



琉球大学学術リポジトリ

University of the Ryukyus Repository

Title	サンシン演奏ロボットの研究開発：主にハード面について
Author(s)	伊波, 善清; 山城, 毅
Citation	琉球大学工学部紀要(60): 79-87
Issue Date	2000-09
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/1472
Rights	

サンシン演奏ロボットの研究開発

—主にハード面について—

伊波 善清* 山城 毅*

Development Research on Performance Robot on the SANSHIN

—About the Hardware of the System—
Zensei IHA* and Tsuyoshi YAMASHIRO*

SUMMARY

The difference from the industrial robot, the amusement robots are more useful for the people, who live in hard and stressful world, give a peaceful life. SANSHIN is a fretless 3-strings musical instrument and transmitted to Ryukyu (Old name of Okinawa island) from China more than 600years before. The musical instrument such as stringed and percussion instruments are also very useful and necessary for Okinawan music and dance. So SANSHIN is very much intertwined with Okinawan tradition, and the sound of SANSHIN makes Okinawan people peace of mind and feel very well comfortable.

The system structures are composed mainly electromagnetic actuators and stepping motors. This system is controlled by the computer and can play one tempo more higher speed than 100 milliseconds and this speed is enough to perform SANSHIN. Performer is difficult to move his finger such high speed. In this paper is written about the hardware of the system.

Key Words : Okinawan tradition, Sanshin, Syamisen, Amusement robots, Musical instrument

1. はじめに

人手不足に対処し労働の代替装置として1980年から急速に導入された工業用ロボットは、低コストで高品質な製品を生み出し、人間社会に貢献してきた。近年、このような生産のためのロボットから人の心を癒し安らぎを与えるアミューズメント&エンターテインメントロボットが注目されるようになってきた。[1]~[3]

一見感情を持っているように思えるペットロボットも種々開発されているが、1999年7月にソニーが発売した「AIBO」が有名である。このように人々の興味を引くロボットとして楽器を演奏するロボットが有り、1995年11月にロボット音楽シンポジウム(日本ロボット学会主催)とロボット音楽会が明治大学中央校舎で開催され、好評であった。

なお、内容についてはロボット学会誌(Vol. 14, No. 2, 1996年3月)にロボット音楽特集号として掲載された。このように労働の代替装置である生産機械のための堅いイメージのロボットと趣向を変え、人と遊び、楽しませ、一緒に行動する人間共存型のロボットは、人々の好奇心を刺激し、関心を持たれるようになった。

サンシン(三味線)は明の時代に中国から琉球に伝わったと言われ、600年の歴史を誇り、琉球芸

能の中心的役割を果たして来た。[4]~[6]

本研究では琉球芸能に欠かせない代表的な楽器であるサンシンを演奏するロボットを開発し、観光地沖縄の文化を興味深く紹介し、老人ホーム等では安らぎを、青少年には科学と文化に対する好奇心と創造性への刺激を与える事を目的とした。

今回は、これまでに改良を加えてきたハード面について記述する。[7]~[11]

なお、本ロボットは0号機の形や動作から蜘蛛(=あがさー:沖縄方言)が巣を創っている様子に見えた所から「あがさー」と命名したが、琉球古典音楽に「あがさー節」なるものがあり、蜘蛛が巣を創る様子を機織りに例えた教訓歌である。[12][13]



写真1. あがさー0号

受理: 2000年6月26日

日本ロボット学会学術講演会において1996年11月発表済み

*工学部電気電子工学科

(Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Fac. of Eng.)

2. あがさー0号(写真1)

最初に製作した0号機は、主に電磁アクチュエータとリリースから構成される。電磁アクチュエータはコイルに電流を流すと可動鉄心が真鍮円筒の中に入り込む方向に力を受ける。この力を押弦部と弾弦部の駆動源として使用し、可動鉄心と連動したリリースを出し入れする。以下に押弦部と弾弦部の詳細を述べる。

2.1 駆動装置(図1)

電磁アクチュエータは、コイルに電流を流すと可動鉄心が真鍮円筒の中に入り込む方向に力を受ける。この力を押弦部と弾弦部の駆動源として使用している。

2.2 伝達装置(図2)

ワイヤリリースは、電磁アクチュエータの力を受けて、押弦部ではその先端に取り付けたゴムで弦を押さえ、弾弦部では突出ピンを出し入れて弦を弾く。

2.3 押弦部の構造(図3)

3個の電磁アクチュエータとワイヤリリースを1個のホルダで固定し、これを勘所の数(4箇所)セットしてある。

リリースの先端には弦をソフトに押さえる為ゴムを取り付け、電磁アクチュエータの下部には緩衝ゴムを取り付けてある。

2.4 押弦部の動作

電磁アクチュエータのコイルに電流を流すとアマチャによりリリースのワイヤを押し上げ押弦し、電流を切るとワイヤリリースの復帰用スプリングで押し戻され開弦する。なお、押弦時のワイヤ先端と弦との雑音や開弦時のアマチャと電磁アクチュエータとの追突音を防ぐために、緩衝ゴムを取り付けて、これを低減している。

押弦用の電磁アクチュエータは、ワイヤリリースを1個のホルダで固定し、4箇所勘所にそれぞれ3個セットずつ設置してある。

2.5 弾弦部の構造(図4)

仰向けにしたサンシンの3本の弦の上に3本のワイヤリリースの先端を配置し、ピン突出用の3個の電磁アクチュエータ(P1~P3)と弦に突出ピンを横から押し当てる2個の電磁アクチュエータ(S1, S2)で構成される。S1, S2のアマチャは鉄の棒を削って作った一体型となっているため、左右の動きをスムーズにするには、S1, S2の組立は精度を要する。

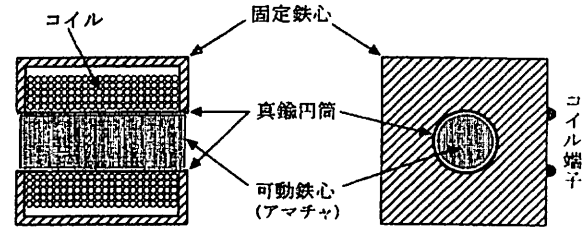


図1. 駆動装置 (電磁アクチュエータ)

