

# オープンアーキテクチャによる分散型汎用

## ロボットコントローラの開発

### Development of the Distributed General Purpose Robot Controller by Open Architecture

平野 慎也<sup>†</sup> 平松 誠治<sup>††</sup> 加藤 厚生<sup>†††</sup>

Shinya HIRANO<sup>†</sup>, Seiji HIRAMATSU<sup>††</sup>, Atsuo KATO<sup>†††</sup>

**Abstract** This paper presents a robot controller that can be applied to various kinds of robots. We developed the CPU module, ADC module and DAC module. There are distributed by functions. The modules are connected by cascaded serial communication modules and placed near sensors and actuators. Then functions required for the controlling target robot can be chosen and a controller can be developed easily. The Module interface will open to the public that can be connected to the original modules for the robot controller. We used the controller for a quadruped, walking robot, Titan-VIII, and validity was shown.

## 1. はじめに

### 1.1 研究の背景

近年,ロボットの使用範囲が広がるにつれて,人間に代わって工場内で作業をする産業用ロボットのみならず,人間とのコミュニケーションも可能なロボットが私たちの生活の中に入るようになった.そのようなロボットの一つに,人間に似た姿をして,二足歩行を行ない,人間と同じ生活環境の中で共存することを目的としたヒューマノイドロボットがある<sup>1)</sup>.また,動物の形をしたペット型ロボットや人と会話をするアミューズメントロボット<sup>2)</sup>などがある.さらに,家庭や病院などの公共施設で人の生活を支えるロ

ボットが,研究,開発されている.このようなロボットは,単に繰り返し作業をするのではなく,ロボットが,自律的に考え行動している.ロボットには人間の感覚器を模擬した多くのセンサが取り付けられている.しかも,ロボットの構造は複雑で,自由度が高く,単純な動作にも膨大な計算を必要とする.そのため,機能の低い産業用ロボットコントローラでは,これを制御することができない.このようなロボットを制御するには,センサからの情報を多数入力でき,高速な計算が可能で,多くのアクチュエータを駆動できるコントローラが必要である.

ロボットは,その複雑な構造のために,ロボット専用のコントローラを用いることがある.そのため,コントローラを別のロボットのコントローラとして使用することは困難である.したがって,ロボットの設計に当たり,それ専用のコントローラも設計しなければならず,コストと時間がかかりすぎる.また,ロボットを拡張しようとしても,コントローラを拡張することが難しく,ロボットが本来持っている拡張性をコントローラが制限している.

<sup>†</sup> 愛知工業大学 大学院工学研究科 (豊田市)

<sup>††</sup> 愛知工業大学 電子工学科 (豊田市)

<sup>†††</sup> 愛知工業大学電子工学科 (豊田市) 理化学研究所バイオ・ミメティックコントロール  
研究センター環境適応ロボットシステム研究チーム 非常勤研究員 (名古屋市)

### 1・1 従来の研究

アミューズメントロボット用コントローラとして、OPEN-R<sup>3)</sup>バスが報告されている。これは、ロボットを構成している脚や頭などの部品をモジュール化して、それらを組み合わせることで一つのロボットを構成するものである。そのため、関節やリンクといった機構部品や、それを制御するソフトウェアの規格が統一されている。

汎用的なコントローラとして、パーソナルコンピュータを用いたものが報告されている<sup>4) 5) 6) 7)</sup>。パーソナルコンピュータは、PCI や、ISA バスといった外部拡張用バスを標準で装備している。この外部拡張用バスに、AD ボードや、DA ボードを取り付けて、センサの情報を取得したり、アクチュエータを駆動することが出来る。ロボットが代わっても、必要なボードを取り替えるだけで、ロボットに対応できる。しかし、パーソナルコンピュータは大きく、それ自体をロボットの内部に組み込むことは困難である。そのため、無線などを用いてロボットとパソコン間のデータ伝送を確立しなければならない。無線方式は、遠方へのデータ伝送に制約が多いので、ロボットの行動範囲を狭めてしまう。

