

ペーパークラフトによるからくりおもちゃの製作

— 動力伝達部品を取り替えて動きを学習できる春駒人形づくり —

大橋 和正 ・ 野本 悠*

生活の中でのおもちゃの存在は、心を豊かにするものがある。江戸期のころのからくり人形に代表されるように、メカニズムを創造することが、おもちゃ製作には求められることになる。本研究では、身近な材料である紙を用いて、からくり人形の製作を考え、メカニズムを取り替えることによって、人形の動きの変化を学習することができる教材を提案する。具体的には、からくり人形としては、構造の簡単な春駒人形のメカニズムを基本形にして、ペーパークラフトによる動力伝達部品の取り替えて、春駒人形の動きが変わることを体験できる学習教材を開発する。

Keywords : ペーパークラフト, からくりおもちゃ, 春駒人形, 学習教材

1. 緒言

江戸期のころより、からくり人形の存在は、生活に潤いをもたらしてきた。ぜんまいという一つの動力源から多くの動きをつくり出す創造力は実に独創的である。からくり人形の動くしくみは、いくつかの機械要素の組み合わせによるものである^[1-7]。とくに、春駒人形は、玩具の馬にまたがって遊んでいる子どもを表現したおもちゃであり、メカニズムも単純であるため、教材としての活用が期待できる。しかしながら、人形づくりには、各種材料を用いての複雑な製作工程や高度なスキル、そして、多くの所要時間が必要となり、教材としての利用^[8-11]には工夫を要する。

そこで本研究は、春駒人形の製作において、身近な材料である紙を利用することを考える。そして、実際の機械要素を紙で正確に再現しながら製作し、また機械要素も交換可能な構造にすることによって、各種動きのメカニズムも学習できる教材を目指すものである。

2. からくりおもちゃとしての春駒人形

2.1 春駒人形のしくみ

江戸期に製作された春駒人形は、動きも単純で、機械要素を学ぶ上で適切な玩具の一つであるといえる。この春駒人形を教材として活用するためには、機械要素の入れ替えが容易になるように、春駒人形の構造を、まず工夫する必要がある。春駒人形の構造的な基本形は、人形移動のための車輪の回転運動を玩具馬の頭部につながる本体のクランク軸へ伝達し、またその軸から人形の頭部の動きを創る肩部の軸へ動きを伝える構造とする。このような構造の動力伝達箇所には機械要素の適用を考え、しかも交換可能な構造とする。

2.2 本研究で提案する教材としての春駒人形の特徴

春駒人形の動きの基本となる機械要素を取り替えることで動きの学習が可能となる。このことは、生徒が創りたい動きを設計するときの手助けとなる教具になると考える。しかも、紙という手軽に扱える材料であり、机上で試行錯誤の設計活動が可能である。また、歯車などの実際の機械要素を紙を使って理

岡山大学大学院教育学研究科 生活・健康スポーツ学系 技術教育講座 700-8530 岡山市北区津島中3-1-1

* コンピューターシステム株式会社 790-0001 松山市一番町3-2-11

Manufacturing of Mechanical Toy Robot by Paper Craft -Toy Robot 'Harukoma' to be easily changed the parts of mechanism-

Kazumasa OHASHI and Haruka NOMOTO

Technology Education, Graduate School of Education, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama 700-8530

* Computer System Company, 3-2-11, Ichibancho, Matsuyama, 790-0001

論通りに創る作業も、実際の機械要素設計につながる活動であり、学習効果は高いものとなる。さらに、できあがった春駒人形に色をつけたり、紙を貼って衣装を施すことも可能であり、全体として、ものづくりの面白さ、興味深さが味わえ、達成感に浸ることができる教材となる。

3. 春駒人形の製作

3.1 機構と機械要素の設計

春駒人形の構造的な基本形を一つのフレームワークとし、車輪から本体のクランク軸へ、そのクランク軸から人形肩部の軸へ、肩部の軸から人形頭部の動きへと動力伝達を考える。動力伝達の機械要素を取り替え可能な構造とし、それらの動きの学習を試みる。

車軸から本体のクランク軸への動力伝達構造としては、歯車、あるいはベルト・ベルト車を考える。クランク軸から肩部の軸への動力伝達要素としては、歯車あるいはベルト・ベルト車を、肩部から人形頭部の動きはカムやクランクで動きの制御を行う。