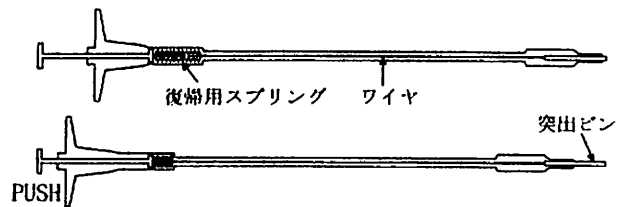


図2. 伝達装置 (ワイヤリリース)

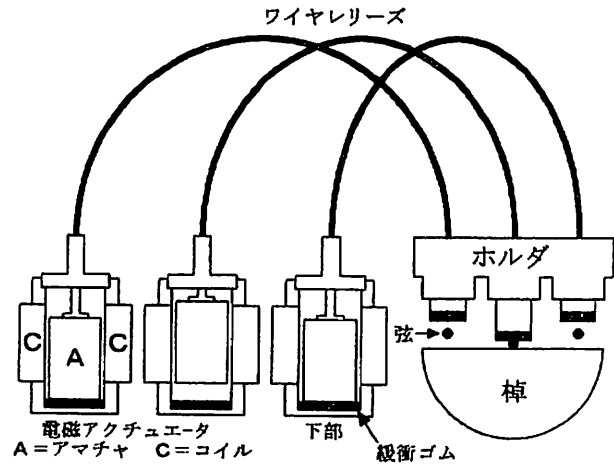


図3. 押弦部の構造

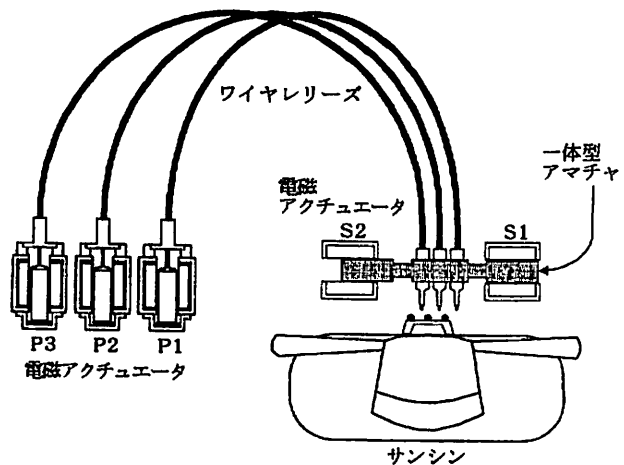


図4. 弾弦部の構造

2.6 弾弦部の動作(図5)

初期状態でS2 : OFF, S1 : ONでピンP1~P3は右側上方に位置している。次のタイミングで目的の弦(図5では第二弦)に対応したピン突出用の電磁アクチュエータ(P2)のコイルに電流を流し、そのピンを突出させた後、スライド用電磁アクチュエータS1をOFF, S2をONにして弦にピンを押し当てる。押し当てた電磁アクチュエータ(P2)をOFFにし、ピンを引き上げると弦が振動し音を出す。これらの動作を繰り返し演奏させるが、演奏タイミングの詳細については、後に述べる。

2.7 押弦部駆動回路(図6)

4 bitの押弦データはパソコン(MZ80B)のI/Oポートからデマルチプレクサ74LS154のABCDへ入力され、選択された出力だけLOWレベルになりインバータで反転されてトランジスタがONする。ONしたトランジスタは電磁アクチュエータのコイルに電流を流すので選択された勘所を押弦する。

2.8 弾弦部駆動回路(図7, 8)

リリース駆動用電磁アクチュエータはP1~P3でスライド用電磁アクチュエータはS1, S2である。

図8に示すタイミングで駆動する。①の状態から目的の弦に対応した電磁アクチュエータPn(P1~P3のどちらか1個)をONにし、T1の時間経過後に押弦変更を行い、T2の時間経過後にPnをOFFにして弾弦する。T3の時間経過後にS1, S2を元の状態にして、次の弾弦動作を行う。

