

二足歩行ロボットの無線操作

2010年1月31日

阪南大学 経営情報学部 経営情報学科 花川ゼミ

5106298 楠原 拓磨

目次

第一章	はじめに	3
第二章	関連研究	4
第一節	ロボットの語源	4
第二節	ロボットの定義	4
第三節	ロボットの歴史	4
第四節	ロボット工学	5
第五節	二足歩行ロボット	5
第六節	ロボットコンテスト	7
第三章	KHR - 1 について	9
第一節	KHR - 1	9
表 1	KHR - 1 の仕様	10
第二節	Heart To Heart	10
第三節	サーボモーター	10
第四節	RCB - 1	11
第五節	RS-232C	12
第六節	無線コントロールユニット	12
第七節	ハンチング	13
第四章	プログラム	14
第一節	ダンスの解説	14
第二節	腕立て伏せの解説	15
第五章	まとめ	16
第六章	参考文献	17
第七章	画像引用	17
謝辞	18

第一章 はじめに

今日のロボットは、工場での作業用に用いられるだけでなく様々な分野で研究、開発され活躍している。例えば手術用の医療ロボットがあり、これは医者がカメラから送信される映像を見ながらリモートコントロールによりロボットを操作し手術を行うものである。また、ロボットのアーム部はコンパクトに設計され、人間にはできない動作が可能である[1]。これにより、これまでの顕微鏡外科手術では大きな切開が必要であったが、ロボットを使用し低侵襲手術（切開などの侵襲を最小にとどめた手術）が可能となった。その他、軍사용ロボットの研究も進んでおり、危険物の除去や偵察などの任務を人間の代わりに行き、人命が損なわれるリスクを最小限にできると期待されている。上記のような、人間の負担を減らす、または人間ができないことを代わりに行うなどを目的とする以外のロボットも存在し、それらは娯楽用ロボット等として人々に親しまれている。

そこで、本研究ではロボットに対する理解をさらに深めることを目的とし、近藤科学の2足歩行ロボットである KHR - 1 を使い無線でコントロールする方法について研究した。KHR - 1 は 2004 年の ROBO-ONE の Jr カテゴリで優勝を果たすなど非常に高性能なロボットであるが、ドライバーが 1 本あれば組み立てることができ、専用のソフト「Heart To Heart」を使用しプログラミングの経験が無いユーザーでも簡単にプログラムを作ることができる。これらによりロボット製作を始めるきっかけとして初心者にも親しまれている。また、別売の拡張パーツを用いることで製作者の好みに合わせた個性を出すことができるなど、ロボット製作者のために様々な配慮がなされており、研究の対象として最適である。

本論文についてであるが、第 1 章では、今日のロボットを取り巻く現状と本研究の目的について述べた。第 2 章では、ロボットに関連する研究について説明を行う。第 3 章では、本研究で用いた KHR - 1 について詳しく解説を行う。第 4 章では、実際に作成したプログラムについての解説を行う。第 5 章で本研究のまとめを述べる。

第二章 関連研究

第一節 ロボットの語源

ロボット(robot)の語源は、チェコ語で賦役を意味するロボタ(robota)から来ており、1920年にチェコの作家カレル・チャペック(図1参照)が発表した戯曲「R.U.R(Rossum's Universal Robots)」に登場する人造労働者に由来する[2]。



図1 カレル・チャペック

第二節 ロボットの定義

ロボットを定義することは難しい。ロボットにはセンサーや人工知能を用いて自律行動するものや、人間が操縦し作業を行うロボットも存在する。ロボットを人間の代わりに作業を行うものと定義をすると、近年登場している娯楽用のペットロボット等はこの定義に当てはまらない。ロボットが開発された当初は、主に工場等で働くロボットが中心であったが、現代ではロボットに求められることが少しずつ変化しているのである。

