

【論文】

関節モジュール型ヒューマノイドの開発

黒野 繁*¹、荒牧重登*²

Development of a Humanoid Robot with the Modularized Joints

Shigeru Kurono, Shigeto Aramaki

Abstract: We developed a human-sized humanoid robot composed of the modularized joint units in our laboratory. Development of a human-sized humanoid robot in a small laboratory is usually not easy because it is expensive and it requires some high level manufacturing machines. We developed many modularized joint units with DC servo motors and gear set at first, and then we constructed a humanoid robot in a manner of “building block” with them. In this paper, we introduce the composition of our modularized joint unit and the structure of humanoid robot, and illustrate the outline of hardware and software of control system developed to control our humanoid robot.

Keywords: Modularized joint unit, Human-sized humanoid robot, DC Servo motor

1. はじめに

近年、ホンダやソニーのような大企業がヒューマノイドロボット（人間型ロボット）を開発してマスコミで宣伝するため、ロボットといえばヒューマノイドであり、2足で歩いたり、走ったりするのが当たり前になってきた。黒野研究室では平成9年に身長30cm、体重1.5kg、自由度22のヒューマノイドを開発して静的歩行までは実現したが、動的歩行や走行までには至っていない。ロボットの研究者なら誰しも、人間大のヒューマノイドを自分の研究室で開発し、ダイナミックに歩いたり、走ったりさせたいと思うであろう。ヒューマノイドの実用性はともかく、多くの研究課題を含んでおり、学生の研究テーマとして適しているので筆者の研究室でも人間大ヒューマノイドを開発することにしたが、それはコスト的にも加工機械の面でも簡単なことではない。そこで、我々のとったアプローチは、まず、2年間の研究費でサーボモータとハーモニックドライブ（減速機）を順次購入した後、関節モジュールと呼ぶユニットを多数作成しておいて、それらをアルミ板で順次連結してヒューマノイドに組み立てるといったものであった。

* 1 本学電気工学科

* 2 福岡大学工学部

2. 関節モジュールとヒューマノイドの構成

まず、ヒューマノイドロボット全体の構成を図1に、全体の写真を図2（次ページ）に示す。

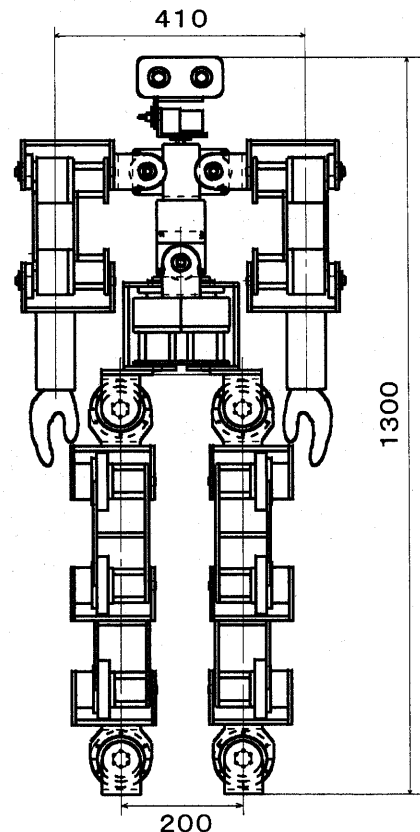


図1 ヒューマノイドロボットの構造

身長は小学生程度を目標として約130Cm、体重40Kgを目安とした。自由度構成は、足部6×2、腕部3×2、胴体部1、首部2、合計21である。構造は製作容易性を考慮して図3に示すような関節モジュール構造とした。図に示すようにモジュールはハーモニックドライブ（100分の1減速機）、60ワットDCサーボモータおよびアルミ板（厚さ6～8mm）の部品により構成されており、この程度の部品加工であれば我々の研究室や機械科の工作機械で十分作成できた。ハーモニックドライブを用いた関節モジュールは全部で10個作成し、高トルクが要求される両足の関節に配置した。右足の大腿部の構造を図4に、膝（ひざ）と足首部の構造を図5に示す。図に示すように各関節モジュールを接続するアルミ部品は学生でも加工できるようなシンプルなものとなっている。関節モジュールは減速機としてハーモニックドライブを使用した図3に示すタイプと、50分の1ギアセットの減速機を使用したタイプを作成した。このタイプの構造も図3とほぼ同じであるがサイズが若干大きくなった。これは主として両腕部の関節に使用した。