図1に製作した春駒人形の全体図を示す。車輪は移動時にすべらないようにゴムを貼る。車軸からク

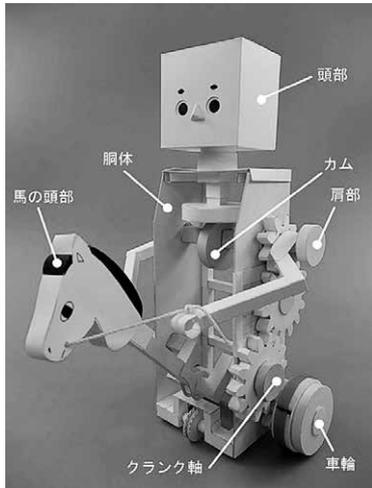


図1 全体図

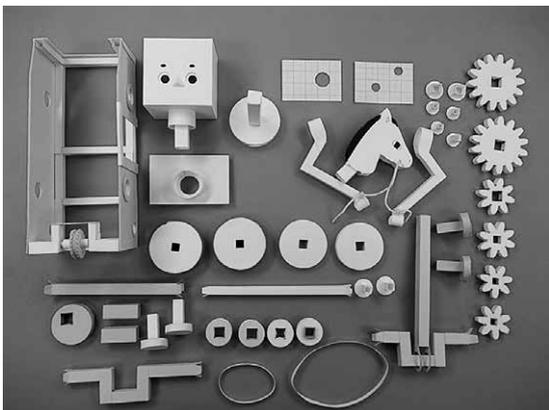


図2 部品一覧

ランク軸へ、クランク軸から肩の軸への動力伝達は歯車あるいはベルト・ベルト車を選択する。頭部の動きは、肩の軸に取り付けたカムによって、上下運動することで、目の動きにも連動させている。図2は春駒人形全体の部品の一覧である。歯車は、実際の機械製品に使われているインポリュート歯車をモデルに、ペーパークラフトによる手づくりの製品とする。

図3は、春駒人形の動きに関与する機械要素についての組み立て手順の説明である。車軸とクランク軸間では、歯車とベルト・ベルト車の交換を可能にし、動きの特徴を観察する。クランク軸と肩部の軸の動力伝達は軸間距離があるため、歯車列での動力伝達とベルト・ベルト車での動力伝達を選択できるよう配慮する。肩部の軸での機械要素の交換は、カムとクランクの選択とし、動きを観察する。

表1は、春駒人形で用いる機械要素の組み合わせのパターンを表形式でまとめたものである。表において、機械要素として動力伝達に歯車を用いた場合には、動力伝達の仕組みを理解しておく必要がある。歯車の特徴としては、歯をもつため動力は確実に伝えることができ、軸間距離が短い場合にはとくに有効である。また、2枚の歯車での動力伝達は逆回転