第三節 ロボットの歴史

世界初の産業用ロボットは、プログラム制御型ロボットとして米国で1961年に発表されたユニメーション社のユニメートである。日本における産業用ロボットは1960年代に大学や研究機関、民間企業で研究されている。そして、1968年に川崎重工業がユニメーション社と技術導入契約を結び、1969年に国産初の産業用ロボット「川崎ユニメート2000型」(図2参照)の第一号機が誕生した[3]。



図 2 川崎ユニメート 2000 型

第四節 ロボット工学

ロボット工学とは、人間をはじめとする動物に類似する機械を研究開発する学問である。しかし、その研究開発の実態は多岐に渡り、科学技術だけでは成り立たない。ロボットに人間のような動きを与えるためには人間が動く機構自体を知る必要があり、工学的な研究だけではなく医学方面の研究が必要である。また、人間型で無いほうが効率的な場合、生物の機能を工学技術的に実現する生物工学が必要になる。さらに、人間とコミュニケーションをとる場合にも、人間の心理を無視することはできない。このようにロボット工学は様々な分野の研究により成り立っている[4]。

第五節 二足歩行ロボット

ロボットの移動方式の中に二足歩行方式がある。二足歩行方式には、静歩行と動歩行があり、静歩行は常にバランスを保ちながら移動する方式である。それに対して動歩行は人間と同じくバランスを積極的に崩しながら移動する方式である。早稲田大学では二足歩行をするロボットの研究を 1966 年から開始し、1971 年に静歩行を実現した WL - 5 を開発した。これは後に本格的な人型ロボットである WABOT - 1 に用いられている。そして、1984 年には動歩行を世界初で実現をした WL-10RD (図 3 参照) を開発している[5]。

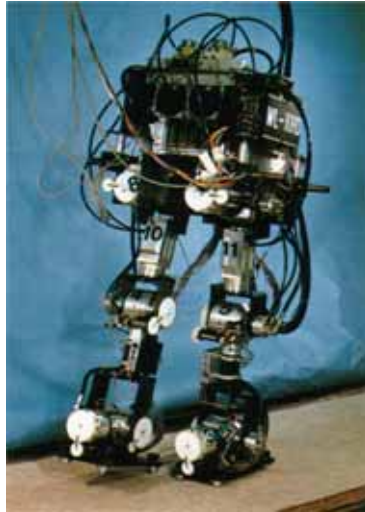


図 3 WL-10RD

二足歩行方式のロボットで有名なものが、本田技研工業株式会社(以下、本田)が ASIMO (図 4 参照) である。本田は ASIMO 以前から二足歩行ロボットの研究を開始し、1986 年には二足歩行の原理究明を目的とした E0 を開発する。その後 E1 から E6 までの開発において、動歩行と歩行安定化技術を確立している。これらの二足歩行ロボットには上半身が無く、1993 年に開発された P1 において腕と胴体のついた人間型のロボットの研究が始まっている。

P1 から P3 まで開発された後、ASIMO が 2000 年に発表された。ASIMO の研究開発では二足歩行の技術の熟成だけでなく、人間とコミュニケーションをとる技術の研究も進められている。2002 年型は人の姿勢やしぐさの意味を理解して自律的に行動する機能が搭載され、2005 年型では人と手をつないで一緒に歩く等、人に合わせて行動する機能が搭載されている。さらに、2007 年型では、複数の ASIMO をネットワークで結び、作業を最も効率よく分担して行う。他にも、すれ違いや回避行動の機能が搭載されている[6]。



図 4 ASIMO

第六節 ロボットコンテスト

ロボットコンテストとは、ロボットを用いて目標の達成を競い合うことを目的としたコンテストである。ロボット競技、ロボコンなどとも呼ばれ、ロボットコンテストを題材とした映画作品も公開された。ロボットコンテストは日本国内のみならず、海外においても開催されており人気を博している。