3. 強度計算とモータの選定

両足の関節に配置するモータのトルクを計算するために図6に示すようなモデルを考える。同図(a)は片足を角度θだけ広げた状態であり、このときの点Pのトルクは、

$$T_a = \{l_1w + (l_1+l_2)w + (l_1+2l_2)w + 2(l_1+l_2)w\} \sin\theta$$

$$= 5(l_1+l_2)wsin\theta$$

同図(b)は両膝を曲げた状態であり、このときの

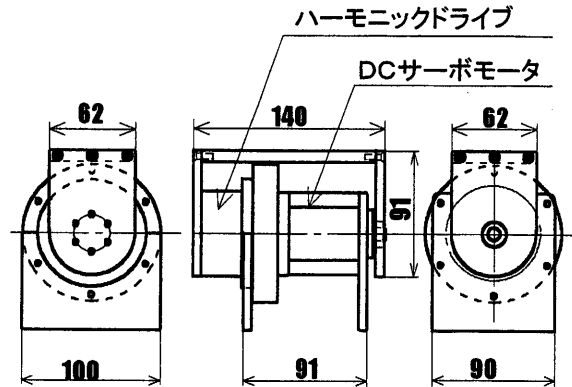


図3 関節モジュールの構造

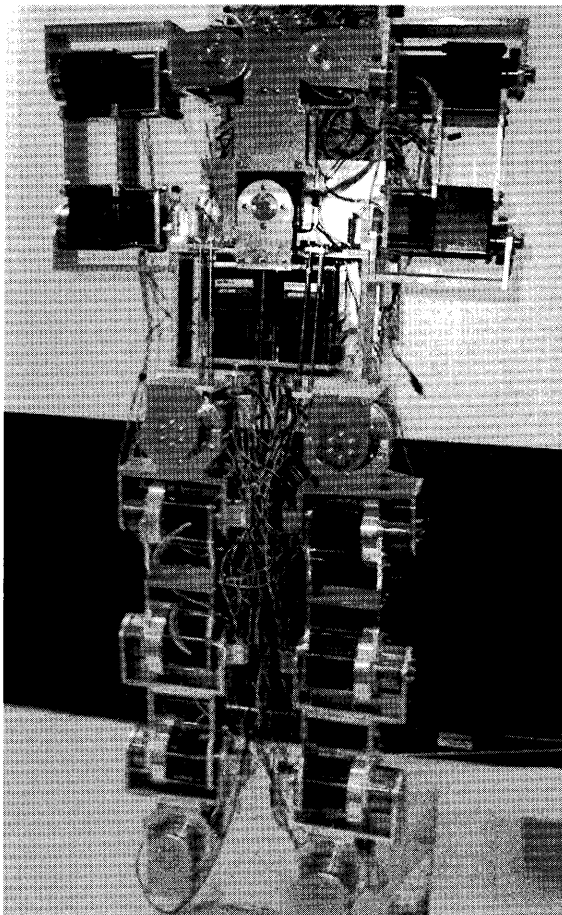


図2 ヒューマノイドロボットの写真

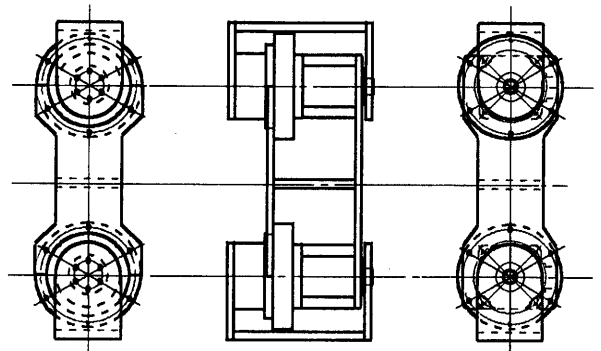


図4 大腿部の構造

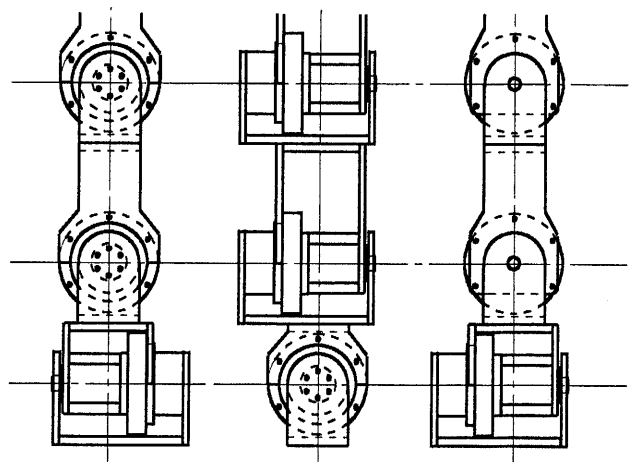


図5 膝（ひざ）部と足首の構造

点Pのトルクは、

$$T_b = \frac{W}{2} l_2 \cos\theta \quad \text{である。ここで、} l_1, l_2 \text{ はリンク}$$

の長さで、 $l_1=12\text{Cm}$, $l_2=18\text{Cm}$

W は関節モジュールの重さで、

$$w=2.4\text{kg}$$

W はヒューマノイドの全体重で、

$$W=40\text{kg}$$

とすると、 $\theta=45^\circ$ のとき、上記トルクは、

$$T_a = T_b = 255\text{kgfcm}$$

となり、モータの減速比を100:1とすれば

モータに必要なとされる定格トルクTは

$$T = \frac{255}{100} = 2.55\text{kgfcm} \text{ となる。}$$

今回採用するサーボモータは(株)日本サーボ製の
ブラシレスDCモータ「FHD6J60PE」で、

最大出力 60W

定格トルク 3.0kgfcm