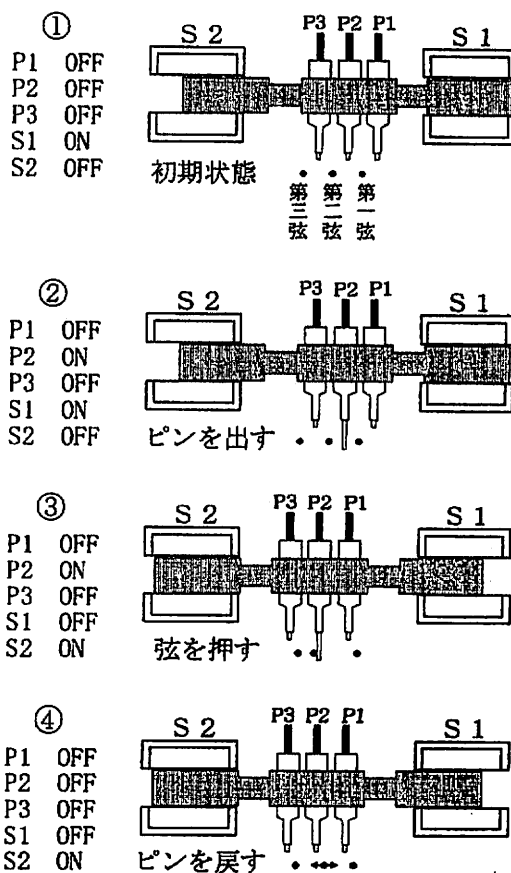


図5. 第二弦の弾弦

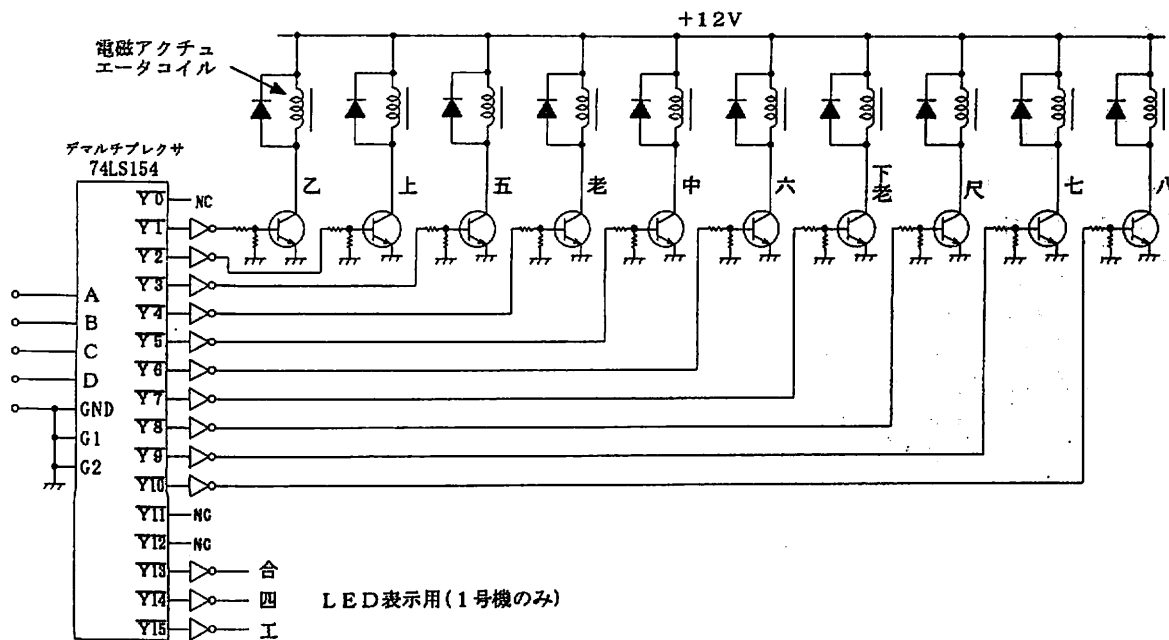


図6. あがさー0号, 1号押弦部駆動回路

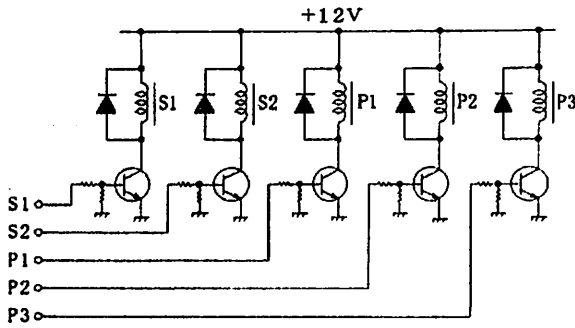


図7. あがさ-0号弾弦部駆動回路

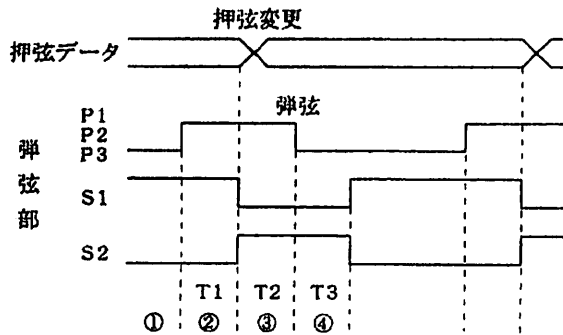
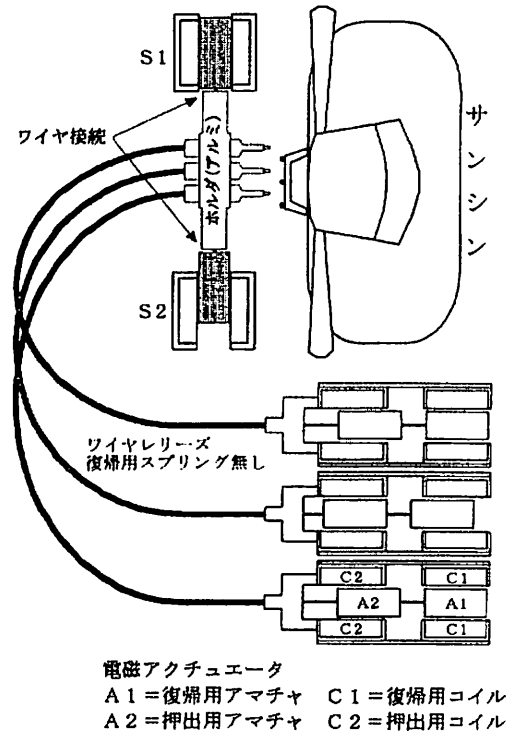


図8. あがさ-0, 1号弾弦部駆動タイミング



電磁アクチュエータ
A1 = 復帰用アマチャ C1 = 復帰用コイル
A2 = 押出用アマチャ C2 = 押出用コイル

図9. あがさ-1号の弾弦部

3. あがさ-1号(図10, 12)

0号機がサンシンを仰向けにした状態で演奏するのにに対し、1号機はサンシンを人が弾くように約30度位斜めに立てて演奏する状態にした。0号機のS1, S2のアマチャは鉄の一体型で、スムーズな動作をさせるには、その組立精度を精密にする必要があった。この問題を解決するために1号機では図9に示すようにS1, S2それぞれのアマチャとホルダ間を太さ1.5mmのワイヤで繋ぎ、遊びを作ることにより動作もスムーズになり、組立も容易になった。また、演奏形態変更により弾弦の方向が上下方向で重力の影響を受けるため、電磁アクチュエータはパワーの有るものを使用した。ワイヤリレーズは復帰用スプリングを取り去り、ピン突出用と復帰用の電磁アクチュエータを2個使用して弾弦の動作であるピンの復帰力を強くした。なお、押弦部と弾弦部の動作は0号機と特に変わらない。図10に全体構成を示す。パソコン(PC9801DA)のI/Oポートから押弦部及び弾弦部電磁アクチュエータ駆動回路へ制御信号を送り、図8に示す駆動タイミングで演奏を行う。