国内で行われている主なロボットコンテストに、1991年から始まり NHK（日本放送協会）が主催している NHK 大学ロボコン（図 5 参照）がある。このコンテストは ABU ロボコン（Asia Pacific Robot Contest、アジア太平洋放送連合）における日本代表の選考を兼ねており、優勝チームは日本代表として ABU ロボコンに参加できる。NHK 大学ロボットコンテストは毎年 1 回開催されているが、1996 年は大腸菌 O-157 の感染を理由とし開催されなかった。2009 年に開催されるコンテストのテーマは「人と、ロボットの、協調」である。これは産業界で当然のようになっているロボットの活用だけでなく、高齢者や障害者の介護、災害時の人命救助などでのロボットの活用で求められる「人に対する優しさ」、「人との協調性」という重要な視点が必要とされている。コンテストは NHK 総合テレビなどで放送されている。



図 5 NHK 大学ロボットコンテストの様子

国内におけるその他のコンテストで知名度が高いものに、アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテストがある。高専ロボコンと略して呼ばれることが多い。このコンテストは NHK が主催するアイデア対決・ロボットコンテストの高専部門に、2000 年から高等専門学校連合会が加わり独立したコンテストとなった。このコンテストも NHK で放送される。

その他のコンテストには、前述した ABU ロボットコンテストがある。ABU ロボットコンテストとは、2002 年から始まって ABU が主催し、ABU に加盟するアジア、太平洋の地域から選抜された大学、工科大学の学生がロボットで競い合うコンテストである。

第三章 KHR - 1 について

第一節 KHR - 1

KHR - 1 (図 6 参照) とは、2004 年に近藤科学株式会社 (以下、近藤) より発売された二足歩行ロボットである。従来の二足歩行ロボットに比べて低価格で販売され、二足歩行ロボットが普及するきっかけとなった。2004 年にプロトタイプ of KHR - 1 が、二足歩行ロボットによる競技大会である ROBO-ONE の J クラスで優勝したことがある。

KHR - 1 が発売されたきっかけは、自作ロボットの製作用に型式番号 PDS-2144FET のサーボモーターをまとめ買いする製作者が急増し、品切れを起こすところから始まる。サーボモーターとは角度を指定し駆動できるモーターのことで、主にラジコン等の用途に活用されていた。PDS-2144FET は、トルク重視でありラジコン用としては需要も少なく売れ筋商品ではない。さらに決して安くない商品であるが過酷な条件でも動作し、また、ロボットの動作の停止時に不安定にならないことから自作ロボット製作者に選ばれていた。このことに目をつけた近藤は安価でロボットに適したサーボモーターと KHR - 1 を開発した [7]。

KHR - 1 は、ドライバー 1 本で簡単に組み立てることができ、初心者でも簡単に製作できる。動作は歩く、前転、後転、そして側転等の動作が可能で、専用ソフトウェア「Heart To Heart」でプログラミングを行い、オリジナルの動作を作成することができる [8]。

KHR - 1 は高さ 340mm、横幅 180mm、電池搭載時の重量 1.2Kg であり、関節の数が 17 箇所ある。サーボモーターは全て KRS-786ICS を使用し、コントロールボードの RCB - 1 でサーボモーターを制御する。



図 6 KHR - 1

表1 KHR - 1 の仕様

高さ	340mm
横幅	180mm
重量（電池搭載時）	1.2Kg
関節の数	17 箇所（拡張により全身 24 箇所まで増設可能）
サーボモーター	KRS-786ICS
コントロールボード	RCB - 1

第二節 Heart To Heart

Heart To Heart とは、KHR - 1 の動作を作成するためのソフトである。また、KHR - 1 を組み立てる際に生じたサーボモーターのずれを調整することもできる。さらにコントロールするサーボモーターが Red Version の場合は教示機能が使用できる。教示機能とは、Red Version に搭載されているポジションキャプチャーにより、サーボモーター側から出力軸のデータをコントローラーに送信できる機能である。

