

レスキューロボット ReBo 3号機の動作解析 Motion Analysis of a Rescue Robot ReBo fourth Type

倉知 健太郎†, 吉見 圭司†, 平野 慎也††, 羅 志偉††, 加藤 厚生†††
Kentaro KURACHI, Keiji YOSHIMI, Sinya HIRANO, Z.W.Luo, Atsuo KATO

Abstract: In recent years, many disasters that depend on the great earthquakes were reported in our country. Therefore, we are developing a rescue robot that searches for the victim cooped in the collapsed house. Our robot has no wheel and no extremity. It moves by bending traveling waves on its body. The third machine of our robot achieved some basic motions that are straight progress, rotating motion and climbing hill. This paper describes for the process of development from prototype machine to the third machine, and then for the analysis of some measured motions about third machine.

1. はじめに

1. 1 研究背景

日本は世界有数の地震災害大国であり、十数年から数十年の周期で大規模な地震に見舞われている。記憶に新しい地震災害では、1995年の阪神淡路大震災、2004年の新潟中越地震がある。また、今度数十年の間に発生が高い確立で予想されている東南海・南海地震がある。阪神淡路大震災では約6400人の死者を出し、これまでの日本の災害への対策が不十分であり、さらに高度な災害対策の必要性が示された。このことから、文部科学省は2002年より大都市大災害軽減化特別プロジェクトを開始した。このプロジェクトでは、過去の大地震にて人命探索における情報収集の重要性が示された結果、「レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発」という課題が示され、レスキュー活動の役割別に4項目に分けられた。(1)上空からの情報収集、(2)瓦礫内からの情報収集、(3)瓦礫上からの情報収集、(4)広域情報収集のためのインフラ確保の4項目であり、それぞれ災害地での情報収集を目的としている。我々の研究室では(2)瓦礫内からの情報収集に注目し、探索型レスキューロボットの開発を目指した。¹⁾²⁾

探索型レスキューロボットは、連結型と非連結型に大別される。その中でも駆動方法によって車輪型、クローラ型、その他に連結型では関節駆動型がある。本研究室では小型・軽量、故障時の修理の簡素化を考慮し、連結型の関節駆動型ロボットについて研究を始めた。

1. 2 研究目的

本研究の目的は、これまで研究を進めてきたレスキューロボット ReBo シリーズの3号機の動作解析である。三次元位置計測システムPc-MAGによるReBo3号機の正確な位置測定による運動解析を行い、進行波を用いた関節駆動移動を確認し、さらなる運動性能の向上を図るため各ユニットの動作軌跡の詳細な計測を行う。

2. レスキューロボット

2. 1 レスキューロボット ReBo 1号機

開発を始めたレスキューロボットのコンセプトとして、複数連結することで一つのロボットになるユニット構造であること、ユニット単体でも動作可能なように、1ユニット内に駆動関節、制御用コントローラ、バッテリーを内蔵すること、前進後退、方向転換動作が可能なこと

† 愛知工業大学 大学院 工学研究科 (豊田市)
†† (独) 理化学研究所 バイオ・ミメティック
コントロール研究センター (名古屋市)
††† 愛知工業大学 工学科 機械学科 (豊田市)

を挙げた。

これらを元に設計・開発した、レスキューロボット ReBo 1号機を図1に示す。1ユニット当たり体長130mm、直径100mmの円柱形状をなし、重量400gである。サーボモータは、ピッチ軸方向の屈曲関節と長軸回り関節とした。ReBo 1号機では前進後退移動は可能であったが、方向転換で問題が生じ解決には至らなかった。

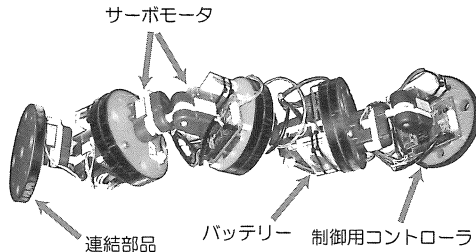


図1 レスキューロボット ReBo 1号機

2. 2 レスキューロボット ReBo 2号機

方向転換の問題を踏まえ、さらなる小型・軽量化を目指し ReBo 2号機の設計・開発を行った。1ユニット当たり体長160mm、直径88mm、重量300gと小型・軽量化に成功した。(図2) またサーボモータの配置をピッチ軸・ヨー軸方向の屈曲関節とすることで旋回移動が可能となり、方向転換に成功した。