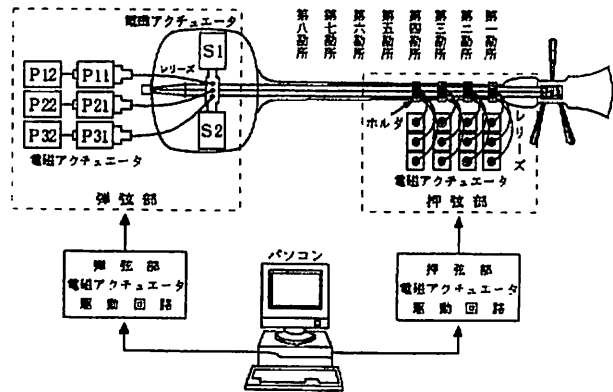


図10. あがさ-1号全体構成

4. あがさ-2号(図11)

0号機, 1号機が3本のワイヤリレーズのピンを、それぞれの弦に対応させ弾弦させたのに対し、2号機はステッピングモータMにより弦選択を行わせ、より人の演奏に近い奏法にすると共に、雑音減少のための改良も試みた。

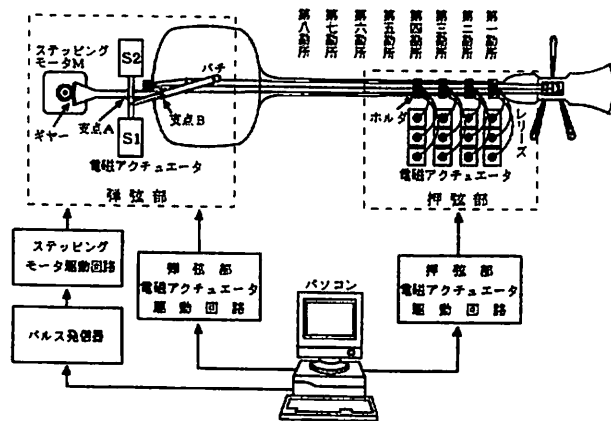


図11. あがさ-2号の全体構成

4.1 押弦部(図13)

0号機と1号機はワイヤーリリースがスプリングの力で復帰する時、電磁アクチュエータの下部にアマチャが当たって雑音を発生する。この雑音を除去するため2号機の押弦部では、開弦用(C1, A1)と押弦用の電磁アクチュエータ(C2, A2)を併用し、開弦と押弦を行い、ワイヤリリースの復帰用スプリングは取り去った。これにより重量は増えたが、アマチャがぶつかる部分がなくなり雑音を減少できた。また、高速動作も可能である。

4.2 弾弦部(図14)

ステッピングモータMを駆動源として使用することにより、任意の位置にバチを移動する事ができ、弦の選択が可能となった。弾弦は、選択された弦上で電磁アクチュエータS1, S2を弦に対して45度の角度でバチを移動して行い、バチは実際に使用されるプラスチック製のバチをカットして使用した。

弾弦の様子を以下に示す。(図15)

- (1) ステッピングモータMにより、目的の弦の位置にバチを移動する。①→②
- (2) 電磁アクチュエータS1をOFF, S2をONにして弦に対し45度の傾きでバチを移動させ弾弦する③
- (3) バチを復帰させるとき、再度弦に触れないようステッピングモータMによりバチを数mm(約3mm)右へ移動する。④
- (4) 電磁アクチュエータS1をON, S2をOFFにしてバチを復帰させる。⑤