動作の作成はポジションやモーション、シナリオを作成することでできる。ポジションとは KHR - 1 の現在の状態（各サーボモーターの位置）を表すデータであり、そのポジションの連続したデータを組み合わせたものがモーションである。RCB - 1 に 1 つのモーションにつき 100 個のポジションを記憶させることができる。シナリオとはモーションの組み合わせであり、1 つのシナリオには、モーションを 200 個指定することができ、シナリオは 4 つ記憶することができる。

RCB - 1 への通信には RS-232C を使用するが、研究に使用したコンピュータは RS-232C のインターフェースが無く、USB に変換するケーブルを使用した。

第三節 サーボモーター

サーボモーターは、ラジコンカーやホビー用のロボット等に用いられるモーターのことである。サーボモーターは通常のモーターのように一定の力とスピードで回転し続けるものではなく、送信機やマイコン等から制御信号が入力されないと回転しない。また決められた範囲しか回転することができず、左右 90 度ずつ、合計 180 度の範囲でしか回転させることができない。サーボモーターには、大きく分けてアナログサーボと、デジタルサーボの 2 種類がある。アナログサーボは安価であり、デジタルサーボは止まる位置が正確で、止まっている力が大きいのが特徴である[9]。KHR - 1 で使用するサーボモーターは KRS - 786ICS（図 7 参照）である。KRS - 786ICS のギアは樹脂製であり、激しく使用するとギアが欠けてしまうことがあるので注意が必要である。



図 7 KRS - 786ICS

第四節 RCB - 1

RCB - 1 (図 8 参照) とは KHR - 1 に使用されるコントロールボードである。KHR - 1 は RCB - 1 を背部に搭載し、RCB - 1 を 2 枚使用することで 24 個のサーボモーターを制御可能である。Heart To Heart で作成されたプログラムは RCB - 1 に保存することができる。

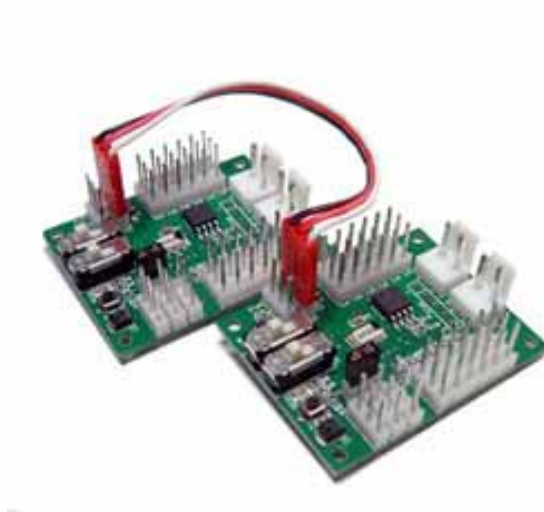


図 8 RCB - 1

第五節 RS-232C

RS-232C は EIA-232 と呼ばれ、米国の EIA (Electronic Industries Alliance) により標準化されたシリアル通信方式のインターフェースである。インターフェースはポートとも呼び、シリアルポートと呼ばれる場合は RS-232C を指すことが多い。コネクタの形状はいくつか種類があり、主に D サブ 25 ピンと D サブ 9 ピンが使われる。ケーブルの最大の長さは約 15m である。主な用途は、プリンタ、モデム、スキャナ等の周辺機器を接続するために用いられる[10]。

第六節 無線コントロールユニット

KHR - 1 は KRR - 1 と KRT - 1 (図 9 参照) により無線でコントロールすることができる。電波の送信に KRT - 1 を使用し、受信には KRR - 1 を使用する。電波の周波数はクリスタルにより変えることができ、オプションで AD - 1 から AD - 20 までのクリスタルが用意されている。クリスタルは送信用のものと受信用のものがあり、どちらも形状は同じなので取り付ける際に注意が必要である。

