

いわき伝統芸能じゃんがらロボットの開発

Development of Jyangara Robot of the Iwaki Traditional Performing Arts
鈴木 茂和・廣川 綾子*・大和田 光宏**・渡辺 昇***・佐東 信司
福島工業高等専門学校 機械工学科

*福島工業高等専門学校 専攻科機械電気システム工学専攻学生（現：福島キヤノン）

**福島工業高等専門学校 機械工学科学生（現：福島工業高等専門学校 技術部）

***福島工業高等専門学校 技術部

Shigekazu Suzuki, Ayako Hirokawa*, Mitsuhiro Oowada**,
Noboru Watanabe** and Shinji Sato

Fukushima National College of Technology, Department of Mechanical Engineering

*Fukushima National College of Technology,

Advanced Course in Mechanical and Electrical System Engineering

**Fukushima National College of Technology, Department of Mechanical Engineering

***Fukushima National College of Technology, Technical office

（平成20年9月25日受理）

This paper describes development of Jyangara robot of the Iwaki traditional performing arts. The Jyangara nenbutu odori is danced while a young man appeals for a Buddhist invocation according to the rhythm of drum, bell and lantern. This research aims at creating the new souvenir article of Iwaki. The Jyangara robot consists of three kinds, drum robot, bell robot, and lantern robot, and is 300 mm high. The Karakuri mechanism is applied to operation of a robot. One motor is installed for stable operation. The results are follows; The robot, which announces performance for 60 seconds, completed. It made from the transparent box which can see the Karakuri mechanism. It became possible by having robotized the local traditional performing arts of Iwaki city to achieve a local contribution.

Key words: robot, traditional performing arts, jyangara, karakuri

1. 緒言

福島県には各地に代々受け継がれてきた数多くの地域伝統芸能が残っている。これらは無形の文化財であることから、途切れることなく次の世代に伝承することが重要である。仮に一度消えてしまった地域伝統芸能を復活させることは非常に困難を伴うことから、地域によっては映像による無形文化財の保存を行っている団体もある¹⁾。

いわき市の地域伝統芸能には「じゃんがら念仏踊



Fig. 1 The Jyangara nenbutu odori

り」がある。その様子をFig. 1に示す。じゃんがら念仏踊りは太鼓と鉦のリズムに合わせて若者が念仏を唱えながら踊るものである。いわき地方出身の浄土宗の僧、袋中上人が民衆に広め、沖縄県の伝統芸能エイサーのルーツとも伝えられている。現在、いわき市内で約100の団体がじゃんがら念仏踊りを継承している。それぞれの団体の特徴を出すため太鼓のリズム、鉦の叩き方や歌の節回しなどが少しずつ違っている。毎年、お盆の時期の夕方には、各地の集会所などでじゃんがら念仏踊りの練習をする音が聞こえてくる。現在は地域の青年会に所属する若者の減少に伴いじゃんがら念仏踊りを演じる団体も減少傾向にあり、次世代のために有形での保存が求められている。

また、いわき市のお土産品としては、魚介類やお菓子などの食品が主流であり、形として残るお土産品が求められており、新たなお土産品が創出されれば地場

産業活性化及び観光客増加の一因となると考えられる。

本研究ではじゃんがら念仏踊りのロボット化を目的とする。じゃんがらロボットは市役所や公共交通機関、観光地などに設置するための子供とほぼ同じ大きさの大型ロボット、市役所のカウンターや商業施設の中に設置するための中型ロボット、お土産品として商品化する小型ロボットの3種類の開発を目指している。本論文では卓上型の中型じゃんがらロボットの開発について述べる。最近のロボットは電子制御が多用されて構造が複雑化しており、子供達はどのようにロボットが動いているのか理解することは難しい。そこで、本研究において製作する中型じゃんがらロボットは小中学生でも動作原理が理解でき、モノづくりに興味を持てるように日本古来の伝統技術であるからくり機構を基本とした。