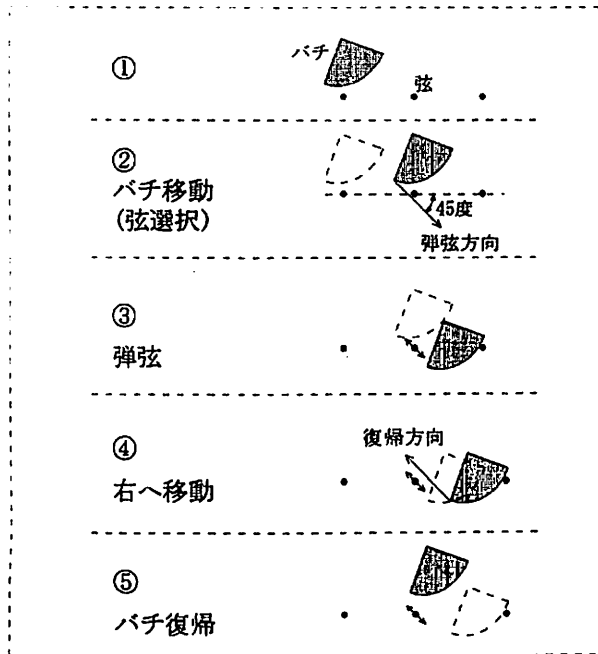


図15. 弾弦の様子

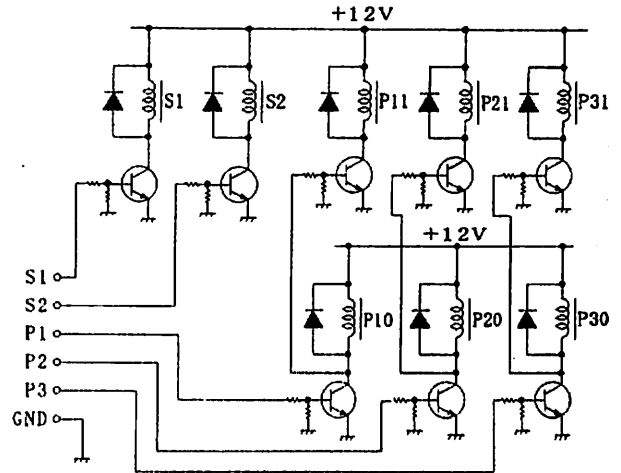


図12. あがさー1号弾弦部駆動回路

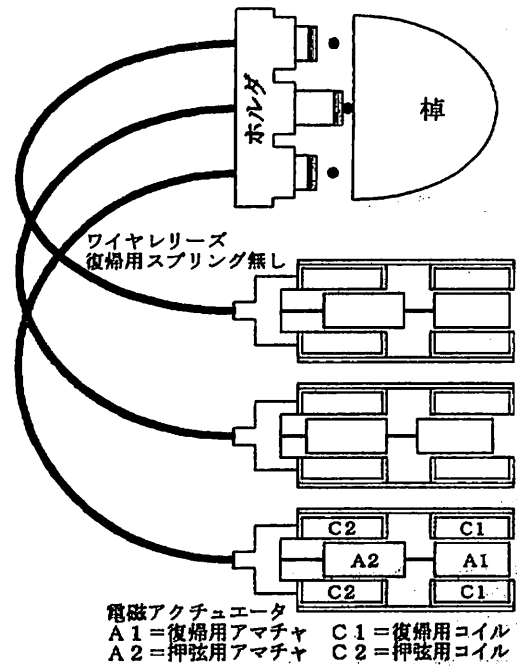


図13. あがさー2号の押弦部

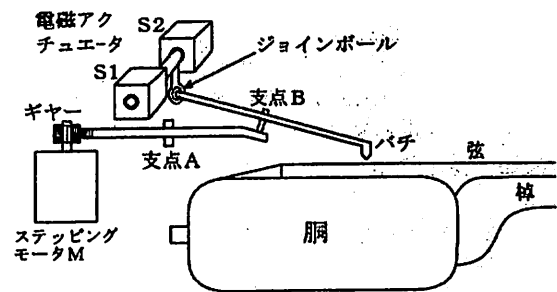


図14. あがさー2号の弾弦部

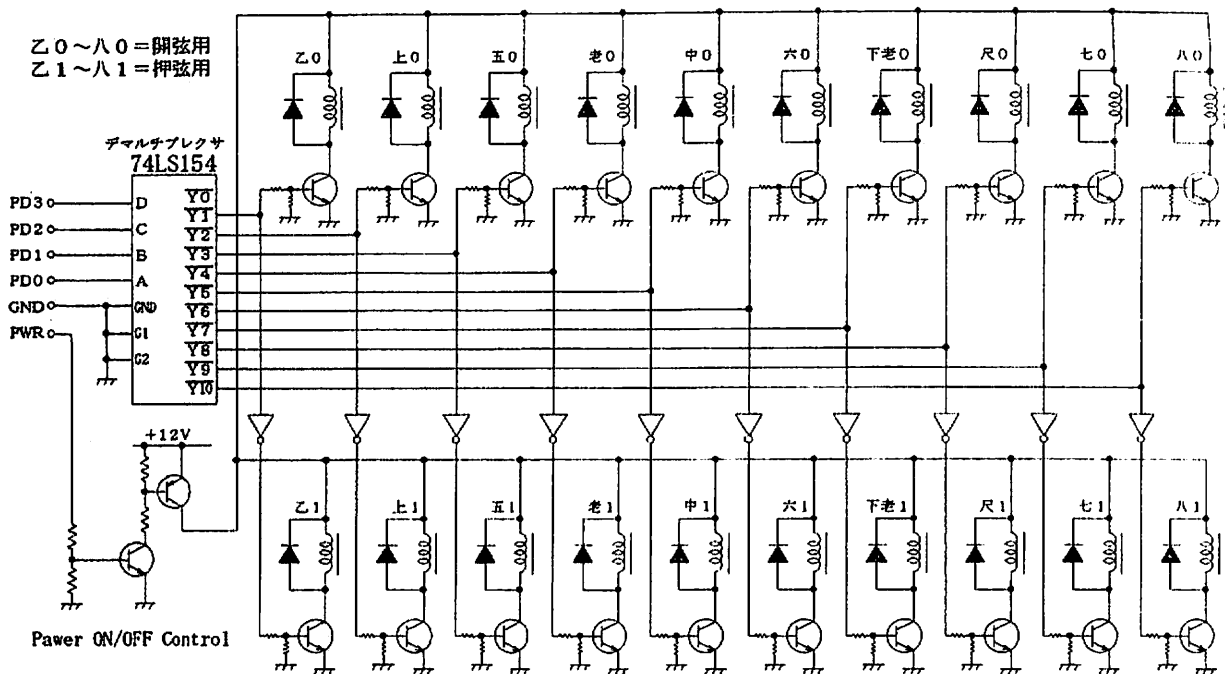


図16. あがさー2号押弦部電磁アクチュエータ駆動回路

4.3 押弦部駆動回路 (図16)

コントロール回路から出力される押弦データ (PD0~PD3) はデマルチプレクサに入力され、 $A+B+C+D \neq 0$ の場合は、押弦用 (乙1~八1) の一箇所の勘所だけONにし、その他は開放弦用 (乙0~八0) をONにする。 $A+B+C+D = 0$ の場合はすべて開放弦用がONで開放弦を弾く (合, 四, 工) ときである。また、電磁アクチュエータの電源をコントロールする回路を構成し、パワーダウン機能にも対応している。

4.4 パルス発信器およびパワーダウン回路 (図17)

ステッピングモータのパルス数、パルス幅、正転逆転、弾弦用電磁アクチュエータS1, S2のデータをコントロール回路より受け取り、モータと電磁アクチュエータを駆動する。ステッピングモータの駆動はROMのデータによりスルーアップスルーダウンも可能であるが、パチの移動距離が小さいため、その効果はあまり見られない。また、駆動信号が終了してから数十秒後にステッピングモータドライバーのHOLD OFFと押弦部のパワーダウンを行い、待機時のモータと電磁アクチュエータの温度上昇を防ぐ。

4.5 コントロール回路 (図18)

コントローラーに4 [MHz]駆動のCPU (Z80A) と256kbitのROMおよびRAMなどのワンボードマイコン入力側に起動時モード/選曲スイッチ (DSW1, 2)

PCからのデータ転送インターフェース (D-FF など)、パチ設定スイッチ、出力側にパチ移動距離、速度、方向、押弦データなどの出力 (D-LATCH) で構成される。

RESETスイッチでCPUをリセットするとZ80アセンブラで書かれたROMの演奏プログラムが起動する。PCのプリンタインターフェースから演奏速度や演奏タイミング等のパラメータをRAMへ送り、操作スイッチでパチを第1弦と第2弦の中間に移動して初期位置設定行う。なお、オートチューナ (調弦器) を使ってサンシンの調弦をする。PCから音符、拍子などの演奏データをRAMへ入力し、ステッピングモータのパルス数、周波数、S1, S2, 押弦データなどのデータに変換してパルス発信器およびパワーダウン回路へ送り演奏を行う。

また、1号機との同時演奏も可能である。

5. あがさー3号 (図20)

