

茶運び人形製作

ものづくりプロセスの習得

近畿ポリテクカレッジ
(近畿職業能力開発大学校)

機械システム系

亀山寛司・長渡康幸・大園宏幸・政宗克美

生産技術科

松浦利徳・阪口智哉・藤本裕之・中谷豊和・伊納了平・横矢辰徳

制御技術科

園崎和洋・三原弘法・堀谷祐輔・蓮池 亮・新川 護

1. はじめに

ロボフェスタ関西2001(7/20~29 大阪国際会議場にて開催 <http://www.robokansai.gr.jp/>)は21世紀の幕開けとなる2001年(平成13年)に、ロボットを主題とする世界初のイベント「第1回ロボット創造国際競技大会」(愛称:ロボフェスタ)の開催が国において計画され、大阪府を中心とする関西地域での開催が、神奈川県と並んで決定している。

この大会の開催を通して、人々の科学技術に対する理解と関心を深め、また、科学技術と人間が共生する近未来のモデル社会を提案し、輝かしい21世紀へとつなげていくため、関西の産・学・官が一丸となって開催に向けての取り組みがスタートしている。科学技術のさらなる発展が望まれる一方で、とりわけ次代の担い手である青少年の間に、「理工系離れ」の傾向が見受けられ、人類の将来を考えると、たいへん気がかりである。青少年の科学技術に対する興味を喚起するためには、科学技術の原点である「ものづくり」の楽しさと素晴らしさを体験できる機会を提供し、創造性と主体性を涵養していくことが重要であり、そのための有効な手段として、ロボットによる競技会が大きな注目を集めている。大会ではロボット競技会・ロボットイベント・ロボット展示会・国際フォーラムなどが計画されている。そのなかの一つとして東西のあらゆるジャンルの「からくり」を展示し、江戸時代から受け継がれてきた技術や文化に触れながら、これからの科学技術のあり

方を考えるコーナーがある。これに共鳴し、作品展示・製作過程のパネル展示によりものづくりの重要性というメッセージを発信することを目標として、茶運び人形の復元を試みた。

ポリテクカレッジ高知の先輩たちの三次元CAD/CAM/CAEシステム利用による茶運び人形製作活動(1996年)に驚きこれに取り組むことにした。日本最古のロボット製造技術書「機巧図彙」(1796年細川半蔵頼直著)、過去の資料から問題点や課題を実際に見つけ出してグループで新しく工夫を凝らした三体をアルミ合金製で製作しようと、お互いの意識統一を図った。

以下に茶運び人形の設計製作過程の概要について報告する。20歳の学生たちの取り組み・生の感想を紹介する。2000年夏のロボフェスタプレ大会参加の様相(大阪国際会議場)を図1に示す。ゼンマイ仕掛けの人形が正確に動く様子に、皆さん不思議な魅力を感じているようだった。また、ハイテクおもち



図1 ロボフェスタプレ大会参加の一コマ

やに慣れた子どもたちが不思議そうに眺めている姿が印象的であった。

2. 茶運び人形の動作について

「茶運び人形」は手の上に湯飲みを置くと、首を振り、すり足をしながら前進し、客が湯飲みを取ると停止する。湯飲みを置くと180° 旋回して元に戻る動きをするが、不思議な魅力がある。図2に動作を示す。茶碗を取らなければ、陸上のトラックのような軌跡をゼンマイの力がなくなるまで運動する。



図2 動作

3. 設計・製作

3.1 取り組みと製作過程

まず、人形師が復元した木の人形で動きを確認し、これと同一の動きをすることを目標として取り組んだ。スピードは100mm/sである。動力源となるゼンマイを手動で巻くことによって、図3のAの歯車が回転し、これとかみ合っている下部の歯車が回転する。ここから、足となるBの歯車へと回転運動は伝わり、人形は前進し始めることができる。人形中央部のAの歯車が駆動歯車で、その下部のかみ合った歯車が従動車となっている。モジュールは2で、原車の歯数は52枚でピッチ円直径104mm、従動車の歯数は16枚でピッチ円直径は32mmである。中心間距離は68mmで足部も含め、歯車はすべてインボリュート歯車である。Fの振り子は调速機の役割をしている。Eの回転体に振り子が当たることによって速度調整され、調整されたスピードが足部の歯車に伝わるので、適度なスピードで前進することができる。