2. じゃんがらロボットのモデル化

2.1 ロボットの構成

じゃんがら念仏踊りは太鼓、鉦、提灯を持って踊るので、ロボットも太鼓、鉦、提灯の3種類を製作する。

この3種類のロボットをそれぞれ、太鼓を演奏する「太鼓ロボット」、鉦を演奏する「鉦ロボット」、提灯を持って踊る「提灯ロボット」と呼び、演技する人形部分を「人形部」、動きを制御する機構部を「駆動部」と呼ぶ。設計には3次元CADを用いて各部品を設計した後に、動作解析を行い、ロボット全体での動作確認を行った。

2.2 太鼓人形部の設計

じゃんがら念仏踊りの中で太鼓の動作が最も複雑であることから、最初に困難なロボットを製作し、完成した後に簡略化することを計画し、太鼓ロボットの設計から始めた。太鼓ロボット人形部の3次元CADモデルをFig. 2に示す。人形の動作は、手足等に連結された糸を下から操る「糸からくり」方式を採用した。各関節は、Fig. 3に示すようなテフロンチューブに通した釣糸が結ばれており、釣糸を引くことによってその関節が稼動する。これは、自転車のブレーキの機構と同様に、釣糸をテフロンチューブに通すことで、繋がれた関節以外の関節の動きが糸を伸縮させ、誤作動防

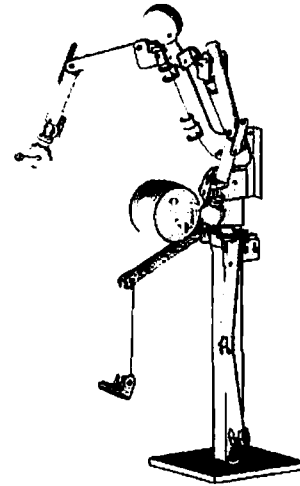


Fig. 2 Drum robot



Fig. 3 fishing line and tube for movable joint

止のためである。

太鼓ロボットは当初、関節自由度(Degree of Freedom : DOF)を16自由度と設定し設計を行った。しかし、試作品での動作確認の結果、動きが小さいと明瞭な踊りとして認識することが困難となるため、ロボットの動作を増幅させることが必要となった。この結果、構造の簡略化及び大きな動作を実現するために、関節の動作を左右腕前屈(2自由度)、左右腕側屈(2自由度)、腰前屈(1自由度)、腰側屈(1自由度)、左右足前屈(2自由度)とし合計8自由度とした。

腕の前屈と側屈機構はFig. 4に示すように、側屈用の軸に前屈用の部品が結合した形状とした。前屈用の部品は側屈用軸に対して少し角度を持たせて取り付けであり、この角度によって腕が太鼓を捉えることを可能とした。人間の肩は3自由度(上下、左右、回転)であるためロボットの肩は回

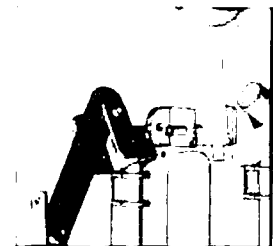


Fig. 4 Mechanism of arm lateral bending

転の自由度が1つ少なくなる。そのため、この角度によりその狭い可動範囲を太鼓に合わせて補った。

腰の側屈では、糸を引くトルクを軽減するため、縦方向の回転となるレバーに連動させ、レバーをFig. 5の矢印で示す2方向から糸で操作する機構とした。この時、小型ユニバーサルジョイントを2個用いてレバーと腰部を連結した。腰の前屈など自重で一方向に荷重の加わっている関節は1本の糸で稼働できるが、重力に逆らうような関節の動作では、稼働のために引く糸と、元の角度に戻す糸の2本の糸が必要となる。バネを用いて元の角度に戻し、引く為に使用する1本の糸だけで稼働させる実験も行ったが、糸を引く為に大きなトルクが必要となり、ロボットに適していないことがわかった。