しかし ReBo 2号機での動作実験の結果、地面との接地面積が小さく、摩擦による推進力が得にくい、移動時の姿勢の安定性が悪い、有線で操作しているため移動範囲が限定されるという問題点を明らかになった。

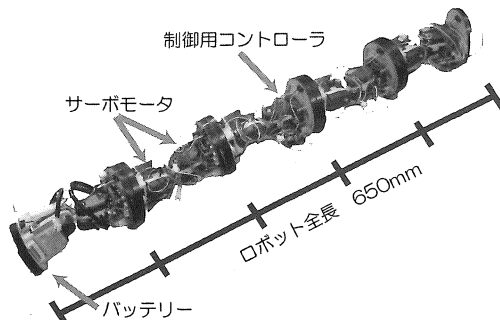


図2 レスキューロボット ReBo 2号機

3. レスキューロボット ReBo 3号機

3. 1 構造

これまで通りユニット構造を基本とし、ReBo 2号機の問題点を改善すべく ReBo 3号機の設計・開発を行った。

地面との接地面積を大きくし安定性を向上するために、ユニット形状を円筒形状から直方体にした。形状を直方体にしたことで安定した動作も可能となった。

ReBo 3号機は、駆動ユニットと無線通信ユニット及びカメラユニットからなる。

駆動ユニットは、各ユニットにピッチ・ヨー方向の2自由度の屈曲関節と、制御用コントローラ、及びバッテリーを内蔵した。1ユニットの大きさは、縦と横が7.8cm、長さが10cmの直方体である。屈曲関節には、Hitec社のサーボモータ HSR-5995TG、制御用コントローラには C-CHIP(CPUモジュールと共有メモリ通信モジュール)、バッテリーには、Kokam社のリチウムポリマーバッテリー SLPB393459Hを使用した。C-CHIPについては次項で述べる。駆動ユニットの外観を図3に示す。バッテリーは、側面の緑色の外装の中に組み込んだ。駆動ユニットとは別に、無線通信ユニットとカメラユニットを開発した。これにより、ロボット単体での自律活動が可能となった。

無線通信ユニット(図4)には、内部に無線通信用モジュール(Lantronix社のWiPort)、制御用コントローラ C-CHIP、姿勢検出用3軸加速度センサ(スター精密社のACB302)、これらを搭載する回路基板、及びバッテリーを内蔵している。外部のPCとは無線LANのIEEE802.11b規格を使用して通信し、ロボットの動作制御を行う。また、内蔵した加速度センサで、ロボットの姿勢情報を取得することによって、転倒時に自動で姿勢にあった運動制御を行えるようにした。加速度センサはロボット自身の運動による加速度も検出するが、2次のローパスフィルタを通す事によって誤動作を防いだ。

カメラユニット(図5)には、CCDカメラモジュールとして Panasonic社のMTV-54K0N、映像送信用にROC社のワイヤレストランスミッタモジュール15-2400MTS3、及びバッテリーを内蔵している。CCDカメラの映像は、ワイヤレストランスミッタモジュールを通して無線送信される。これを操縦用パソコンに付属するレシーバーで受信し、パソコンやテレビ画面に画像を出力するようにした。