パーソナルコンピュータを使用したコントローラ<sup>8) 9) 10) 11)</sup>は、ロボットに取り付けられるセンサやアクチュエータが多くなると、その配線がコンピュータの一箇所に集中し、ロボットへの搭載が困難になる。しかし、AD ボードや DA ボードを分散して配置すれば、配線の集中をなくし、ロボットへの搭載が容易になる。そのような考えから、分散型のコントローラが研究・開発されている。吉田ら<sup>12)</sup>は、分散型のコントローラをヒューマノイドロボット MK.5 に搭載してその有効性を示した。彼らは、サブモジュールを分散して配置し、それぞれを体内部ネットワークで接続してヒューマノイドロボットを制御した。また、徳山ら<sup>13)</sup>は USB 接続の小型モータコントローラを開発した。これによりユーザは、特別なインターフェイスを用意することなくモータを制御できるようになった。福田ら<sup>14) 15)</sup>による Titech-wire も分散型のコントローラとして報告されている。このコントローラは、パーソナルコンピュータを小型化したもので、オペレーティングシステムとして RT-Linux を搭載している。AD モジュールや DA モジュールは、コントローラに搭載された高速なネットワークで接続されている。

### 1・3 研究の目的

本研究の目的は、どのようなロボットにも搭載可能な汎用コントローラを開発することである。そのために、分散型のコントローラを開発した。分散型とし、機能モジュールをネットワークで接続することにより、拡張性を高めた。一般にロボット制御に必要なモジュールは、制御アルゴリズムを実装する CPU モジュール、外部のセンサからの情報を取

り入れる AD 変換モジュール、サーボドライバなどに指令値を出力する DA 変換モジュールおよび、エンコーダデジタルセンサ出力を検出するカウンタモジュールである。しかし、これらのモジュールだけでは、新たな装置に対応できなくなるために、それぞれのモジュール間のアーキテクチャを公開することによって、ユーザが自由に拡張できるようにする。モジュール間のアーキテクチャを満足するものであれば、どんなものでもコントローラのモジュールとして追加することが出来る。

## 2. ロボット制御システムの構成

### 2・1 システム構成

一つのコントローラを複数のロボットに適応させるには、ロボットの構造による機能の違いをコントローラが吸収しなければならない。従来使用されていた集中型のコントローラは、機能の追加、削除が難しいため、一つのコントローラを複数のロボットに適応できない。そこで考えられるのが、図1に示す分散型のコントローラである。

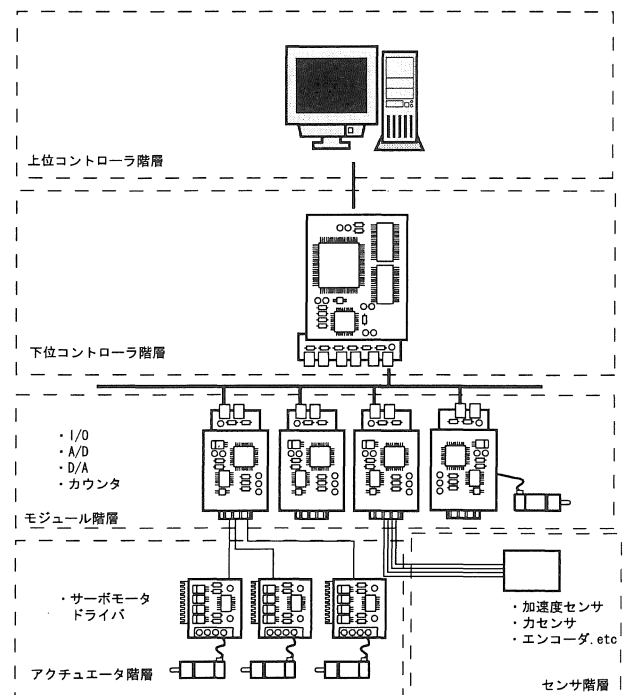


図1: モジュール分散階層構造図

機能モジュールが独立して存在し、それぞれがネットワークによって接続されている。そのため、ロボットに必要な機能を選択して接続することが出来る。機能モジュール間は、シリアル通信によってバス接続されている。よって、機能モジュールをロボット内の適切な場所に配置できるため、配線が一箇所に集中せず、コントローラをロボット内に組み込みやすい。

## 2・2 機能モジュール

本研究で開発したコントローラは機能ごとに分散して設計した。入力モジュールには ADC モジュール、カウンタモジュールがあり、出力モジュールには DAC モジュールがある。また、入出力モジュールにはデジタルモジュールがある。ロボットの制御、データ処理は CPU モジュールで高速におこなう。それぞれの機能モジュールをネットワークで接続するため、機能モジュールには通信モジュールを取り付けた。