稼働する関節以外にも、稼働関節に従動する関節や、ねじなどによって角度を変えることのできる関節を設けた。例えば、足首とひざの関節は、足の前屈運動に従動し、自然な動作を表現する。手首やひじ、足の付け根の関節は可変関節とし、人形のポーズを調整することができる。

2.3 鉦と提灯人形部の設計

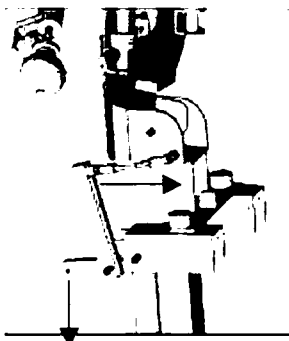
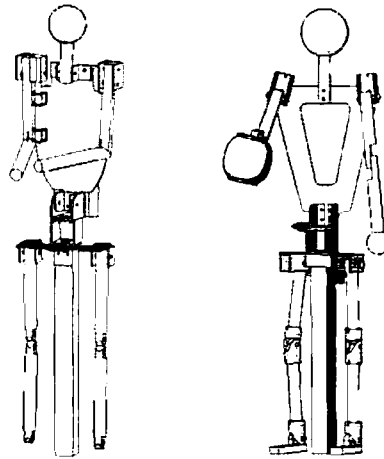


Fig. 5 Mechanism of arm lateral bending

鉦と提灯ロボットの人形部は、太鼓ロボットと基本的には同じような構造とし、それぞれの踊りに合わせ単純化した構造設計を行った。設計した鉦と提灯ロボットの人形部をFig. 6に示す。

2.4 動作のモデル化

いわき市菅波青年会の協力により、人の流れ、太鼓演奏者、鉦演奏者、提灯演奏者の練習時の踊りを撮影し、その映像を解析して各関節の動きを数値化した。じゃんがら念仏踊りは短くても15分以上かかる。それ



(a) Bell robot (b) Lantern robot

Fig. 6 Designed bell robot and lantern robot

を忠実に再現しようとする機構が複雑になる。このため、市民にロボットが動き出してから止まるまで見続けてもらうには1~2分の動作が適しているものと考えられる。

そこで、からくり機構で実現可能な範囲であり、じゃんがらロボットの一連の動作を見て飽きないと考えられる1分間の演技にまとめた。ロボットの動作は前半と後半に分け、Table 1のようにモデル化した。

Table 1 Motion of robots

Drum robot	Bell robot	Lantern robot
① Shake an arm alternately. The robot slouch in the rhythm. The robot's right and left leg move alternately. The robot shows operation that walks.	① The waist is lengthened and a bell is sounded according to a rhythm. A leg is shaken forward and backward alternately with right and left.	① It bows and a lantern is shaken slowly up and down. Tempo is a half of a drum and a bell.
② The waist is folded, a drum is held and the arm of another side strikes a drum finely.	② The waist is folded and a bell is sounded according to a rhythm. A leg is replaced whenever it sounds a gong twice.	② A robot slouches.

2.4 駆動部の設計

ロボットは当初、からくり機構を用いることから動力源をぜんまいと仮定した。しかし、動力源にぜんまいを用いてロボットを動作させるには、ぜんまいのトルクを制御し、回転数を一定に保たなければならないため、時計の振り子の原理を応用した天符と言う调速機構を組み込む必要がある。また、稼働させるにはぜんまいを巻かなければならないので、ぜんまいが逆回転しても支障のない機構とするか、ラチェット機構のように、ぜんまいを巻く方向の回転を空転させる機構を付加する必要がある。さらに、ぜんまいの回転を開始させるための機械的なスイッチが必要となる。最初に設計した駆動部ではスイッチ用のカムを用いる機構としたが、それは動作中に緊急停止できないため、さらに緊急停止用のスイッチが必要となる。このようにぜんまい駆動には複雑な機構が多く必要となる。モーター駆動では、これらの機構が電気制御によって行なわれるため、駆動部は主にカムとリンクのみで構成することができる。また、ぜんまい駆動では長時間の運転が難しく、トルクはすぐに低下し、一定の回転数が保たれない問題がある。そこで、安定した高トルクを一定時間持続させるため、からくり機構にモーター1個を付加し、からくり技術と現代技術を融合する構造とした。