マイクロステップ駆動のステッピングモータを使用し、弦選択と弾弦を行うアルミ製のアームをステッピングモータの軸と直結して、強弱の演奏・連弾も出来るようにした。なお、パチの出し入れを行うために電磁アクチュエータS1, S2を支点で自由に動くプラスチックのアームに取り付けたが、遊びの部分は音の柔らかさに影響を与える。マイクロステップ駆動のモータは基本ステップ角を最大255分の1まで小さくでき、振動が非常に小さく、軸直結でギヤを使用しないので雑音が少ない。

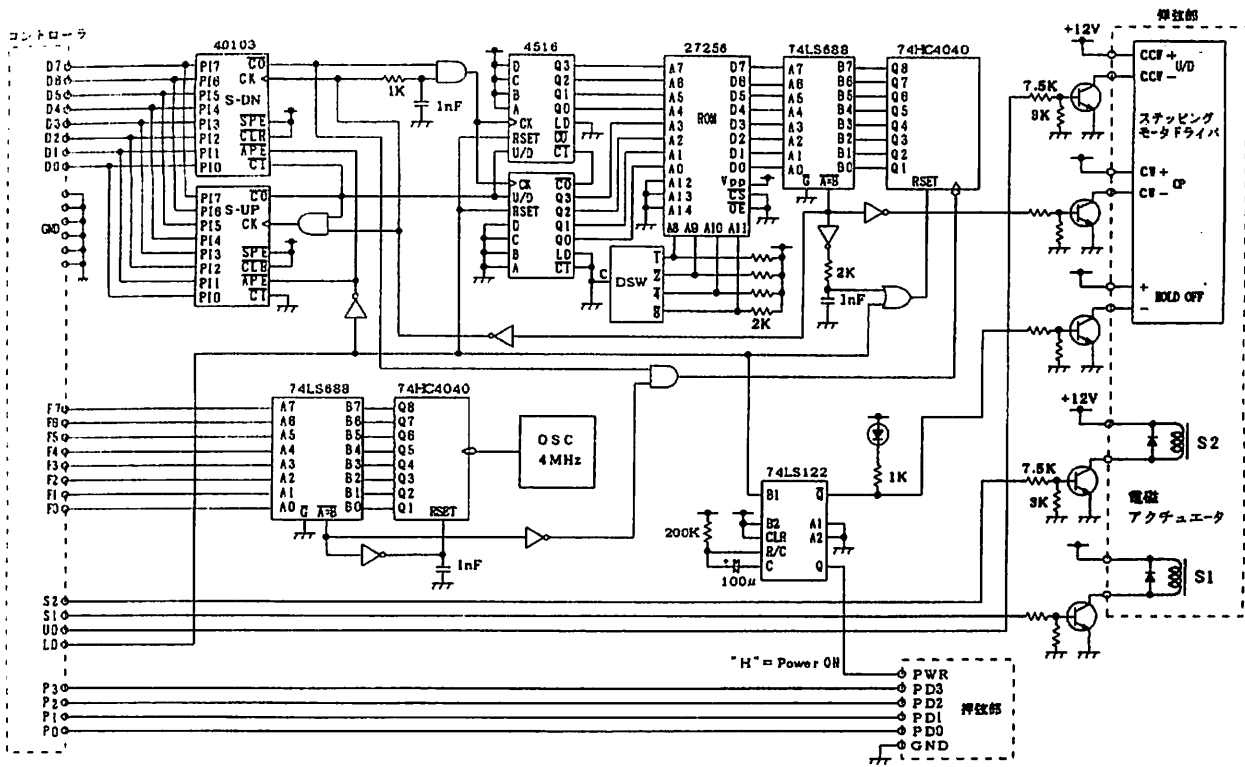


図17. あがさー2号パルス発信器およびパワーダウン回路

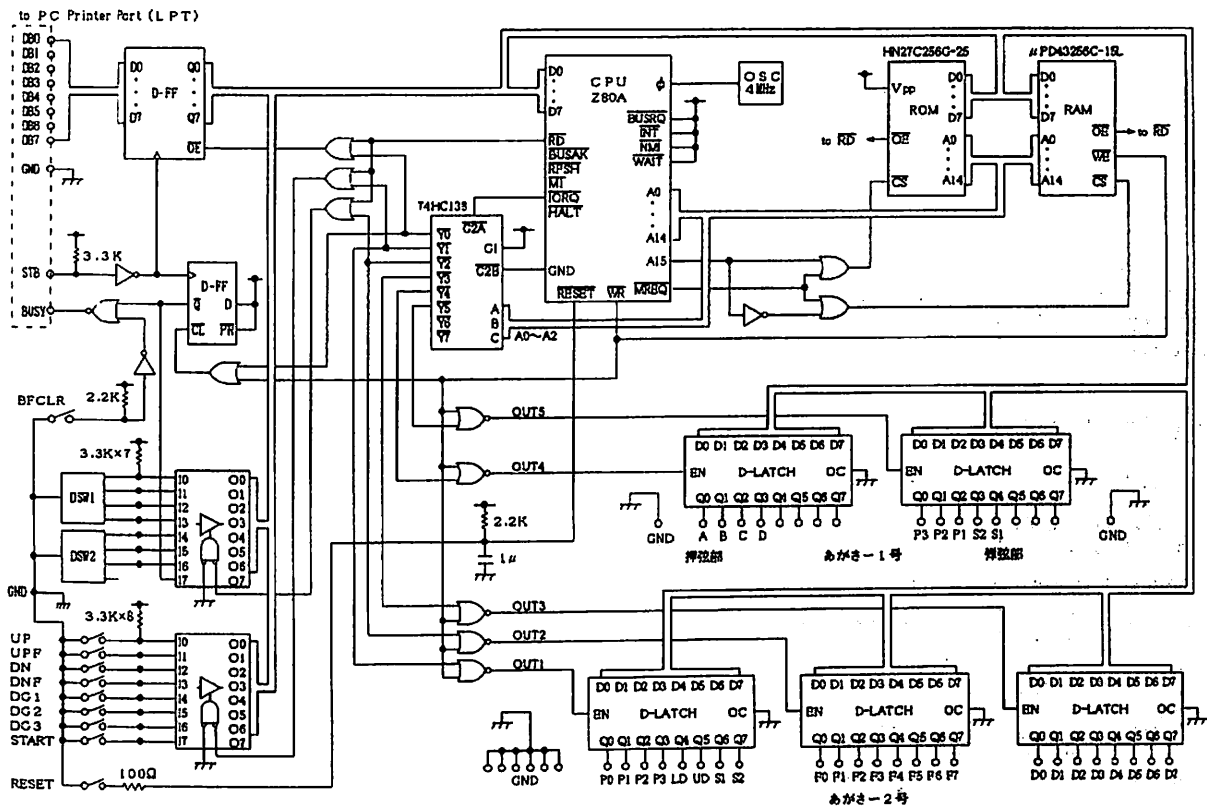


図18. あがさー1号2号コントロール回路

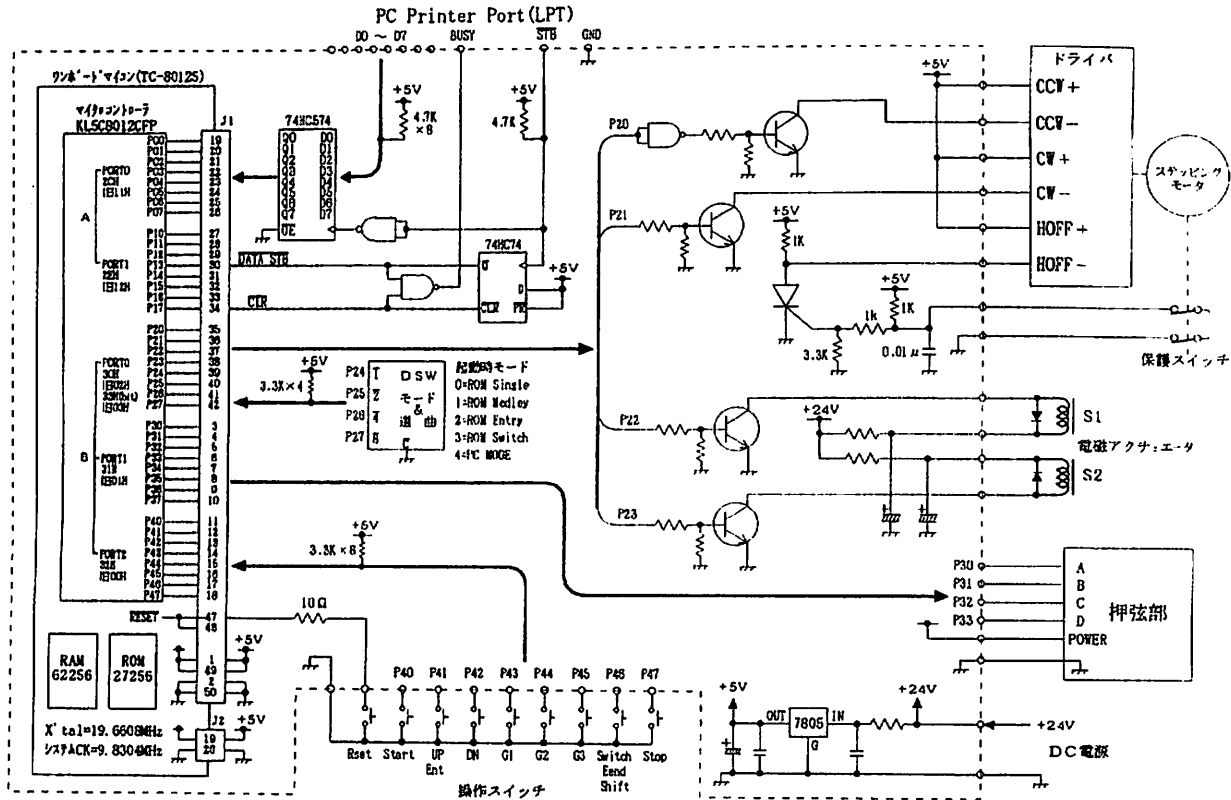


図19. あがさー3号コントロール回路

5.1 コントロール回路(図19)

Z80互換の高速処理マイクロコントローラを使用し、システムクロックが約10MHzでZ80A(4MHz)の約10倍のスピードがあり、ステッピングモータの駆動パルスプログラムで発生させ、パルス発信器を別回路で構成しなくても良い。モード&選曲スイッチは、起動時にモードスイッチで起動後はROMモード時の選曲スイッチになる。