次に人形が、180° 旋回する動きはカム装置を利用

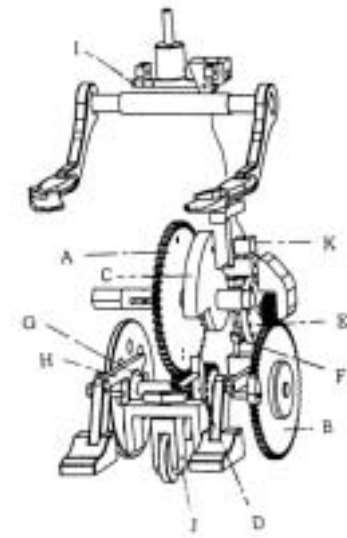


図3 メカニズム

している。Cのカムが回転運動をし、円弧の円周距離だけDの部品に接触する。それによって前輪が右側に傾くことにより旋回する動きを得る。Cは原動節で、Dは従動節となる。カムの回転運動により、Dの従動節は前後に運動する。その運動は部品Dの前方の丸棒から前車輪を囲っている部品Jに伝わる。部品Jはカムの円周距離分だけ右へ傾く時間を得ることになる。よって人形は傾き時間分だけ旋回をすることができるのである。

茶碗をのせている間だけ、人形は動作する。よって、茶碗がのっていない場合は停止の状態となるが、その仕組みは、腕部の軸と部品Kからつくられている。部品KはEの回転を停止させることができる。Eの回転が止まると人形は動くことはできない。Kは腕部の軸から糸でつってあり茶碗がのっていないとき、ストッパーの役割をする。しかし茶碗がのることによって、Kは持ち上げられストッパーが解除された状態になるので、Eは回転し人形は前進することができるのである。

人形は、いかにもすり足で前進しているかのように見える。この動作は、偏心カムと回転スライダを利用したものである。部品Gが偏心カムである。駆動歯車から伝わった回転運動は、Gのカムに伝わり、偏心円運動をする。偏心カムは、偏心の中心から円弧までの最大距離と最小距離の差だけ、上下運動をする。すり足はこれらの動きを、Hの部品をはめ合

わせることにより、うまく合成させてできた動きであると言える。

そのほかに人形は動作中、首を前後に振りながら進むが、この動きは足とうまく連動している。これは、人形の右足後方と首の下にある部品Iとを糸でつないでおり、すり足の上下運動に合わせて首は動く。よって、足が下にさがった時、顔は上向き加減になり、足が上にあがった時、顔は下向き加減になるのである。以上が、人形の主なからくりである。これらがうまく合成されて、茶運び人形は、見る人の目を楽しませる動きをするのである。機械技術書「機巧図彙」・「機械設計」(企画から装置設計)・機械加工(工程設定および分析)・組み立て調整の手順で進めた。以下に各班の取り組み状況を述べる。

3.2 1班の取り組み

(1) メカニズム

機械要素を活用し、動力機構・调速機構・方向転換機構・歯車機構・手足などの機構部をスムーズな動きをさせることに重点を置き設計した。動力源は、ゼンマイを用いた。180° 旋回する方向転換機構は、直動従節溝カムとスプリング作動ブレーキを製作し実現させた。歯車に溝がない部分があり、スプリング作動ブレーキがそこに到達すると車輪の方向に押し出され車輪が止められる。それにより180° 旋回が可能になる。旋回し終わるとスプリング作動ブレーキが溝カムに落ち、車輪から離れ再び動力が伝わる。溝カムは、マシニングセンターにより加工した。図4に方向転換機構を示す。