CPU モジュールは、ロボットの脳に当たる機能モジュールである。ロボットの制御アルゴリズムや、入力データの処理はこのモジュールで行う。CPU モジュールは、高速で動作する CPU を内蔵しており、ロボットの制御アルゴリズムは、ソフトウェアとして実装する。CPU モジュールは、CPU とプログラムを格納する ROM と RAM から構成する。他の機能モジュールとの通信用に通信モジュールが 2ch 搭載されている。このモジュールに採用した CPU は、日立製のコアプロセッサ SH-4 である。この CPU は、動作クロックが 200MHz と高速であり、内部に行列演算も可能な浮動小数点演算器を持っている。行列演算では、4 行 4 列の行列の四則演算が可能で、ソフトウェアである。ROM は、フラッシュロムを搭載しており、ここに制御用のプログラムを書き込んでロボットを制御する。また、上位階層の PC との通信は、Bluetooth を採用し、無線によるデータの送受信が可能である。複雑な処理が必要な場合、並列処理は有効である。オペレーティングシステムのように、高速にタスクを切り替えてあたかも並列に処理しているように見せかける並列処理では、すぐに限界が見えてしまう。複数の CPU で処理を分けて計算するシステムであれば、より高速な処理が可能になる。そこで、CPU モジュールは、通信モジュールを介して複数の CPU モジュールとの接続を可能とした。CPU モジュールは、消費電力が 700mA と Titech-wire のほぼ半分になっている。ROM と RAM は、少ないように見えるが、オペレーティングシステムを組み込んでいないので、これで十分である。足りなければ、オプションで拡張できる。

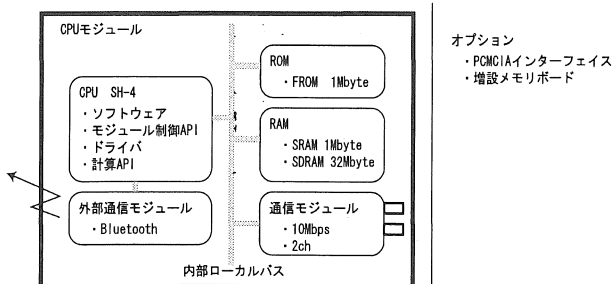


図 2 : CPU モジュール構成図

ADC モジュールは、アナログ信号をデジタル信号に変換する入力機能モジュールである。デジタル信号に変換されたデータは、通信モジュールによって CPU モジュール

に送信される。この ADC モジュールには、センサなどの入力装置を接続することが出来る。ADC モジュールは、通信モジュールと AD コンバータが接続された内部バスがあり、これを制御するために日立製マイコン H8 を搭載した。

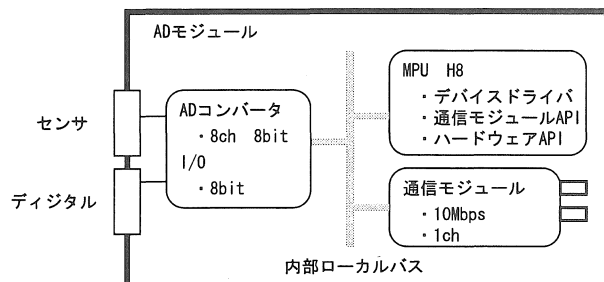


図 3 : ADC モジュール構成図

DAC モジュールは、デジタル信号をアナログ信号に変換するモジュールである。CPU モジュールから、通信モジュールによって受信したデータをアナログ信号に変換する。モータドライバへの指令値出力として使用することが出来る。

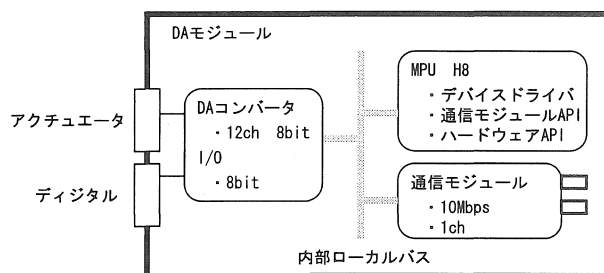


図 4 : DAC モジュール構成図

通信モジュールはすべてのモジュールに取り付けられているモジュールである。このモジュールによって、通信のプロトコルが管理されている。通信データは、送り先の ID を指定して、パケットで送信する。受信パケットデータには、送信元の ID が格納されているため、どのモジュールからのデータかを識別できる。また、すべてのモジュールに一斉にデータを送信するブロードキャストも可能である。