操作スイッチはシステムのリセット、バチの初期位置設定、第1~3弦の弾弦テスト、曲目の登録演奏中断、など演奏に必要な各操作を行う。

5.2 動作原理と演奏タイミング(図20, 21, 22)

(1) ステッピングモータにパルス (PS) を入力しこれに直結されたアルミ製のアームにより弦選択と弾弦を行う。Z[ms]の時間をかけて弾弦の位置まで移動するが、Zは演奏速度と拍子(n)によって変化し(1)式により得られる。

$$Z = \text{TMP} / n - T1 - T2 - TD - T3 \text{ [ms]} \dots (1)$$

また、TD[ms]時間をかけてステッピングモータにパルス(SP)を入力し弾弦する。

なお、バチの移動は0.1[mm/step]であり、初期位置は、ほぼ第1弦と第二弦の中間にセットする。

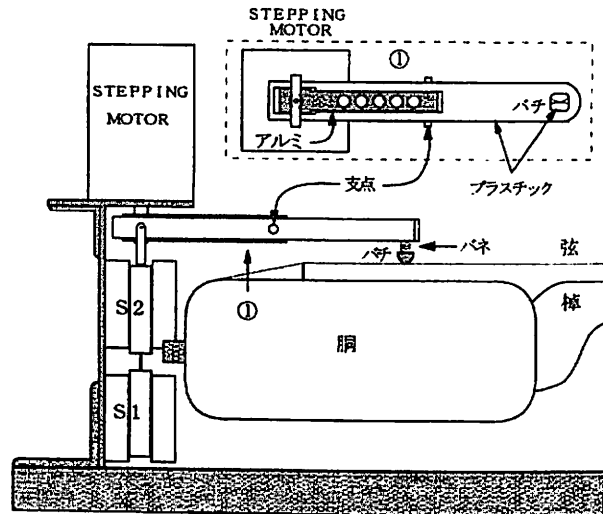


図20. あがさー3号弾弦部の構造

S 1	S 2	動作説明
ON	OFF	バチUP (弦選択時バチが弦に触れない)
OFF	ON	弾弦 (バチを深く挿入し通常の音を出す)
ON	ON	弱音 (バチを浅く挿入し弱い音を出す)