ReBo3号機の連続駆動時間は30分であった。通信距離は20m程度まで可能であったが、遠ければ遠いほど通信エラーが多くなり移動動作が不安定となった。

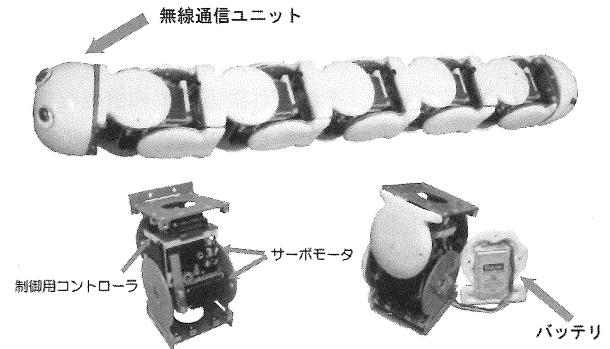


図3 レスキューロボット ReBo 3号機

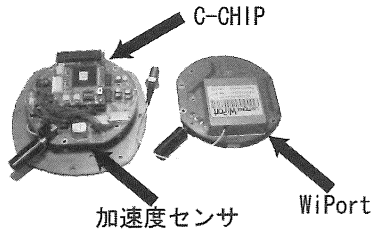


図4 無線通信ユニット

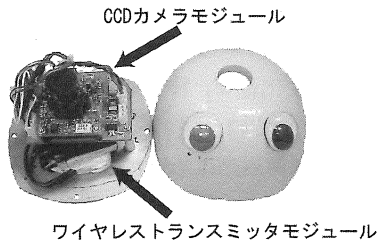


図5 カメラユニット

3. 2 制御用コントローラ

ReBo 3 号機では、コントローラとして C-CHIP³⁾ (図 6) を採用した。C-CHIP は、本研究室と理化学研究所バイオ・ミメティックコントロール研究センターが共同で開発した小型ロボットに搭載可能な超小型汎用分散型コントローラである。C-CHIP は、機能ごとにモジュール化されており、基板サイズが 3cm×4cm と小型で、必要な機能を組み合わせて使用することができる。モジュールには、CPU モジュールや ADConverter モジュール、DAConverter モジュール、シリアル通信モジュール、共有メモリ通信モジュールがある。

3 号機に使用したのは、CPU モジュールと共有メモリ通信モジュールの 2 つを組み合わせたものである。CPU モジュールは、ルネサス社製の H8/3069RF が搭載されている。共有メモリ通信モジュールは、他のコントローラと接続が可能で、ロボットや計測制御装置内に複数のコントローラを組み込み、コントローラ間でデータの送受信や、分散制御ができる。

CPU モジュールはロボットの制御信号を生成するために使用し、共有メモリ通信モジュールはロボットの移動に必要な進行波を生成するために、隣り合うユニットの内部発振機の位相を取得するために使用した。

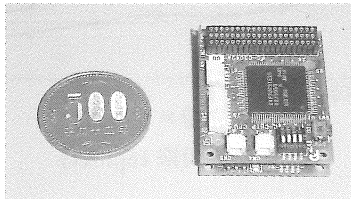


図6 C-CHIP

3. 3 移動原理

ReBo 3 号機は、車輪やクローラなどの移動機構を持たずに、体節をくねらせ体節中に進行波を作り出すことによって発生する地面との摩擦を利用して移動する。車輪やクローラを移動機構として持たないことから、スペースが省略でき小型化できること及び、ロボットがいかなる姿勢にあり、環境と接する面があれば移動が可能であるという利点からである。

図 7 にユニット間のデータフローを示す。あるユニット i では、隣り合うユニット $i+1$, $i-1$ の内部発振機の位相 ϕ_{i+1} , ϕ_{i-1} を共有メモリから取得することができる。ユニット i の場合、この共有メモリから得られた位相 ϕ_{i-1} と、あらかじめ与えておいたユニット間の位相差 D_i から位相 ϕ_i を計算することができる。ユニットを連結した時、各ユニットのサーボモータは、地面と水平方向と垂直方向に配置されている。サーボモータの水平方向の目標角度 θ_{yi} と、垂直方向の目標角度 θ_{pi} は、式(1)(2)(3)を用いて計算する。

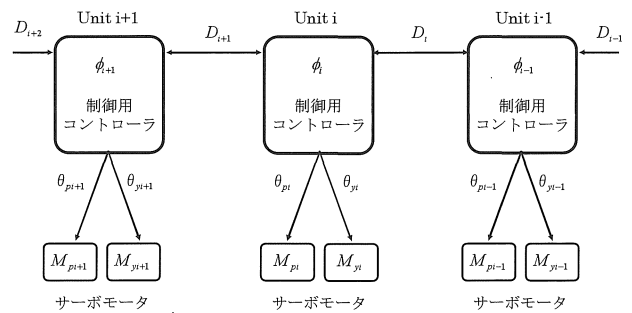


図7 ユニット間のデータフロー

$$\phi_i = \phi_{i-1} + D_i \quad (1)$$

$$\theta_{pi} = A_{mp} \sin(\omega t + \phi_i) \quad (2)$$

$$\theta_{yi} = A_{my} \sin(\omega t + \phi_i + \phi_{yi}) \quad (3)$$

i ($i=1, 2, 3, \dots, n$)はユニット番号, $A_{mp} \cdot A_{my}$ はピッチ・ヨー各軸の最大関節角度, ϕ_{yi} はユニット内関節間の位相差, ω は $\theta_{yi} \cdot \theta_{pi}$ の 1 周期の時間である。