駆動部の3次元CADモデルをFig. 7に示す。人形の稼働にはカム-リンク機構を用いた。可動関節に対応したカムを用いることで、人形のスムーズな稼働を行うことが可能である。また、外装は内部機構が外から見えるように、全面にアクリル板を用いる。

原動機であるモーターからタイミングベルトでカム軸にトルクが伝動され、カムが回転する。カムに従動するリンクはカムの凹凸に沿って揺動し、リンクに

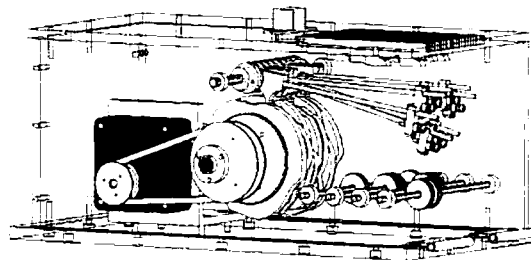


Fig. 7 Drive assembly

結ばれた糸が引かれて、人形が稼働する。その詳細な機構をFig. 8に示す。人形に繋がれた糸とチューブは、人形の支柱内部を通り、駆動部筐体上面に固定されたチューブ止めで穴内部の段差でチューブが固定される。そして糸だけがチューブ止め内部を通り、糸車を介してリンク先端の糸固定部に結ばれる。このように、リンクがカムによって上方向に押されると糸が引かれることになる。リンク先端の糸固定部には糸を巻き取る機構があり、糸巻きねじを回転させることによって糸の張力を調節できる。糸巻きねじはM3のねじに、ワイヤー放電加工機により約0.5 mmの溝を加工してある。糸はその溝を利用してねじに固定され、巻取りを可能とした。張力を一定に保つためには糸巻きねじを固定する必要があるが、金属ナットではリンクの上下運動による振動ですぐに緩み、糸が解けてしまうためゴム製ナットを製作した。

設計したカム-リンク機構は、カムとの接触部断面が直径3 mmと細いため、複雑なカム形状でも正確に追従することが可能となった。

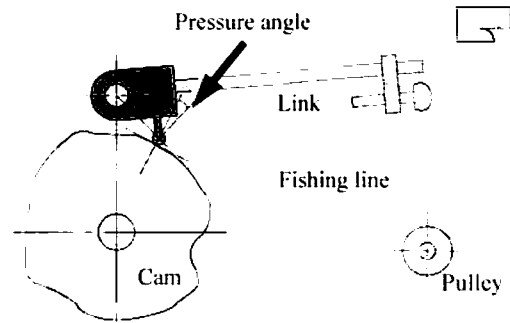


Fig. 8 Cam-linkage mechanism

2.5 カムの形状設計

カムは任意形状を持った機械要素であり、従動節との直接接触によって相手側に任意の運動を与える要素である²⁾。ロボットに使用するカムは複雑な形状を有し、人形の動作を記憶させる媒体である。詳細な動作を再現しようとする複雑な凹凸が繰り返され、圧力角(カム軌道面の法線と従動節の運動方向とのなす角)が大きくなりカムを回転させるためのトルクが増大する。そこで、カムの回転トルクを低減させるため圧力角が小さくなるような形状設計をした。

カムの形状設計は以下の手順で行った。ここで、カム角度は $0\sim 360^\circ$ までのカムの位置を示す値である。リンク角度は、カムの回転中心とリンクの回転中心間の距離及び、それぞれの大きさから $0\sim 18^\circ$ の変位角とした。