図4 方向転換機構



図5 逆転防止機構

ゼンマイはラチェットとラチェットツメにより逆転防止されており、その回転力は歯車を通じて車軸と動輪に伝わる。図5に逆転防止機構を示す。

(2) 結果

図6に外観を示す。原車の歯数80枚・ピッチ円直径120mm、縦動車の歯数16枚・ピッチ円直径は24mm、モジュール1.5を使用した。

高さは約410mm・質量約3.1kgである。

人形は前方には進まずその場で回転してしまった。原因はフリー車輪軸ベアリングのはめ合わせと固定方法である。その点については今後の課題として直ぐに改善を行う。考案した方向転換機構により軽量化やスペースのコンパクト化、また動力が伝達しや

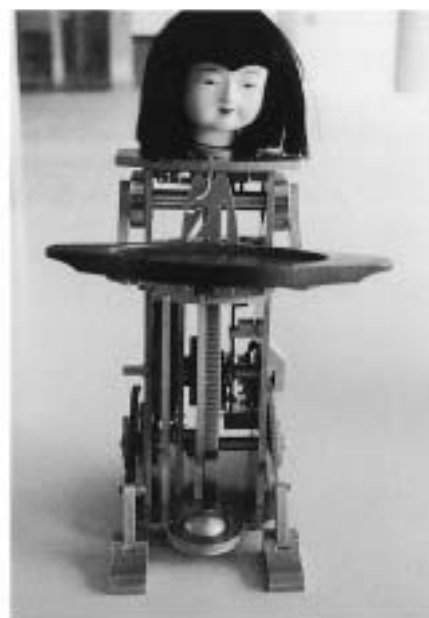


図6 外観

すくなった。

(3) 感想

茶運び人形製作を通じて設計・加工が体験でき、ものづくりの難しさや楽しさがわかった。難しかったところは、設計でどうしたらスムーズに180°旋回するかということだ。楽しかったことは組立工程で、組み上がった時の達成感は心地よかった。

当初、設計どおりにいかず、やり直しの連続であった。歯車車輪加工にあたっては、材質がプラスチックであったため回転数を落とし、切り込み量を少なくすることでうまく加工できることがわかった。ワイヤーカット放電加工において加工がうまくいかなかったり、製作がストップしたこともしばしばあった。しかし、茶運び人形を製作することによって、いろいろな工作機械を使用できるようになり、機構を自分たちで考え設計・加工することにより、実践力と技術が身に付いた。また、創意工夫力が鍛えられ発想したことを実践に移すという繰り返して完成した。まさしくチームの全知全能を傾けた作品である。胸板の21というのは21世紀を意味し、21世紀に向けた大きな前進をイメージし、お茶だけでなく幸せを運ぶ人形をいつかは作りたいという願いを込めている。

3.3 2班の取り組み

(1) 仕様

動力源はぜんまいの代わりに、一定のトルクと回転数を得られ、ギアヘッドにより速度の設定を単純化できる直流モータを使用した。モータの選定については従来の人形の動きから、0.87W以上の動力と0.98N・m以上のトルクが必要である。そこで摩擦などによる損失を考慮し動力1.4Wとし、人形の速度を

表1 人形の基本仕様

動力源	直流モータ 12V 1.4W
移動速度	100mm/s
移動距離	1.0m
必要な動き	すり足 首振り 180°ターン
大きさ	高さ400mm程度 (従来の大きさ程度)

100mm/sにするためにモータの回転数を18rpmに落とすギアヘッドを付けた。人形の基本仕様を表1に示す。

(2) メカニズム

動力の伝達および動作では、モータを使うことで、動力源の位置が変わったため、従来の歯車を使った伝導はできなくなったことから、次のような改良や工夫をした。

巻きかけ伝動方式を採用した。ベルト伝動では張力による軸への負荷が大きく、取り付け時に困難が予想されるためチェーン伝動とした。

スムーズな回転を得るためにボールベアリングを使用した。

旋回時の安定を得るため車輪を三輪から四輪に変更した。

以上の機構により、お茶を人形の腕に乗せると腕軸のスイッチが入りモータが動く。動力伝達された車輪が回り前進する。次にモータの回転数を6分の1に落としてカム軸に伝達する。カムの動きが前輪リンクに一定時間伝わり、回転方向に前輪が傾いた状態で人形が180°旋回して戻ってくる。お茶を取るとスイッチが切れて動きが止まる。以上の運動を行う。