## 3 ロボット制御システムのソフトウェアアーキテクチャ

### 3・1 システムフローチャート

ソフトウェアモジュール階層構造は、図 5 の様になっている。図 5 のハードウェアブロックは、アクチュエータやセンサなどを表している。これらにアクセスするデバイスドライバは、ハードウェアへの依存度が高く、ミドルウェア、ソフトウェアは、ロボットに依存する。デバイスドライバや通信ドライバは、どのロボットにも共通して用いることができるが、ミドルウェア、ソフトウェアはロボットによって実装を選択しなければならない。

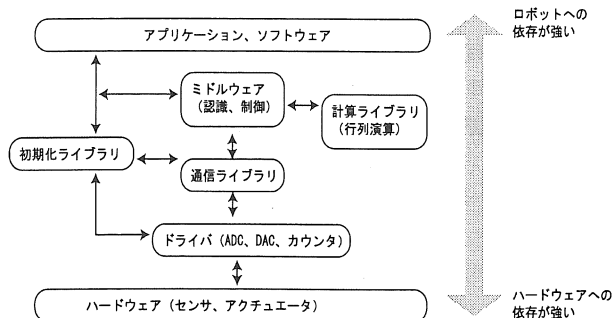


図5: ソフトウェア階層図

3・2 ライブラリモジュール

通信ライブラリは、PDA 通信、モジュール間通信、および PC 間通信の通信ライブラリを提供し、通信ポートの設定、データの送信、受信を行なう。PDA 通信では、コントローラの情報を外部端末に表示することが出来る。また、PDA からコントローラにデータを転送することも可能である。モジュール間通信では、モジュールとモジュールとのデータ転送を行なう。これによりユーザは複雑な通信手段を意識することなくデータを取得できるようになる。

初期化ライブラリは、システムの初期化を行なう。ここでいうシステムには、モジュールおよび機能モジュールを含む。モジュールの初期化では、メモリサイズの設定、例外処理の設定、割り込み処理の設定を行う。機能モジュールの初期化では、どんなモジュールがシステムに接続されているかを調べシステムへ登録する。この登録により、システムはモジュールに合った設定を行なうことができる。

計算ライブラリは、マトリックス計算を提供する。使用する CPU,SH-4 では、FPU 内においてマトリックス計算を高速に行なうことが出来る。

4 四速歩行ロボットの歩行制御への応用

4・1 研究用プラットフォーム Titan-VIII

本研究に用いた四足ロボットは、東工大の広瀬研究室で開発された研究用プラットフォーム VIII<sup>16) 17) 18)</sup> である。

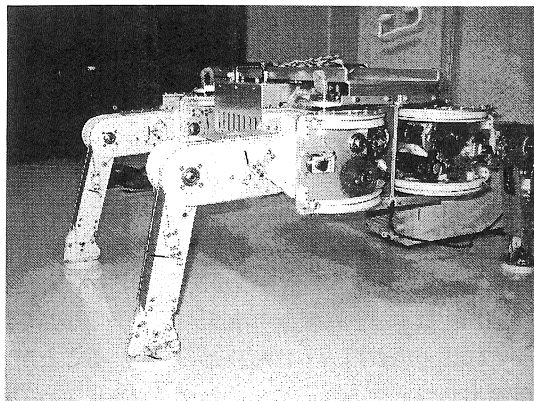


写真1: 四速歩行ロボット Titan-VIII

Titan-VIIIは、3 自由度の脚を 4 本持ち、各脚を進行方向に対して横方向に張り出した歩行姿勢を基準歩行姿勢として歩行する。また、足先にローラが取り付けられており、そのローラを使用して胴体を滑らして移動することもできる。この脚機構は、リンクとワイヤを組み合わせた垂直面 2 自由度機構とその全体を水平面内で回転させる機構によって構成されている。足先は、能動的に制御しなくても、機構的に常に胴体と平行に保たれるようになっている。ワイヤを用いて関節を回転させているため、モータはすべて脚の付け根に集中している。Titan-VIIIは、アクチュエータの制御に Titech Motor Driver を搭載している。このドライバは、アクチュエータの角度を位置制御している。よって、角度に比例した電圧値を入力すれば、ドライバが角度制御をおこなう。関節にはエンコーダが取り付けられているため、その値から、関節の角度を測定できる。

4・1 歩行アルゴリズム

Titan-VIIIに開発したコントローラを搭載して、歩行制御を行わせた。神経生理学的実験によると、脊椎動物の場合、歩行運動のリズムは脊椎にある神経振動子群の相互作用によって自己組織的に生成される。四つの発信器を結合して歩行運動のリズム生成器を構成した<sup>19) 20) 21) 22)</sup>。発振期間の位相差がそれぞれ  $\pi/2$  になるようにして歩行パターンを生成した。それぞれの脚の位相差が  $\pi/2$  なので、図に示すように、遊脚相、支持脚相を繰り返す。