隣り合うユニット間の位相差が 180° の時、隣接するユニットは完全に正反対の動きをし、ロボット全体に定在波を発生してその場で屈曲運動をするので、推進に寄与する摩擦力を発生することなく推進力を生じない。しかし、位相差 D_i を減らしていくと次第に進行波へ移行し推進力が生まれ、前進移動ができる。前進移動時はヨ

一方向の関節は必要ないので $V_{mp} = 0$ にした. ここで θ_{pi} に 0 以外の一定値を与えると, ヨー方向の関節角度が固定され, 旋回運動となる. また, $V_{mp} = V_{my}$ としてユニット間の位相差を 180° とした時, 進行波は定在波となり, 前進方向の移動はしない. この状態で θ_{yi} を周期的に変化するとヨー方向の周期運動が発生し, これがピッチ方向の定在波運動と組み合わせると, 体軸周りの公転運動が生まれる. これをロボット全体で見ると横移動となる.

4. 動作解析

4.1 Pc-MAG

はじめに ReBo 3 号機の動作解析をするに当たり使用した 3 次元位置計測ソフトウェア Pc-MAG について説明する. Pc-MAG は 2 台のカメラで得た時系列画像ファイルを使い, 計測対象の 3 次元位置を計測するソフトウェアである. 異なる角度から 2 台のカメラを使い, 計測対象の動作の撮影を行う. 計測対象にはマーカータラゲット (図 8) をつけておき, その位置を撮影した動画ファイルからマーカータラゲットの重心を検出し, 3 次元位置を算出する. 既知のマーカータラゲットからあらかじめ撮影空間をキャリブレーション (図 9) したのち, 空間座標を入手することにより, 実座標での位置計測ができる.



図 8 マーカータラゲット

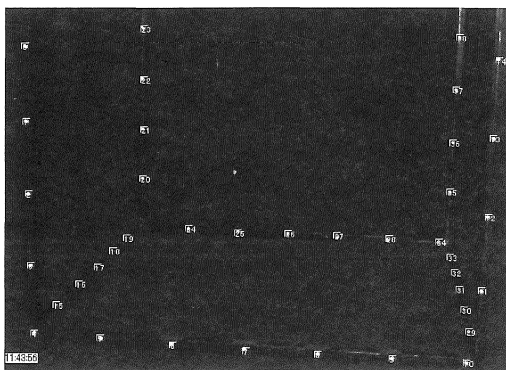


図 9 キャリブレーション

4.2 計測結果

ReBo 3 号機の計測結果を述べる. 3 号機の外装側面にマーカータラゲットとして図 8 のように反射テープを貼り付け, ロボットに各動作をさせながら, 2 台のカメラから同時に撮影を行った. マーカータラゲットはロボットの関節上に配置した. 本稿では直進移動動作について述べる.

直進移動動作時にユニット間の位相差, 制御周期, 最大関節角度 A を変化させ, 移動速度を計測した. 計測結果を図 10, 図 11, 図 12, 図 13 に示す. 最大関節角度 A は大きいほど, 制御周期は短いほどロボットの移動速度は上がった. 位相は 0.5 の時に最速であったが移動の際に左右に揺れて不安定となったため, 直進移動動作の最適位相は 0.6 と判断した.

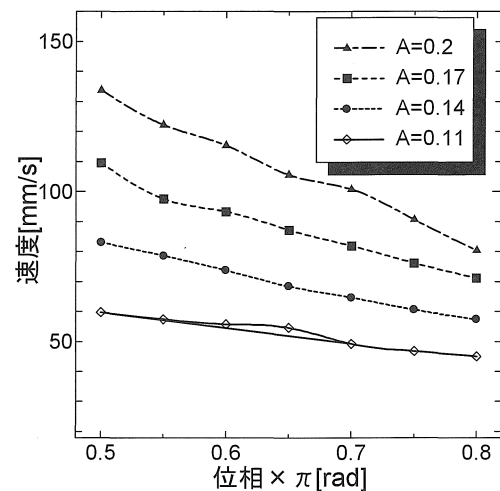


図 10 制御周期 10[msec]