KRT - 1 とコンピュータを接続する物は ICS - PC インターフェースであり、KHR - 1 に付属する ICS - PC インターフェース 2 は形状が同じであるが使用することができない。この 2 つは、青いシールが貼られているほうが ICS - PC インターフェース 2 であり、何も貼られていないものが ICS - PC インターフェースなので見分けることができる。

実験では使用しなかったが、KRC - 1 (別売り) により KHR - 1 をラジコンのように操作することも可能である。

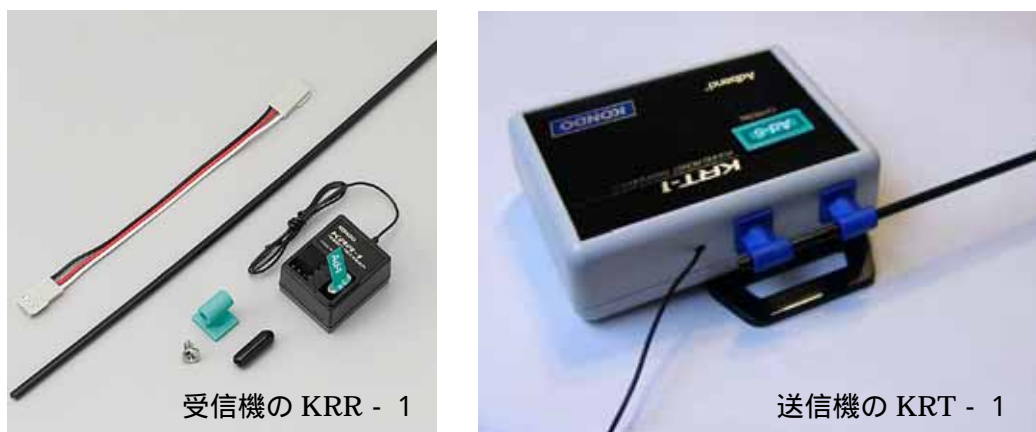


図 9 KRR - 1 と KRT - 1

第七節 ハンチング

ハンチングとはサーボモーターが動作時に振動する現象である。ハンチングはサーボモーターのトルクが小さければ起こりにくく、大きければ起こりやすくなるという特性がある。本研究でもハンチングが発生したため、対策として KRS - 786ICS のトルクを調節した。方法はまず無線コントロールユニットに付属する ICS - PC インターフェースと、余っていたリンクケーブルで自作した二又コード（図 10 参照）を使い、二又の一方をサーボモーターに直接繋ぎ、もう一方を RCB - 1 の開いているサーボモーターを繋ぐ場所に繋ぎ電源とした。トルクの調節は各サーボモーターにコンピュータからサーボマネージャーというソフトで行う。今回の設定は SET1 から SET3 までの 3 項目のパルスストレッチを SET1 は 5、SET2 は 3、SET3 は 1 に設定した。パルスストレッチは 5 が一番強い設定で、1 が一番弱い設定である。サーボマネージャーで設定を終えた後、Heart To Heart でモーションを作成するときハンチングが起こるサーボモーターの設定を、通常 PWM となっている項目から SET1、2、3 のいずれかに変更することでハンチングを防ぐことができる。