すり足は、偏心カムと回転スライダを利用し、偏心の中心から円弧までの最大距離と最小距離の差だけ動く機構である。

首の動きは、まず首台の前部を前からばねで引張

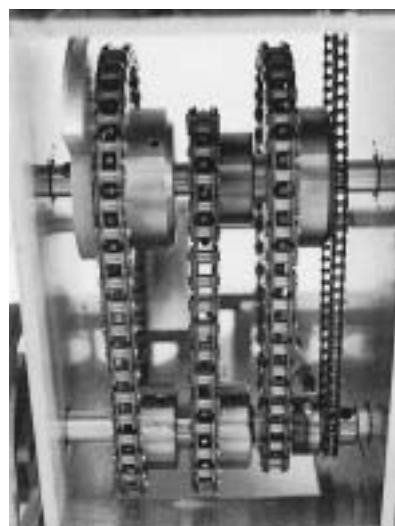


図7 軸と円筒型軸

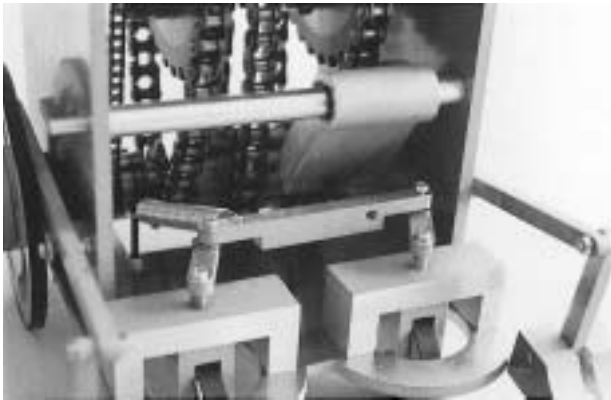


図8 前輪部のリンク機構

り、常に前の方に傾いている状態にしておく。人形走行時に連動する脚の動きをひもで首の下部にある、てこを利用した部品に伝え上下の動きをする。

減速方法は、設計の段階でモータの回転を車輪に伝え、回転数を減らしカムに回転を伝える予定だったが一度で減速させようとするとスプロケットが大きくなりすぎるため、数回に分けて減速させることにした。しかし軸を増やす空間がないので、図7に示すように棒軸にスプロケットを付けた円筒型の軸をはめ込む方法を採用した。

前輪部については、車輪を従来の3輪から4輪に変更したことで、前2輪を連動させるために図8のようなリンク機構を使った。カムが半月型の部品を押すことでリンクに接続された押し棒が押され、リンクが動いて車輪が右に傾くようにした。

(3) 製作

製作にあたり加工上の問題点として、軸の直径が小さい部分は寸法精度内の加工が困難なため寸法を変更した。それにより軸に関連したほかの部品にも寸法の変更が必要となった。またワイヤーカット放電加工機を使った部品が多かったが寸法公差内にできず、補正などに時間が必要であった。

汎用加工では、図9に示すような細軸の加工のように、寸法公差0.02mm程度と厳しく、材質がアルミであるために、反転しての加工がしにくい等、難しい条件の部品が数点あった。このような部品の加工の際には、まず、加工の工程を考え、問題点を検討したうえで加工した。また、粗削りで0.5mm程度寸法を残し、仕上げでは、零設定に気を付け寸法を確

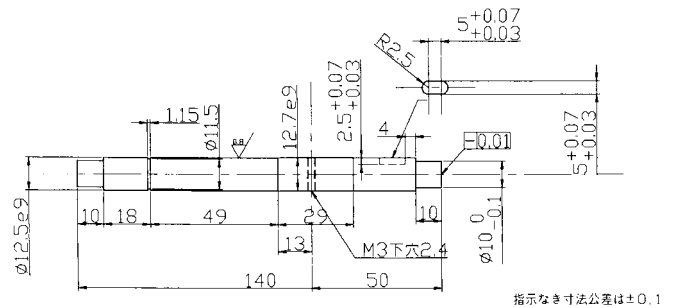


図9 車輪軸

認しながら2, 3回に分けて削ることで公差内の製品を作ることができた。0.01mm台の公差に仕上げるのがここまでも難しいとは思わなかった。これらの加工を通じて、機械の目盛りの使い方の大事さや、材質や加工工程に対応した工具の種類の選択、すくい角、チップブレーカーの形状等を変えることで切削しやすい、しにくいの変化があり、切り込み、送り、切削速度の切削条件の変化による切削の状態の変動がよくわかった。