瞬時最大トルク 4.5kgfcm

であるため、上記条件を満たしている。また、瞬時的に片足で全体重を支える場合を考えると、曲げることのできる角度 θ は、

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{4.5 \times 100}{18 \times 40} \right) = 51^\circ$$

つまり、瞬時的ではあるが、ある程度膝を曲げた状態で片足立ちもできるということである。

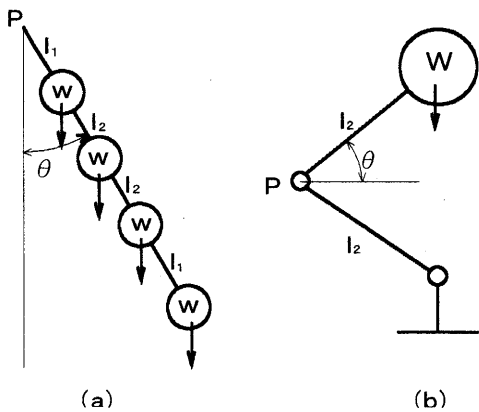


図6 トルク計算のモデル

4. ヒューマノイド制御システム

4.1 制御システム全体の構成

ヒューマノイド制御システムは名刺サイズの1

6ビットマイコンボードAk i H8 ((株)秋月電子製で日立H8/3048Fマイコンを搭載)を4枚使用した。各ボードにH8#1~#4という番号を付けて、H8#1をマスターH8、H8#2~#4をスレーブH8と呼ぶことにする。ヒューマノイド全体を制御するホストコンピュータとしてはソニーの薄型・軽量ブック型パソコン(PCG-X505/P)をヒューマノイドの背中に搭載することにした。ホストコンピュータとマスターH8を高速シリアル通信で接続し、マスターH8と3つのスレーブH8は8ビットパラレル通信で結ぶこととした。ヒューマノイド制御ボードの写真を図7に示す。図から分かるように本ボードには大きなスペースが残っており、今後、視覚、力覚等の各種感覚情報入力のためのプロセッサと周辺回路の増設に備えている。図8はヒューマノイド制御装置全体のブロック図を示している。日立マイコンH8/3048Fは多様な制御機能を有しており、ロボット等の制御用としては理想的なマイコンである。本システムではスレーブH8に8チャンネルD/A変換器を追加し、それとH8に標準装備された8チャンネルA/D変換器を使って8自由度のサーボモータをフィードバック制御している。スレーブH8は3枚あるので、全体で24自由度のサーボを制御できる。