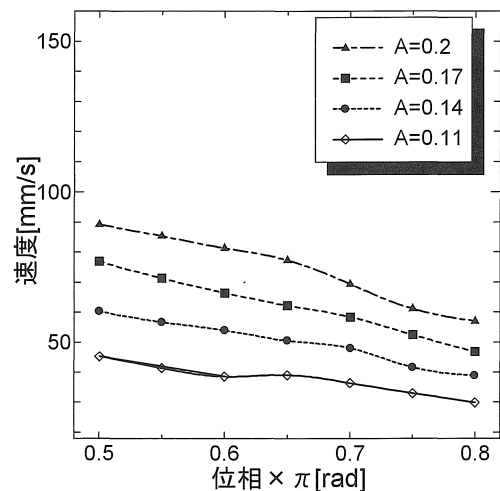


図 11 制御周期 15[msec]

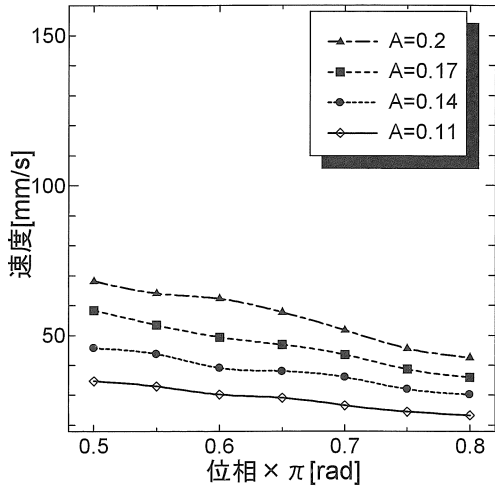


図 12 制御周期 20[msec]

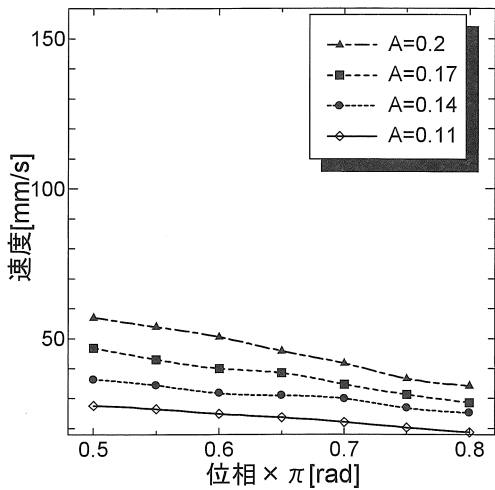


図 13 制御周期 25[msec]

4. 3 解析結果

直進移動運動について、各ユニットの動作測定を行った。ピッチ軸の関節中心点とそこから垂直に降ろした点を接地点としてマーカーターゲットを付けその軌跡をスティックピクチャーで表した。(図 14) 軌跡を見ると振幅が一定ではない。このことより進行波を生成して動作していると言える。

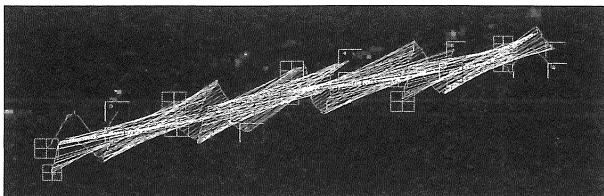


図 14 スティックピクチャー

また式(2)を用いてユニット間の位相差を 0.6π 、最大関

節角度 A_{mp} を 0.2 とした場合について、直進移動動作の移動軌跡の理論値を導いた。結果を図 15 に示す。続いて図 16 に実機の移動軌跡を示す。また図 17 は図 16 の移動軌跡を各ユニットの x 軸-z 軸の軌跡である。