(4) 結果

完成品を図10に示す(高さ420mm幅190mm質量5.8kg)。人形を組み立てた直後は回転時に、振動して止まる、180°の旋回ができない等の問題が発生した。原因は内輪差と考えられたため、車輪(内輪側)と軸の固定をネジで完全に固定するものから、カバーで横から締め付ける方法に変えた。その結果スムーズに回転するようになった。



図10 完成品

また直進中には、すり足が地面に引っかかり停止する場合も発生した。原因は偏心カムと回転スライダのはめ合いが緩かったので脚が傾いたと思われる。対策として、図8のように、ネジで作った台に脚を載せナットとワッシャーで支えた。

上記の問題点を解消した結果、予定したスムーズな動きをした。

(5) 感想

茶運び人形的设计製作を通じて、「ものづくり」が非常に難しく時間がかかることがわかった。製作の初めは、工程や準備が不十分で多くの時間が必要であったが、全部の部品が寸法通りに加工でき、それらを組み上げた時は達成感があった。しかし、設計・加工や組立て工程では、手の長さが足りなかったり、足が思うとおりに動かなかったことなど、組み立ててみると手直し箇所が多く、イメージの食い違うことが多かった。

人形を作る過程において、いろいろな工作機械を使用することができて自分達にはいい経験になり、技術も少しながらも身に付いたと思う。1つの物を完成させる大変さがわかったように思う。

また、寸法やデザインの変更の際、変更前の図面と変更後の図面がバラバラになり混乱することがあったため、整理整頓や変更後の図面だとわかるような目印などの必要性を感じた。