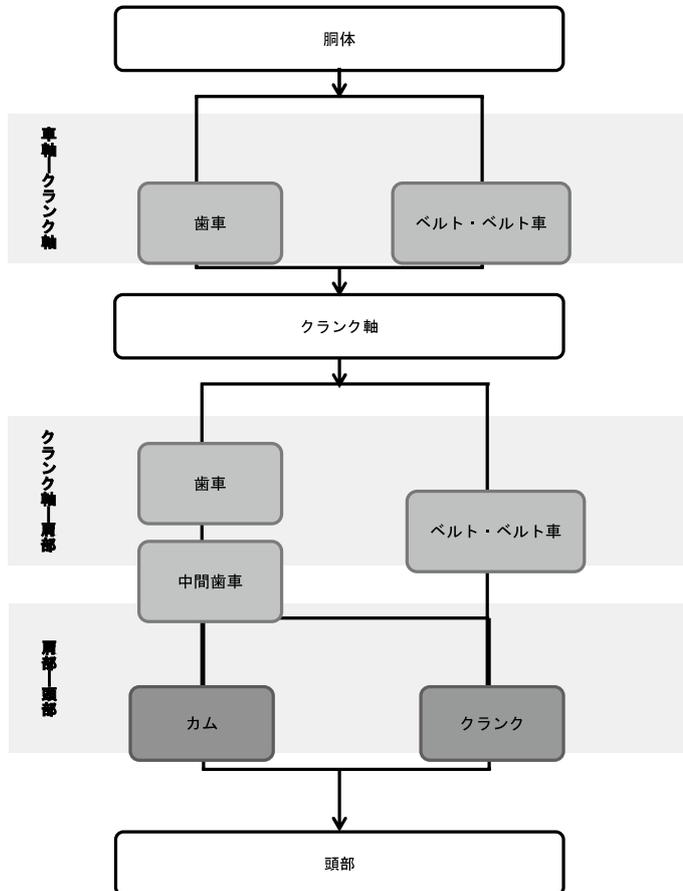


図3 春駒人形における機械要素の組み立て手順

で伝わるため、正回転での動力伝達を望む場合には、中間歯車(遊び歯車)を挿入することになる。また、創り出したい回転数で歯車比(ギヤ比)の設定や、中間歯車の設置領域の確保など人形本体との位置関係を意思決定する必要がある。

ベルト・ベルト車においては、軸間距離が大きい場合の動力伝達に有利である。同方向に回転を伝達

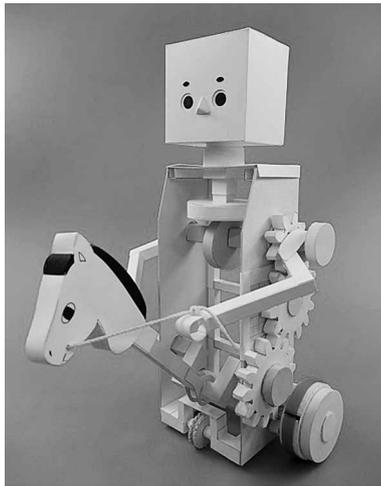
する場合にはベルトを平行掛けに、逆回転に伝達する場合にはたすき掛けに掛け替えることによって、容易に動きの方向を変えることができる。また、原動プーリと従動プーリの直径の比率で速度伝達比を変えることができる。

次に示す図4は、表1の①から⑧のモデルを示したものである。

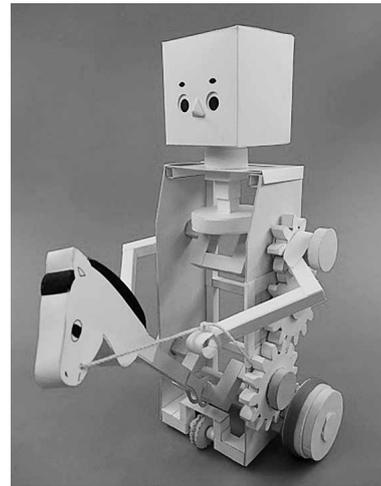
表1 機構と機械要素の組み合わせ方

| | 車軸と本体クランク軸 | 人形の肩部軸と本体クランク軸 | 人形の頭部と人形の肩部軸 |
|---|------------|----------------|--------------|
| ① | 歯車 | 歯車 | カム |
| ② | 歯車 | 歯車 | クランク |
| ③ | 歯車 | ベルト・ベルト車 | カム |
| ④ | 歯車 | ベルト・ベルト車 | クランク |
| ⑤ | ベルト・ベルト車 | 歯車 | カム |
| ⑥ | ベルト・ベルト車 | 歯車 | クランク |
| ⑦ | ベルト・ベルト車 | ベルト・ベルト車 | カム |
| ⑧ | ベルト・ベルト車 | ベルト・ベルト車 | クランク |