- (1) カム形状を描くため、カム角度-リンク角度線図を作成する。
- (2) カムが1周するのに要する時間を30秒とし、単位時間あたりに回転する角度を算出する。
- (3) 30秒に編集したビデオ映像を解析し各関節の変位量と時間を決定し、各関節における時間-変位曲線を作成する。
- (4) 各関節における時間-変位曲線からカム角度-リンク角度線図を作成する。
- (5) 作成したカム角度-リンク角度線図を基に、カム形状をCAD上で描画する。中心線、カム形状最大及び最小円、角度等分割線を描いたテンプレートを作成する。角度等分割線はチャートのカム角度と対応し、約 4° ごとに描いた。このテンプレートに、カム角度-リンク角度線図上の値を点としてとり、その点と点を曲線で結び、カム形状を描く。

2.6 ロボット連動機構の設計

ロボットがじゃんがら念仏踊りを演じる時、その場に立ち止まったまま演じると躍動感が得られないので、Fig. 9のような3体のロボットを載せる台座に各ロボットを下から連動させる機構を搭載した。この連動機構によって、各ロボットの踊りとは別に、ロボット全体が前後左右に移動するという大きな動きを加えたことで、見応えのある動作を実現した。

連動機構は1個のモーターを動力源とし、リンク装

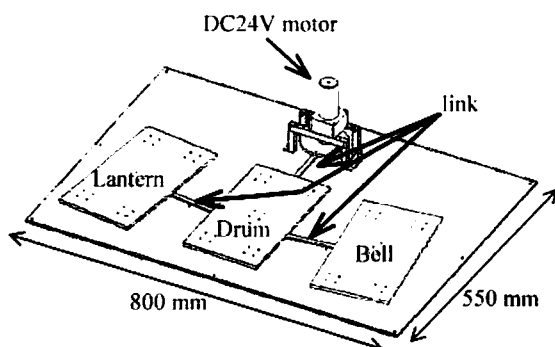


Fig. 9 Robot sequential mechanism

置によって3体のロボットが連動して移動する。

2.7 制御系の設計

じゃんがらロボットでは、太鼓・鉦・提灯ロボットに各1個、連動機構に1個の計4個のモーターを使用している。ボタンを押すと、4個のモーターが同時に作動し、各ロボットはカムが2回転したことを感知した時点で停止し、台座のモーターは3体のカムがすべて停止した事を検出した後に停止するように設計した。

入力電源はどこでも使用できるようにAC100Vとし、モーター駆動用電源のDC24Vと回路用電源のDC5Vに、2個のアダプターを使用して変換した。カムが2回転して停止させる為には、カムの回転数を計る必要がある。そのため、カム軸に小さく溝の切られた黒い円盤を取り付け、フォトインタラプタによりその溝を感知することで、回転数を計測する。円板を黒く塗るのは、反射光などの外乱による誤作動を防ぐためである。

制御用マイコンには「PIC16F876」（周辺機器接続制御用IC）を使用し、モーターの駆動にはモータドライバ「TA8440HQ」を用いて増幅した。

3. じゃんがらロボットの製作と評価

3.1 人形部の製作

3次元CADによるモデリング後、そのデータを基に各 부품の製作を行い、じゃんがらロボットを組み立てた。Fig. 10に完成した3体の人形と各関節を示す。組み立て、調整、改良を重ね、太鼓ロボットは8自由度、鉦ロボットは5自由度、提灯ロボットは5自由度で滑らかに動作させることができた。