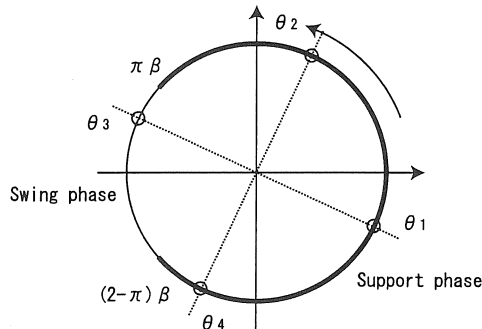


図6: 歩行周期

遊脚相では、発振器の位相は  $\pi\beta$  から  $(2-\pi)\beta$  に変化するのに対して、足先の座標は  $(-S+S_0, 0)$  から  $(S+S_0, 0)$  に連続的に変化する。

そこで遊脚相の脚運動の軌道計画として、足先の目標軌道  $X_{di}=[y_{di}, z_{di}]$  を式(1)、式(2)によって与える。

$$y_{di} = \frac{S}{1-\beta}(\theta_i - \pi) + S_0 \tag{1}$$

$$z_{di} = H_{sw} \cos \pi \frac{y_{di} - S_0}{2S} \quad (2)$$

$y_{di}, z_{di}$  は、それぞれ足先の水平方向、垂直方向の目標値で、 $H_{sw}$  は足先位置の上限値である。支持脚相の軌道計画は、式 (3)、式 (4) によって与えられる。

$$y_{di} = S_0 + S - \frac{S}{\pi\beta} \theta \quad (3)$$

$$z_{di} = 0 \quad (4)$$

支持脚相は、 $(2-\beta)\pi$  から  $\pi\beta$  の期間であり、この間に足先は  $(S_0+S, 0)$  から  $(S_0-S, 0)$  に変化する。

### 4・3 実験結果

開発したコントローラに、歩行制御アルゴリズムを組み込むことによって、Titain-VIIIに歩行を行なわせることが出来た。

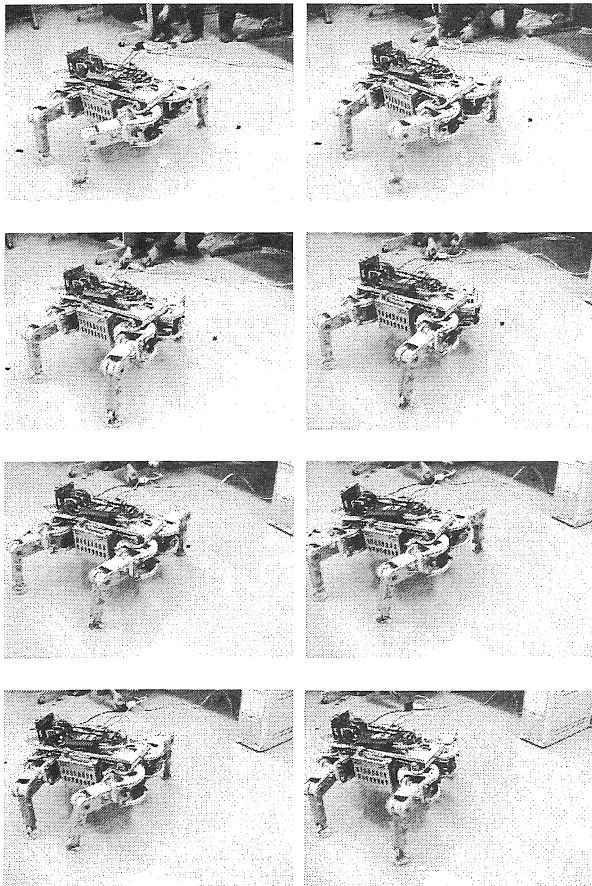


写真2 : Titain-VIIIの歩行実験

## 5 結論

本論文では、従来のコントローラの問題点を取り上げ、解決するために分散型の汎用コントローラを設計、開発した。

このコントローラを四足ロボットの歩行制御に用いることによって、その有効性を示した。三章で示したように、分散構造になっているため、モジュールをネットワークで接続することによって容易にシステムを拡張できるとともに、多様なロボットにも対応させることが出来る。また、対象とするロボット独自の機能、モジュールでも、オープンアーキテクチャによってユーザ独自で拡張が可能である。