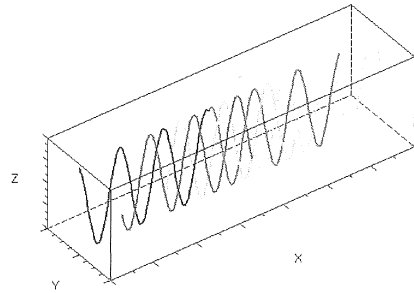


図 15 理論での 3D 移動軌跡

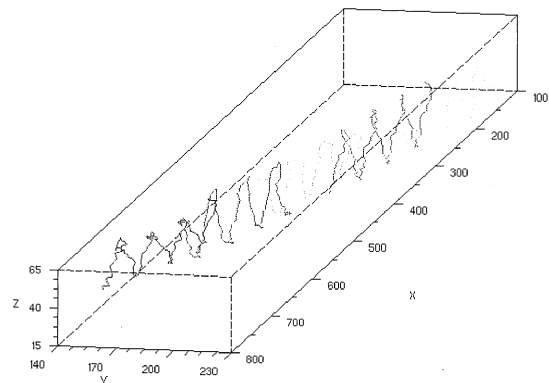


図 16 実機での 3D 移動軌跡

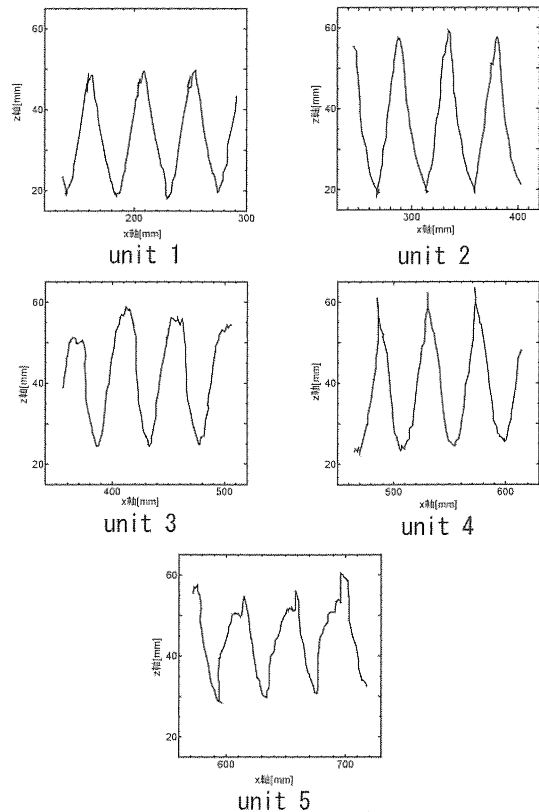


図 17 x 軸-z 軸の移動軌跡

図 17 を見てみると、すべてのユニットの波形において下の頂点が尖っている。ここは地面と接地している部分であり、そこが滑っておらず地面との摩擦が十分に確保されて進行に寄与していると判断できる。しかし各ユニットで移動軌跡が異なることから、両側のユニットや先頭・後方ユニットの影響がでてきていると考えられる。そのため各ユニットに同じ指令値を与えるのではなく、1つ1つのユニットに最適な指令値を生成すれば、さらに無駄な消費エネルギーのない移動動作が可能となると判断する。

7. 結論

本研究では、被災地での瓦礫内人命探索ロボットの開発を進め、すでに開発の最終段階にあったレスキューロボット ReBo 3 号機の動作解析を行い運動性能の向上を目指した。

ReBo 3 号機の動作解析の結果、同一の角度指令値を与えても、各ユニットにより移動軌跡が異なった。

両端の無線通信ユニットやカメラユニットが駆動ユニットより先に接地する場合があることや、手作りで仕上

げた外装の形状や摩擦被覆の微妙な相違が影響したものと考えられるが、より最適な移動のためには1つ1つのユニットに合った指令値を生成することが必要となると判断する。また移動軌跡の解析から地面とロボットの接地面が滑っていないことから、地面との摩擦が十分に確保されて進行に寄与しており、スティックピクチャーから進行波を用いた関節駆動移動が実現できていると判断する。

本研究は、平成 17 年度・18 年度 愛知工業大学総合技術研究所 プロジェクト共同研究の助成を得て行った。

参考文献

- 1) 田所 諭, 大須賀 公一, 天野 久徳: “レスキューロボット” 日本ロボット学会誌 Vol19 No.6, pp.9-12, 2001.
- 2) 田所 諭: “レスキューシステムにおけるシステムインテグレーション” 計測自動制御学会誌 Vol44 No.11, p765-770, 2005.
- 3) 平野 慎也, 羅 志偉, 小田島 正, 加藤 厚生 “環境適応ロボットにおける分散型汎用コントローラの開発” 第 21 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1B22, 2003.