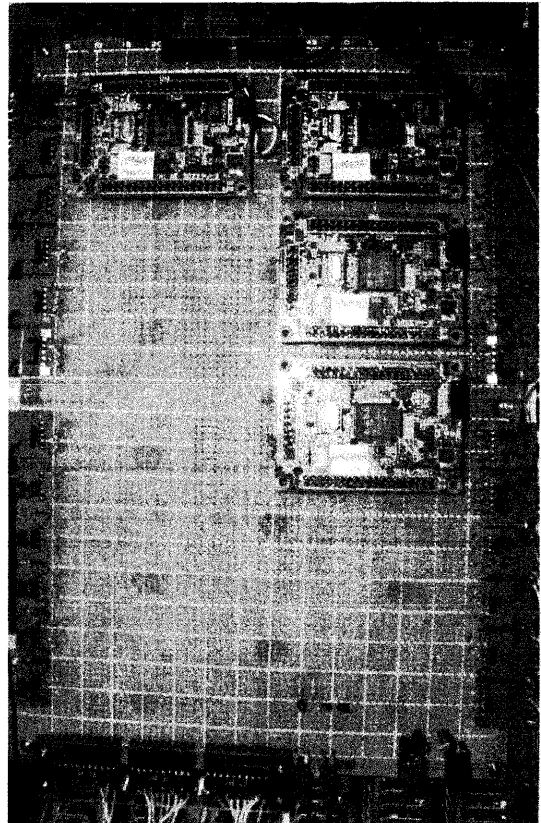


図7 ヒューマノイド制御ボードの写真

4. 2 マスタープロセッサの構成

図9にマスターH8の構成を示す。マスターH8の主な役割はホストコンピュータとのシリアル通信、3枚のスレーブH8とのパラレル通信、ヒューマノイドの各種感覚情報の入力である。具体的な処理内容は次の通り。

- (1) シリアル通信により、ホストから各種の指令を受信する。
- (2) 受信した指令に応じて、パラレル通信により指令値を対応するスレーブH8に送信する。
- (3) 触覚センサ、力覚センサ、加速度センサ等から入力した感覚情報をホストへ送信する。