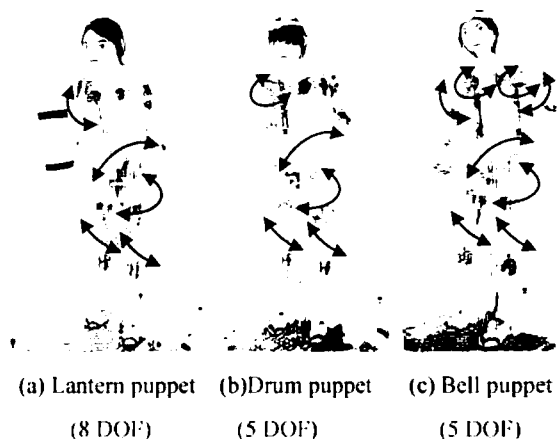


Fig. 10 Completion puppet and joints

3.2 カムの製作

当初はカムをアルミ薄板により製作したがリンクとの摩擦抵抗が大きすぎたため、摩擦抵抗が少なく強度の大きなエンジニアリングプラスチックであるポリアセタール樹脂を用いて、カム回転必要トルクを軽減させた。カムの形状加工は汎用工作機械では困難であることから、CADで設計した形状を原寸大で印刷し、被加工物に貼り付けて、バンドソーで荒削りした後手仕上げを行って製作した。

3.3 じゃんがらロボットの完成と評価

じゃんがら念仏踊りを演じている雰囲気強調するため人形の装飾を行い、可動式台座に3体のロボットを載せて完成したじゃんがらロボットをFig. 11に、駆動部をFig. 12に示す。人形部の高さは300mmである。3体のロボットが同調しスムーズな動作を行い、60秒間演技を披露し目標の動作を達成することができた。

完成したじゃんがらロボットの市民による評価は、駅前再開発披露式典・本校高専祭・市役所ロビー等への展示とアンケート調査で行った。この結果、96%が「いつでも見られると良い」、90%が「じゃんがらロボットに興味がある」、97%が「じゃんがらロボットがあると良い」、95%が「いわき市の観光産業へ役立つ」との回答を得た。市民がじゃんがら念仏踊りに高い関心を持っていると同時に、じゃんがらロボットのように、いつでも、どこでも、地域伝統芸能を見ることが出来るロボット開発が望まれていることが明確になった。また、お土産品としての市場性については、じゃんがらロボットの購入希望年代は30代以上で、価格は1万円程度が望ましいことも分かった。

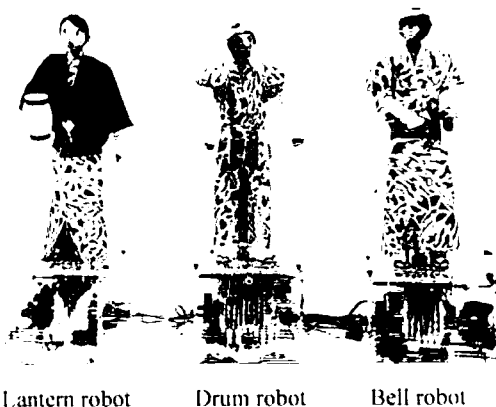


Fig. 11 Completion robot



Fig. 12 Completion figure of drive assembly

じゃんがらロボットが県内のテレビ生放送や新聞で大きく取り上げられたことから、じゃんがら念仏踊りをする「じゃんがらロボット」の知名度が広域にわたって向上し、福島高専におけるモノづくり教育の実例を公表することができた。

理工系離れの子供にもロボットの動作機構が直視できる作品であるため、今後は伝統芸能やモノづくりに興味を持つ若者が増えることを期待したい。

4. まとめ

- 1) いわき市の伝統芸能じゃんがら念仏踊りを主にからくり機構でロボット化し、60秒間の演技を披露することができた。
- 2) 人形の大きさは300mmで、太鼓ロボットは8自由度、鉦と提灯ロボットは5自由度の関節動作で人間に近い踊りを再現できた。
- 3) からくり機構にモーター1個を導入することで、安定した踊りを持続することを可能とした。
- 4) 駆動部のからくり機構が見えるように透明の筐体で、モノづくりへ興味を持たせるような構造とした。
- 5) いわき市の地域伝統芸能をロボット化したことによって、いつでも、どこでも、地域伝統芸能を披露することができ、地域貢献を果たすことが可能となった。

参考文献

- 1) 山本博男, 柴田雅春, 田中克枝: 「あわら踊り」指導におけるCAI活用の事例的研究, 金沢大学教育学部紀要(2004)
- 2) 鈴森康一: ロボット機構学, コロナ社(2004)