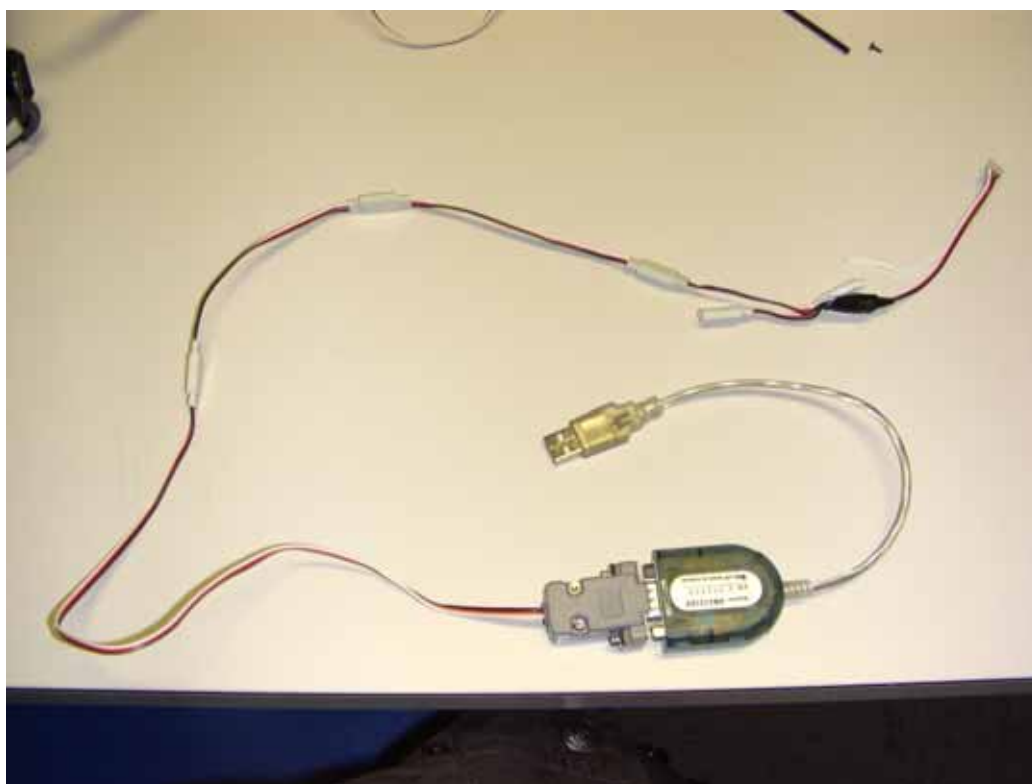


図 10 二又コードと ICS - PC インターフェース

第四章 プログラム

プログラムはダンスと腕立て伏せの動作を Heart To Heart で作成した。ダンスのプログラムは一から作成し、腕立て伏せのプログラムはサンプルモーションをそのまま使用するとハンチングが発生するので改良したプログラムを作成した。なお、使用しないサーボモーターのパラメーターは省略した。

第一節 ダンスの解説

右腕と左腕を交互に上下させ、顔も左右に動かす動作である。この動作はハンチングが発生しなかった。

NO	DATA	NA	SPEED	CH1	CH2	CH3	CH6	CH7	CH8	CH9	CH13	CH14	CH15	CH16	CH17	CH19	CH20	CH21	CH22	CH23
1	ホームボ:		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	手を前に1		4	90	20	-70	0	-90	-20	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	右手を上		4	40	20	-70	40	-180	-20	70	-10	0	0	0	10	-10	0	0	0	0
4	左手を上		4	180	20	-70	-40	-40	-20	70	10	0	0	0	-10	10	0	0	0	-10
5	右手を上		4	40	20	-70	40	-180	-20	70	-10	0	0	0	10	-10	0	0	0	0
6	左手を上		4	180	20	-70	-40	-40	-20	70	10	0	0	0	-10	10	0	0	0	-10
7	右手を上		4	40	20	-70	40	-180	-20	70	-10	0	0	0	10	-10	0	0	0	0
8	左手を上		4	180	20	-70	-40	-40	-20	70	10	0	0	0	-10	10	0	0	0	-10
9	右手を上		4	40	20	-70	40	-180	-20	70	-10	0	0	0	10	-10	0	0	0	0
10	左手を上		4	180	20	-70	-40	-40	-20	70	10	0	0	0	-10	10	0	0	0	-10
11	右手を上		4	40	20	-70	40	-180	-20	70	-10	0	0	0	10	-10	0	0	0	0
12	左手を上		4	180	20	-70	-40	-40	-20	70	10	0	0	0	-10	10	0	0	0	-10
13	右手を上		4	40	20	-70	40	-180	-20	70	-10	0	0	0	10	-10	0	0	0	0
14	左手を上		4	180	20	-70	-40	-40	-20	70	10	0	0	0	-10	10	0	0	0	-10
15	右手を上		4	40	20	-70	40	-180	-20	70	-10	0	0	0	10	-10	0	0	0	0
16	左手を上		4	180	20	-70	-40	-40	-20	70	10	0	0	0	-10	10	0	0	0	-10
17	右手を上		4	40	20	-70	40	-180	-20	70	-10	0	0	0	10	-10	0	0	0	0
18	左手を上		4	180	20	-70	-40	-40	-20	70	10	0	0	0	-10	10	0	0	0	-10
19	右手を上		4	40	20	-70	40	-180	-20	70	-10	0	0	0	10	-10	0	0	0	0
20	左手を上		4	180	20	-70	-40	-40	-20	70	10	0	0	0	-10	10	0	0	0	-10
21	右手を上		4	40	20	-70	40	-180	-20	70	-10	0	0	0	10	-10	0	0	0	0
22	左手を上		4	180	20	-70	-40	-40	-20	70	10	0	0	0	-10	10	0	0	0	-10
23	ホームボ:		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図 11 ダンスプログラム