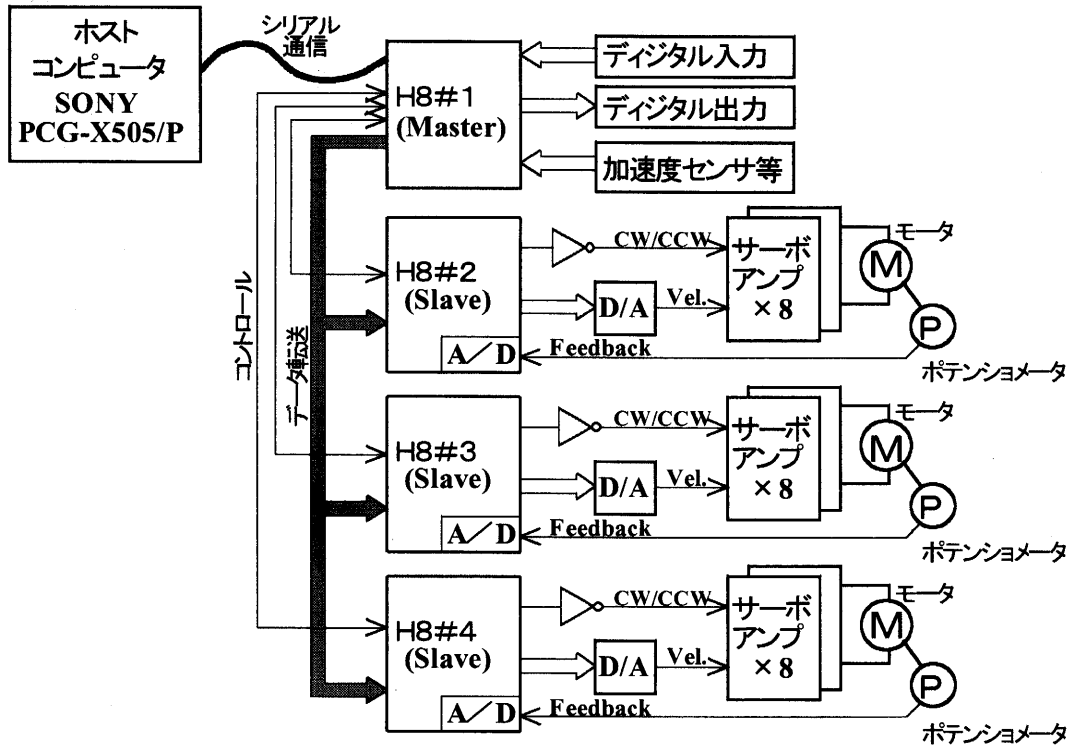


図8 ヒューマノイド制御装置全体のブロック図

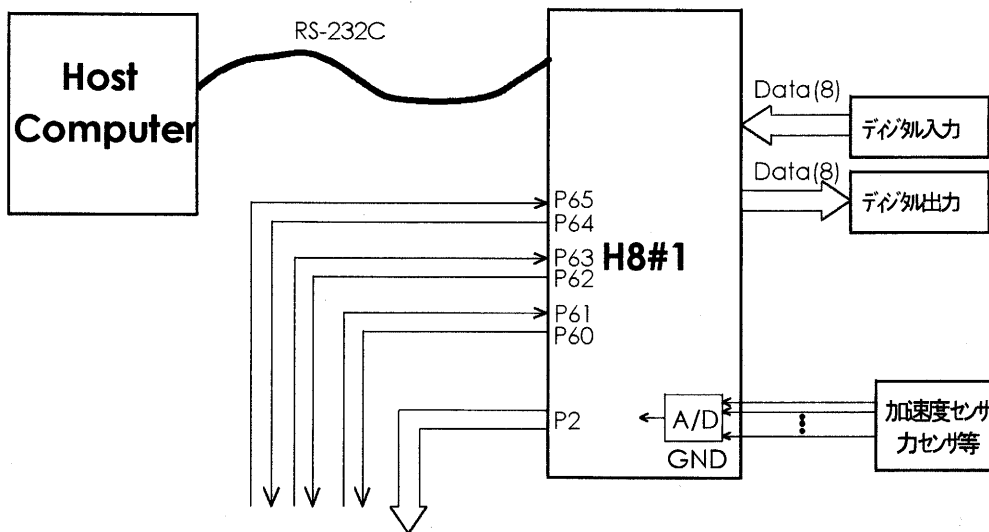


図9 マスターH8の回路構成

4. 3 スレーブプロセッサの構成

スレーブH8の構成を図10に示す。サーボ増幅器 (SERVEXドライバ) の入力信号のうち、F/Rは正逆信号、RUNは運転/シャットダウン信号、BRKはブレーキ信号 (今回不使用)、Vsは速度指令入力 (0~10V) である。すべてのモータのRUN信号は1つの緊急スイッチにつながっており、いつでもシャットダウンできるようにしている。スレーブH8の機能は次の通り。

- (1) マスターH8から8自由度の関節指令値を受信する。
- (2) 各関節の回転角度をA/D変換器で入力し、

上記指令値との偏差を求めてD/A変換し、サーボ増幅器へ出力する。この処理を8自由度について常時実行する。

4. 4 プロセッサ間通信

プロセッサ間通信の接続図を図11に示す。マスターH8とスレーブH8は2ビットの制御信号REQ (マスターH8→スレーブH8)、ACK (スレーブH8→マスターH8) と、8ビットのデータバスData(8)で接続される。通信手順 (プロトコル) のフローチャートを図12に示す。