図21. バチの制御

(2) 弦選択後、電磁アクチュエータS1, S2によりバチを弦の間に挿入するがS1, S2のON, OFFの組合せにより、挿入の深さを変える事で音の強さ(強音・弱音)を変えることが出来る。

電磁アクチュエータ(弾弦部:S1, S2, 押弦部:PS)の動作は、RL時定数と鉄心の慣性のためどうしても時間遅れが発生し、演奏速度にも影響を与える事になる。T1, T2, T3の待機時間はこのために必要となるが使用電圧を操作してスピードアップを図っており、現在100[ms/音]の演奏が可能である。

なお、TMPは演奏速度、nは拍子(1=1拍, 2=1/2拍, 3=1/3拍...)でありT1, T2, TD, T3[ms]は曲によって与えられる固定の値である。

演奏は、初期位置から始まり、弦選択、バチ挿入、押弦、弾弦、バチ復帰、弦選択の操作を繰り返して行われるが、特殊な奏法として、打音(押弦のみで音を出す)、掛音(弦を下から上へ弾く)、列弾(複数の弦を弾く)などが可能である。

6. まとめ

近年、生産のためのロボットと種を異にし、人を楽しませるアミューズメントロボットが注目されるようになってきた。本論文では、琉球芸能の中心的役割を果たしてきた代表的な楽器であるサンシンを演奏するアミューズメントロボットのハード部分について細述してある。

0号機は演奏ロボットが、どの程度演奏可能であるか、とにかく演奏をさせてみようとして制作したもので、サンシンを仰向けにして、その上に押弦部と弾弦部を配置した。1号機は人が演奏するようにサンシンを約30度立てて演奏させた。2号機は弾弦部の弦選択用にステッピングモータとギヤを使い、人と同じようにバチで弾くようにした。3号機はマイクロステップ駆動のステッピングモータでギヤを使わずにアームと直結した。0~3号機は、かぎやで風節(ゆたりした曲)からカチャシー(早弾き曲)まで幅広い曲の演奏が可能である。0号機から3号機にかけて主に弾弦部の構造を改良してきたが、押弦部についても改良を加え雑音についてもかなり改善されてきた。演奏技術としては強音、弱音、打音、掛音、列弾などが可能で演奏速度は100[msec/音]まで弾く事ができ、拍数の変更も可能である。1号機と2号機は同時演奏が可能で、1995年11月に日本ロボット学会主催の「ロボット音楽会」で各演奏ロボット(バイオリンフルート、トランペット、サクソフォンなど)と「蛍の光」の同時演奏など共演した。[9]

なお、本ロボットは技術の民間移転の形で製品化第1号機を製作し、那覇市の沖縄ホテル(那覇市観光ホテル旅館事業協同組合)に納品・設置され(1996年11月)沖縄観光の目玉として一役を担っている。「サンシンの日」の番組出演、「沖縄県産業まつり」、「青少年科学作品展」など様々なイベントで興味の的であり、アミューズメントロボットとして「人を楽しませ、安らぎを与える等」の役

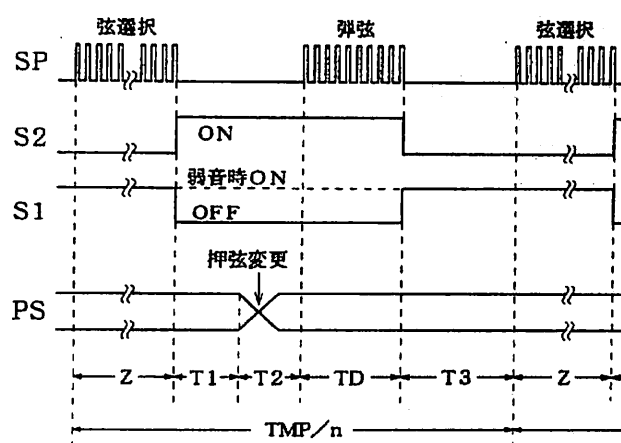


図22. 演奏タイミング

割は果たしていると思われる。なお、実用化のためには、低価格化、操作法の簡略化、軽量化(搬送のしやすさ)など考慮する必要がある。

謝辞

この研究の一部は平成5年度から9年度までの文部省科学研究費補助金による。

参考文献

- [1] 特集:感性とロボット, 日本ロボット学会誌 Vol. 17 No7, 1999年10月
- [2] 特集:21世紀の玩具とロボティクス 日本ロボット学会誌, Vol. 18, No2, 2000年3月
- [3] 井口信洋:アミューズメントマシン オーム社, 1994年
- [4] 山城, 伊波:沖縄&サンシン演奏ロボット 支部のページ, 電気学会誌Vol. 118-9, P-541 1998年9月
- [5] 田辺尚雄:三味線音楽史, 柏出版, 1975年
- [6] 矢野輝雄:沖縄芸能史話, 榕樹社, 1993年4月
- [7] 伊波, 山城:サンシンの自動演奏に関する研究 (1), 電気関係学会九州支部連合大会 1202, 1992年10月
- [8] 伊波, 山城:サンシン(沖縄三味線)演奏ロボットに関する研究(1), 日本ロボット学会学術講演会, 2337, 1994年11月
- [9] 伊波, 山城:サンシン(沖縄三味線)演奏ロボットに関する研究(2), ロボット音楽シンポジウム, 5A2-0-2, PP17-18, 1995年11月
- [10] 伊波, 山城:「サンシン演奏ロボットについて」解説, 日本ロボット学会誌PP18-21, Vol. 14 No2, 1996年3月
- [11] 伊波, 山城:サンシン(沖縄三味線)演奏ロボットに関する研究(3), 日本ロボット学会学術講演会, 2A2-1-4, 1996年11月
- [12] 見里朝慶:琉歌の研究, 文教商事, 1989年7月
- [13] 宮城嗣周:「嗣周・歌まくら」, 那覇出版社 1987年2月