第二節 腕立て伏せの解説

腕立て伏せのサンプルモーションを使い、ハンチングが起こった図中の No20 の前にサーボモーターの特性を切り替えるプログラムを追加した。No20 の動作は KHR - 1 が腕立て伏せを終え立ち上がる動作であり、腕はあまり使わず足を中心に動作するため、No19 では腕のトルク特性を PWM から SET3(最弱設定)へ変え、足のトルク特性を PWM から SET2(中設定)に変えた。このときスピードを 0 にすることに注意が必要である。

NO	DATA_N	SPEED	CH1	CH2	CH3	CH6	CH7	CH8	CH9	CH13	CH14	CH15	CH16	CH17	CH19	CH20	CH21	CH22	CH23	
1	DATA		4	8	16	0	0	0	-17	0	-1	-35	-52	21	0	1	35	52	-21	0
2	DATA		4	82	16	0	0	-78	-17	0	-1	-100	-52	-10	0	1	101	52	11	0
3	DATA		4	154	16	0	0	-150	-17	0	-1	-92	58	-51	0	1	93	-61	53	0
4	DATA		4	95	5	0	0	-99	-6	0	-1	-22	-15	71	0	1	24	18	-75	0
5	DATA		4	95	5	0	0	-99	-6	0	-1	-22	-15	2	-2	1	24	18	-3	0
6	DATA		4	95	5	0	0	-99	-6	0	-1	-22	-15	2	-2	1	24	18	-3	0
7	DATA		4	95	65	-90	0	-99	-61	89	-1	-22	-15	2	-2	1	24	18	-3	0
8	DATA		4	95	5	0	0	-99	-6	0	-1	-22	-15	2	-2	1	24	18	-3	0
9	DATA		4	95	65	-90	0	-99	-61	89	-1	-22	-15	2	-2	1	24	18	-3	0
10	DATA		4	95	5	0	0	-99	-6	0	-1	-22	-15	2	-2	1	24	18	-3	0
11	DATA		4	95	65	-90	0	-99	-61	89	-1	-22	-15	2	-2	1	24	18	-3	0
12	DATA		4	95	5	0	0	-99	-6	0	-1	-22	-15	2	-2	1	24	18	-3	0
13	DATA		4	95	65	-90	0	-99	-61	89	-1	-22	-15	2	-2	1	24	18	-3	0
14	DATA		4	95	5	0	0	-99	-6	0	-1	-22	-15	2	-2	1	24	18	-3	0
15	DATA		4	95	65	-90	0	-99	-61	89	-1	-22	-15	2	-2	1	24	18	-3	0
16	DATA		4	95	5	0	0	-99	-6	0	-1	-22	-15	2	-2	1	24	18	-3	0
17	DATA		4	95	5	0	0	-99	-6	0	-1	-22	-15	71	0	1	24	18	-75	0
18	DATA		6	154	5	0	0	-150	-6	0	-1	-100	63	-50	0	1	100	-62	50	0
19	18の後	+	0	224	224	224	0	224	224	224	224	223	223	223	0	224	223	223	223	0
20	DATA		6	30	16	0	0	-26	-17	0	-1	-100	-52	-10	0	1	101	52	11	0
21	DATA		5	8	16	0	0	0	-17	0	-1	-35	-52	21	0	1	35	52	-21	0