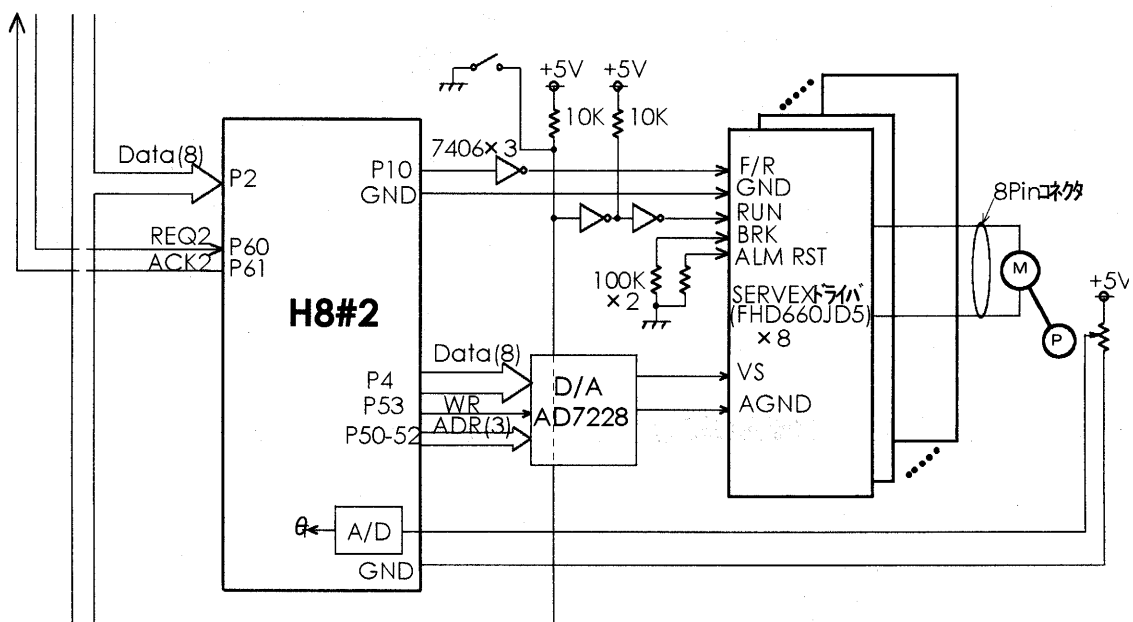


図10 スレーブH8の回路構成

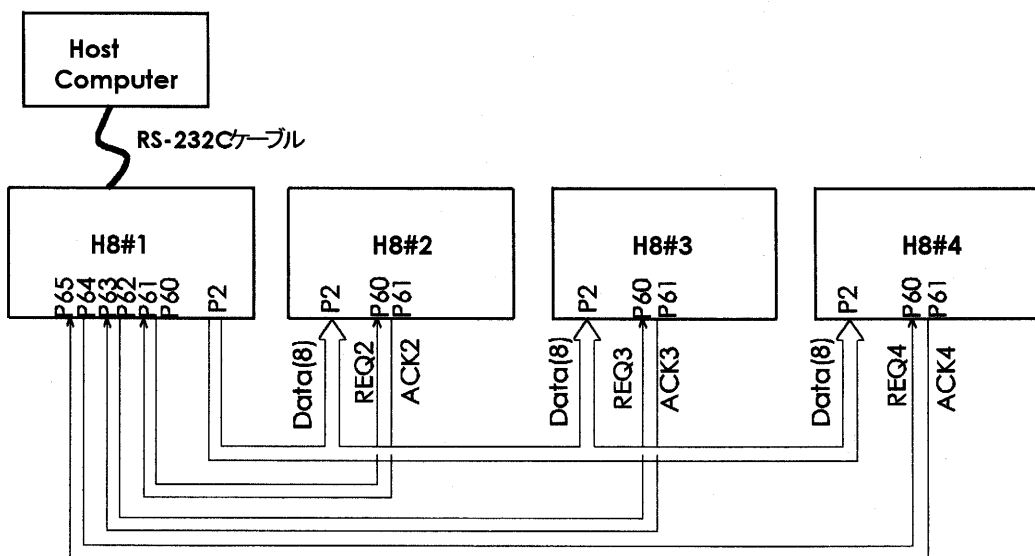


図11 プロセッサ間通信の接続図

ヒューマノイドは最終的には自律動作させるのでバッテリーを搭載することになるが、実験段階ではバッテリー消耗の煩わしさを避けるためスイッチング電源を用いる。60W(48V)のサーボアンプ(11セット)用に24V(300W)の電源2台、