### 参考文献

- 1) 平井 和雄, 仲山 茂人 "ロボットプラットフォームの製作および高機能ハンドの開発" 日本ロボット学会誌 Vol.19 No.1 pp.8~pp.15 2001
- 2) 田島 年浩 "感情をもったペット型ロボット" 日本ロボット学会誌 Vol.18 No.2, pp.188~pp.189 2000
- 3) 佐部 浩太郎, 藤田 雅博 "エンターテイメントロボットの商品化" 日本ロボット学会誌 Vol.18 No.2, pp.185~pp.187 2000
- 4) 鈴川 晃 "汎用 PC をコントローラとする研究用移動ロボットプラットフォーム" 筑波大学大学院博士課程 システム情報工学研究科修士論文
- 5) 下山 公宏, 大西 献 "PC コントローラを用いたマニピュレータシステム" 日本ロボット学会誌 Vol.16 No.8, pp.1050~pp.1052
- 6) 市川 誠 "PC とロボティクス" 日本ロボット学会誌 Vol.16 No.8, pp.1030~pp.1031
- 7) 横山 和彦 "PC を用いたロボット制御システムの構築方法" 日本ロボット学会誌 Vol.16 No.8, pp.1032~pp.1035
- 8) 熊谷 正朗, 江村 超 "汎用 Linux ロボット制御システムの開発"
- 9) 町野 保, 津田 雅之, 南条 義人 "RTOS LynxOS を用いた PC ロボットコントローラ (NOAC-1) の実装と評価" 第 18 回日本ロボット学会学術講演会 2000 pp.739~pp.740
- 10) 尾崎 文夫, 大明 順治 "リアルタイム Linux と分散オブジェクト技術を用いたオープンロボットコントローラ" 第 18 回日本ロボット学会学術講演会 2000 pp.737~pp.734
- 11) 加賀美 聡 "ロボット研究のための PC/AT 互換機上のリアルタイム OS" 日本ロボット学会誌 Vol.16 No.8, pp.1036~pp.1041
- 12) 吉田 貴之, 富山 健 "小型パーソナルヒューマノイド Mk.5 とそのプラットフォームシステムの開発 -階層制御系の実装検証用ロボットシステム-" 第 18 回日本ロボット学会学術講演会 2000 pp.1477~pp.1478
- 13) 徳山 陽人, 精廬 幹人, 橋本 周司 "USB インターフェイス搭載の小型モータコントローラの開発" 第 18 回日本ロボット学会学術講演会 2000 pp.119~pp.120
- 14) 滝田 謙介, 福島 E. 文彦, 広瀬 茂男 "TITechWire : ロボット制御のための分散 IO 型小型計算機システムの開

発"第19回日本ロボット学会学術講演会 2001 pp.845~  
pp.846

15) 福島 E. 文彦, 滝田 謙介, 広瀬 茂男, 中村 亨  
"TITech Wire: ロボット制御用高速シリアル I/O の開発"  
日本機械学会[No.01-4]ロボティクス・メカトロニクス講演  
会'01 講演論文集

16) 広瀬 茂男, 有川 啓輔"研究用プラットフォームとし  
ての普及型歩行ロボット TITAN-VIIの開発"日本ロボット  
学会誌 Vol17 No8, pp.1191~1197,1999

17) 広瀬 茂男, 米田 完"実用的 4 足歩行機械の開発に向  
けて"日本ロボット学会誌 Vol11 No3, pp.360~365,1993

18) 広瀬 茂男, 梅谷 陽二"歩行機械の脚形態と移動特性"  
バイオメカニズム 5 pp.242~249 バイオメカニズム学  
会編

19) 小田島 正, 湯浅 秀男, 伊藤 正美"均質モジュールか  
らなる自立分散型多脚移動歩行ロボットシステム"日本ロ  
ボット学会誌 Vol16 No7, pp.957~964,1998

20) 伊藤 宏司"歩行運動とリズム生成"日本ロボット学会  
誌 Vol11 No3, pp.320~325,1993

21) 伊藤 聡, 湯浅 秀男, 羅 志偉, 伊藤 正美, 柳原 大"  
環境の変化に適応する四足歩行ロボットシステム"日本ロ  
ボット学会誌 Vol17 No.4, pp.595~pp.603 1999

22) 畑 智成"周期的摂動に適応する四足歩行ロボットの  
研究開発"平成9年度 卒業論文報告書 愛知工業大学

(受理 平成15年3月19日)