図 12 腕立て伏せプログラム

第五章 まとめ

研究に使用した KHR - 1 はすでに組み立て済みだったものを使用した。しかし、サーボモーターの位置がずれていたため組み立て直した後トリムの調整をし、配線をやり直したことにより、KHR - 1 についての理解が深まった。

今回の研究では KHR - 1 を無線でコントロールすることに成功した。これまでの有線を使った方法では、コンピュータから命令を 1 体の KHR - 1 のみに送信することしかできなかったが、無線でコントロールすることにより同時に複数の KHR - 1 を制御することが可能となった。実験では無線を使い 2 体の KHR - 1 を踊らせた。KHR - 1 を無線でコントロールすることができるようになり、KHR - 1 が持つ可能性がさらに広がったのではないかと感じた。

第六章 参考文献

- [1] <http://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/medicine/chair/i-noge/html/kenkyu.html>
- [2] <http://www.toyculture.org/notice/robo.htm>
- [3] http://blog.livedoor.jp/ks_dee_robo/archives/51132707.html
- [4] 城井田勝仁：入門ビジュアルテクノロジーロボットのしくみ，日本実業出版社，2001．
- [5] http://www.humanoid.waseda.ac.jp/booklet/kato_4-j.html
- [6] <http://www.honda.co.jp/ASIMO/>
- [7] <http://plusd.itmedia.co.jp/lifestyle/articles/0406/19/news003.html>
- [8] http://www.kondo-robot.com/html/Product_main.html
- [9] 藤野裕之：超初心者のためのロボット自作入門，マイクロマガジン社，2002．
- [10] <http://www.sophia-it.com/content/EIA-232>

第七章 画像引用

図 1

<http://www.miportal.edu.sv/sitios/operacionred2008/OR08051507/Mundo%20Robotico.html>

図 2 <http://www.khi.co.jp/overview/history/topics14.html>

図 3 http://www.humanoid.waseda.ac.jp/booklet/kato_4-j.html

図 4 <http://www.honda.co.jp/ASIMO/history/asimo/index.html>

図 5 <http://www.kogakuin.ac.jp/gakusei/news/2009/051301.html>

図 6 <http://eleshop.jp/shop/g/g46Q111/>

図 7

http://www.vstone.co.jp/robotshop/index.php?main_page=advanced_search_result&keyword=%A5%DB%A1%BC%A5%F3&search_in_description=1&sort=2a&page=2&zenid=7a85ae47f642a0f618ff8701c85ba461

<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2005/0614/digital015.htm> 図 8

<http://www.amazon.co.jp/%E8%BF%91%E8%97%A4%E7%A7%91%E5%AD%A6-01019-%E3%83%AD%E3%83%9C%E3%83%83%E3%83%88%E7%94%A8%E3%82%B3%E3%83%B3%E3%83%88%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%83%AB%E3%83%9C%E3%83%BC%E3%83%89-RCB-1/dp/B000KG7V9C>

図 9

http://www.rt-shop.sakura.ne.jp/rt-shop/index.php?main_page=product_info&products_id=1587

<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2005/0210/digital013.htm>

謝辞

本論文の作成にご協力いただきました竹元学氏に感謝します。KHR - 1 の無線の問題やハンチングの問題の解決にご協力いただきました尾花将輝氏に感謝します。同ゼミ生の皆様に感謝します。多くのご指導を頂いた花川先生に感謝します。