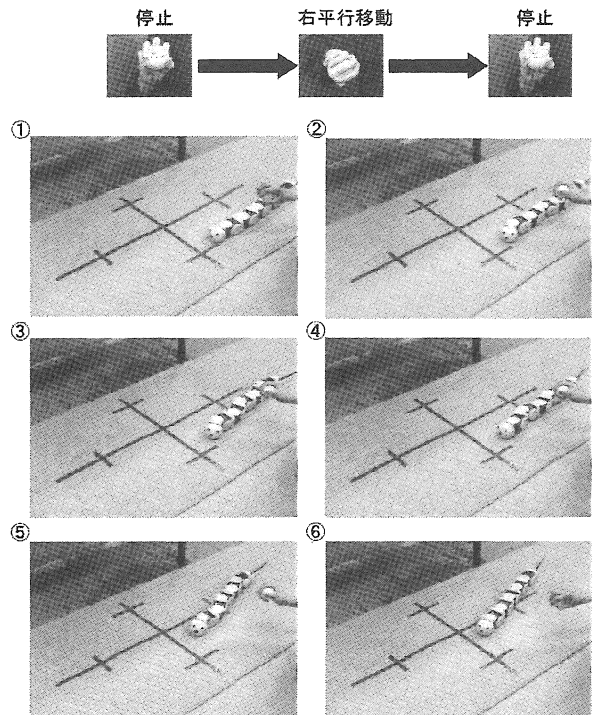


図15 右平行移動動作

5. 結論

本論文では災害現場に容易に持ち運び可能であると共にユーザの習熟度に捉われず誰もが操作可能な災害現場対応操作コンソールとしてヒューマン・インターフェイスの開発を行った経緯と結果を論じた。

このヒューマン・インターフェイスを実際の探索型レスキューロボット ReBo.1 の操作に用いることによってその有効性を確認した。また、混乱が予想される災害現場で環境情報を操作者に提示するシステムは、簡単な機構で複数の情報を提示できることから、振動による擬似的な力の利用が有効であることを明らかにした。

これまでのところ探索型レスキューロボット ReBo.1 を対象とした操作性を追及してきたが、ソフトウェアを変更することにより、目的および形態の異なるロボットでも操作作用ヒューマン・インターフェイスとして使用に耐えうるものと考えている。

参考文献

- 1) 中内 靖、松野 文俊 “レスキュー工学とシステムインテグレーション” 計測自動制御学会論文集 Vol41 No. 12、pp. 945～946、(2005)
- 2) 高見 修 “福祉ヒューマン・インターフェイス技術の開発” 公設試験研究機関報告書 (2002)
- 3) 横小路 泰義 “レスキューロボットの操縦インターフェイス” 日本ロボット学会誌 Vol22 No. 5、pp. 566～569、(2004)

(受理 平成18年3月18日)