3.4 3班の取り組み

(1) 設計・製作

オリジナルの制御機構はぜんまい仕掛けであったが、われわれはマイコンを搭載し、モータ、センサをコントロールすることとした。以下に各部の変更点を示す。

本体外観

本体外観を図11に示す。寸法は、縦220mm、横135mm、高さ385mm、本体質量2.7kg(バッテリー2本含む)である。

本体内部

オリジナルでは歯車などのぜんまい機構が収納されていたが、我々が製作したものはモータと制御回路を収納している。

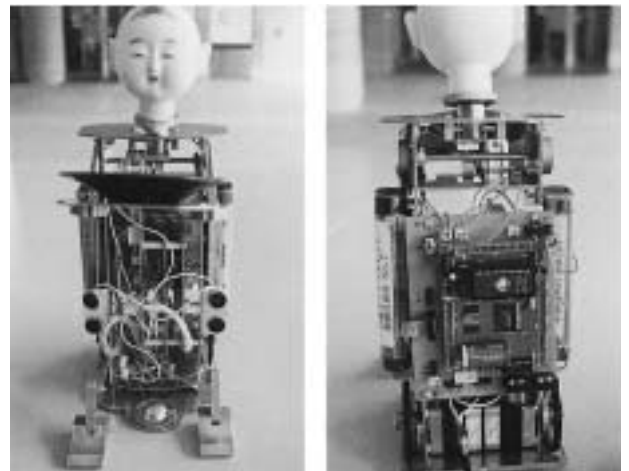


図11 本体外観

その他

車輪部にゴムを張り付け車輪が空回りしないように配慮した。

(2) メカニズム

駆動部

本体の位置決め、速度制御が簡単なのでステッピングモータを2つ使用し、それに直接、車輪を取り付ける。前輪にフリーベアリングを設けて、ロボットを安定させた。

脚部

ステッピングモータに3節リンク機構を取り付け、ステッピングモータの動力を脚部に伝えることによりすり足の動きを再現した。

3節リンク機構部は、ステッピングモータの回転運動を大きくするリンク部、その動きを直線運動に変換させるクランク部からなる。脚部を図12に示す。

腕部

両腕をシャフトで連結し、シャフトには、マイクロスイッチをONするためのツメを付けた。また、本体側面板と腕を引きバネでつなぎ、湯飲みを取った

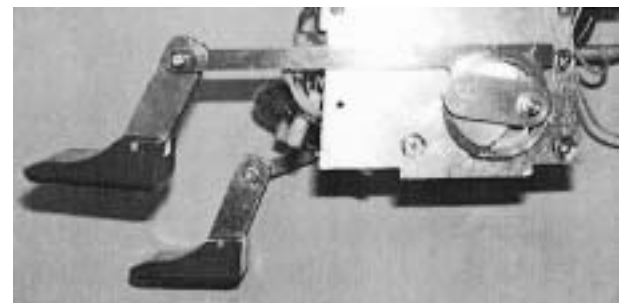


図12 脚部の機構



図13 頭部の機構

ときにひとりで腕が上がるようにした。

頭部

DCモータの回転運動を伝達機構（カムとてこ）を使い、頭部の往復運動に変換し、前後に首を振る動きを再現した。頭部の動きは本体の動作速度に合わせて可変できるようにした。頭部の機構を図13に示す。

(3) エレクトロニクス

センサ部

対象物検出用に超音波センサ2つを本体側面板に

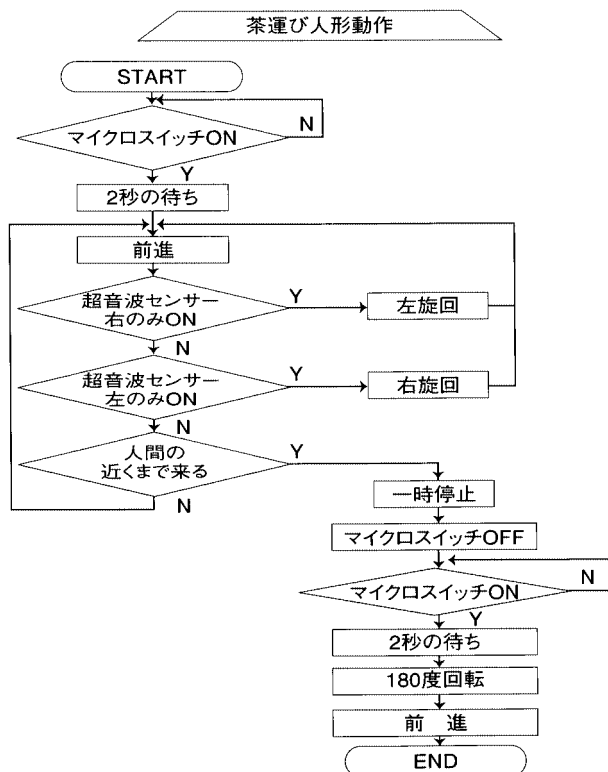


図14 フローチャート

取り付けした。検出距離は300mm～1000mmである。

腕可動域の下死点の位置にマイクロスイッチを取り付けた。これにより、湯飲みが乗せられたときにスイッチがONされ動作が開始される。

制御部

- ・頭部用DCモータ駆動回路×1
- ・ステッピングモータ駆動回路×1
- ・超音波センサ送受信回路×2
- ・マイコンボード×1

人形の動作のフローチャートを図14に示す。

(4) 結果

基本走行について

すり足の動きはほぼ再現することができた。ただし、回転するとき、足が床に引っかかりスムーズに回れなかった。これはヤスリで足の裏を面取りすることで解決できた。

対象物の検出

超音波センサの調整が難しく、現在調整中である。

首の運動

頭部が重すぎて後ろに大きく傾いたまま止まってしまう機構的な問題が発生した。これは首廻りにストッパーを取り付け、往復運動の幅を狭めることで解決するものと考えられる。

基本走行はできるが、プログラムが不完全なため、一連の行動が現在は再現できていない。われわれは超音波センサで対象物を検出するという構想をえがいていたが調整が難しく調整中である。