40W(24V)のサーボアンプ(8セット)用に同じく24V(300W)の電源1台を使用する。ロジック用電源としては5V(5A)、アナログ用±15V全体で30Wの3出力電源を使用し、D/A変換器の基準電圧(+10V)はオペアンプ回路により作っている。

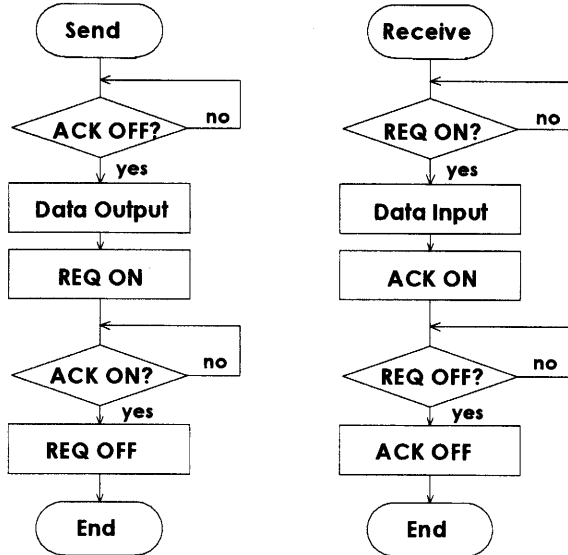


図 1 2 プロセッサ間通信のフローチャート

5. ヒューマノイド制御ソフトウェア

ヒューマノイド制御ソフトウェアはターゲット側(H8)はC言語、ホスト側はVB(Visual Basic)で開発している。図13にVBフォーム画面を示す。図に示すように、ヒューマノイドの3次元CG表示の関節部をマウスでクリックすれば各関節が動き、それと実物のロボットが連動するようになっている。CG表示とマウス操作によって、ロボットに任意の姿勢をさせて、それに番号を付けて順次記憶してゆく。そして、一連の姿勢を連続的に再現動作させながらヒューマノイドの基本動作を実現する訳である。動的歩行等、高度な動作をこの方式で作成することは難しいが、比較的簡単な動作であればこの方式で容易に確認することができる。

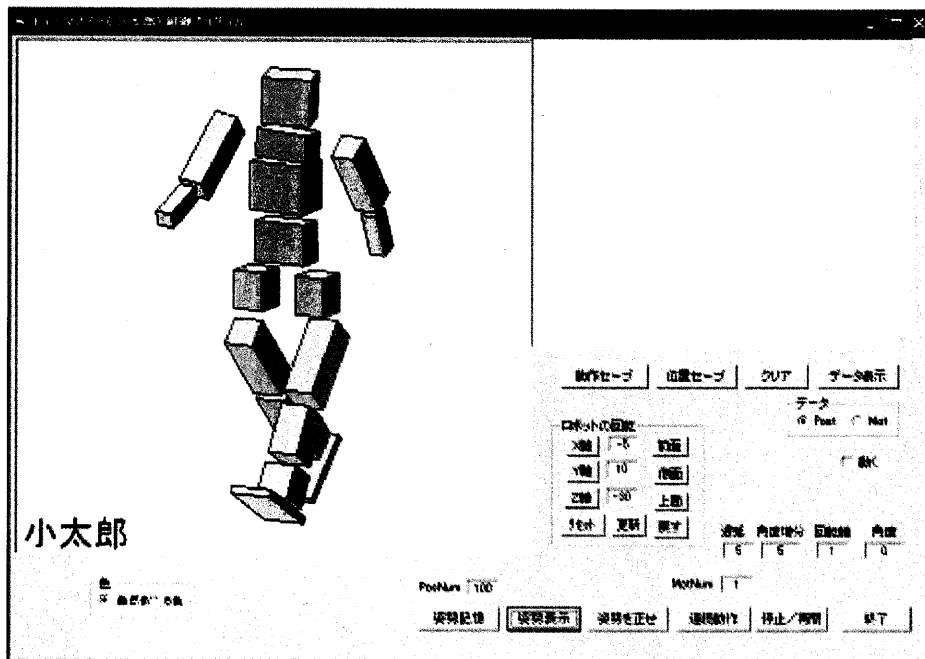


図 1 3 ヒューマノイド制御ソフトウェアのVBフォーム