最初の設計で十分な設計をしたつもりだったが、製作・組み立てをする段階で多くの矛盾が発生した。特に車輪などの機構のかみ合わせが悪く、何度もヤスリで面取りをしたりして苦労した。



図15 はっぴを着た人形

(5) 感想

ホンダASIMO・ソニーSDR-3Xのように、スリムでコンパクトな愛敬のあるロボット作りを目指してきた。ボディの板を薄くし軽量化を図り、制御回路を本体に収納する際に、回路を背中に背負わせることで、見栄えがよくなり、取り外しも簡単になった。さらにだんじり祭りのはっぴを着せることで、華やかさをアピールした。はっぴを着せた3体の外観を図15に示す。試行錯誤の末、オリジナルのアルミ板の茶運び人形に比べて、軽量コンパクトで、メンテナンスが容易な21世紀にふさわしいロボットが完成した。

4. おわりに

ものづくりプロセスにおいて、仕様期には、

- ・日程計画の大切さが理解できた。
- ・必要な仕様を満たすため、情報収集の大切さを理解できた。機構部の難しさに討議を重ねた。

設計期では、

- ・目的に合った図面の描き方の大切さを理解できた。
- ・仕様を満たす機構・機能・制御回路にする難しさを体験できた。

製作期では、

- ・部品の工程・加工分析により順調に作業が進んだ。
- ・図面の不具合を見つけた場合、フィードバックの難しさを体験できた。

組立・調整期では、

- ・組立分析により、組立方法の基準化ができノウハウを蓄積できた。
- ・調整期の時間配分の重要性を体験することができた。

学生たちはポリテックビジョン2001に参加し、人形の説明でくたくたになってしまったようである。また、技能・技術をきっちりと理解してくれる人との話は楽しく参考にし相互研鑽ができたようである。周辺にもものづくりを理解してくれる人がいないと若い芽は育たない。

今年の夏には「ロボット・人間」科学技術未来の祭典をテーマにしたロボット創造国際競技大会に参

加し、たくさんの方々と交流を図りたいと思う。細川半蔵頼直生誕の地・高知県南国市の人達のものを作る技術と心を伝え広めようとする活動(からくり半蔵研究同志会<http://www.inforiyoma.or.jp/karakuri>)、ポリテクカレッジ高知の先輩たちの三次元CAD/CAM/CAEシステム利用による茶運び人形製作活動などをまとめて、ロボットのルーツ・先人たちのメッセージとして細川半蔵の思いや知恵の数々を紹介する。また、英国政府の国際交流文化機関であるブリティッシュ・カウンシルから依頼を受け、英国科学実験講座の日本で実施されるレクチャー(<http://event.yomiuri.co.jp/2001/S0058/home.htm>)において、この講座の幕開けとして人形作成に取り組んだエピソードなどを紹介し科学のおもしろさを会場(富山国際会議場・早稲田大学国際会議場)の子供たちに伝えることになった。

今の若者たちの延長に将来がある。「からくり」摩訶不思議なひびきを持つ言葉である。辞書には「あやつる」「しかけ」「ぜんまい仕掛けであやつる人形」などと説明されている。日本においては、「芸能からくり」「見せ物からくり」「時計からくり」として発達してきた。著名なからくり師として、平賀源内・田中久重・細川半蔵・大野弁吉・豊田佐吉などの各氏がおられる。田中久重氏は「東芝」の前身「芝浦製作所」の創始者であり、豊田佐吉氏は「トヨタ自動車」の創始者でもある。どうぞ、「ものづくり」の大切さを一人一人が身近なところから伝えていっていただきたい。そして、だれもが期待したあこがれを思い出していただきたい。

からくり人形の製作に際しているいろなご指導・ご協力をいただいた高知県南国市立教育研究所、からくり同志会の皆さま、半蔵研究者の田中瀧治氏、鈴木一義氏(国立科学博物館)、人形師の半屋春光氏、大阪府商工部ほか多くの方々に深くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 熊谷信昭：<http://www.robokansai.gr.jp/>、ロボフェスタ関西2001。
- 2) 亀山寛司：職業能力開発報文誌，Vol.10No.2，1998。