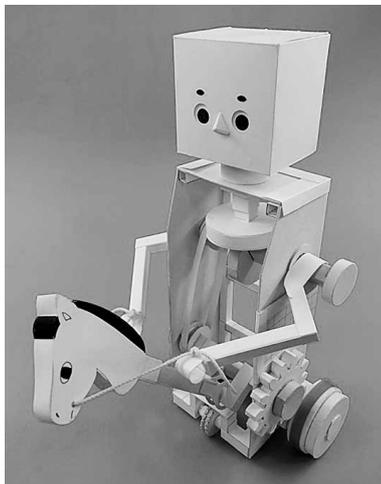
モデル①：歯車—歯車—カム



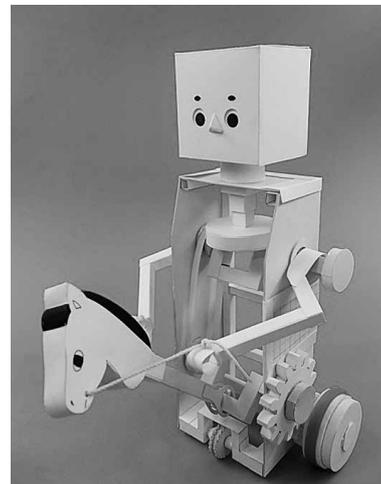
モデル②：歯車—歯車—クランク



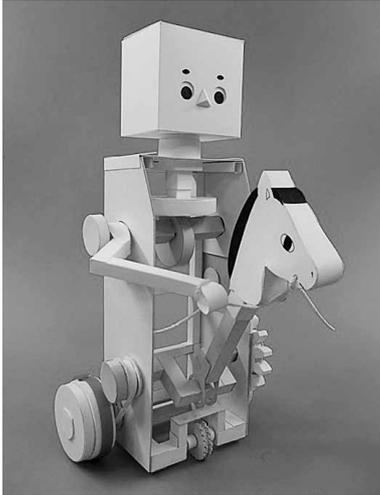
モデル③：歯車—ベルト・ベルト車—カム



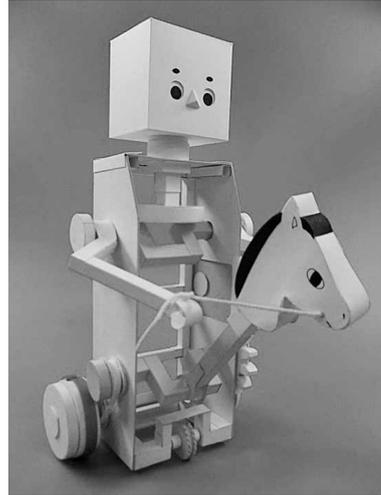
モデル④：歯車—ベルト・ベルト車—クランク



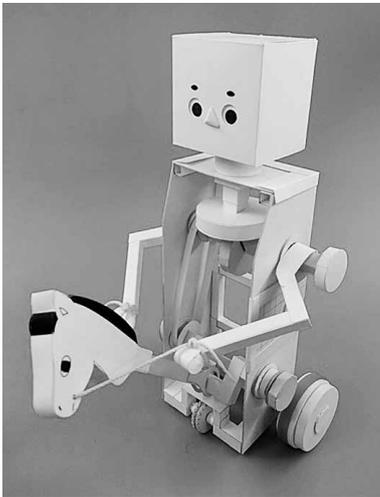
モデル⑤：ベルト・ベルト車—歯車—カム



モデル⑥：ベルト・ベルト車—歯車—クランク



モデル⑦：ベルト・ベルト車—ベルト・ベルト車—カム



モデル⑧：ベルト・ベルト車—ベルト・ベルト車—クランク

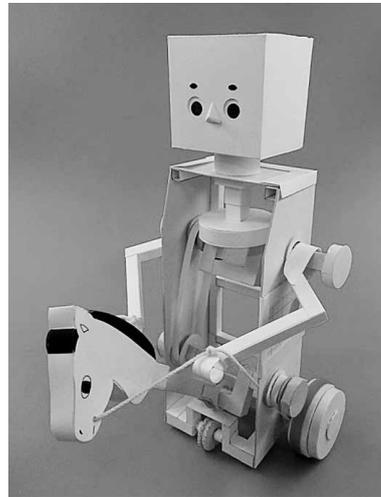


図4 8つのモデルの外観図

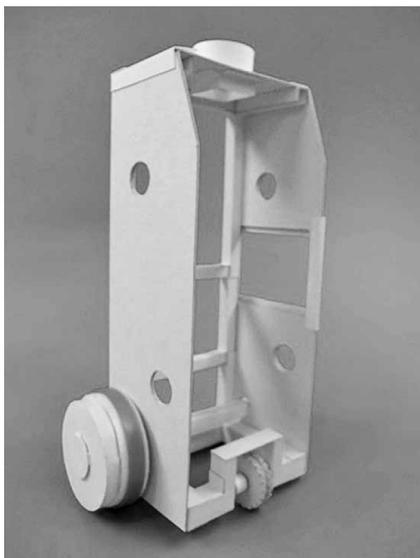


図5 胴体部に補強材，留め具，右車輪を取り付けたところ

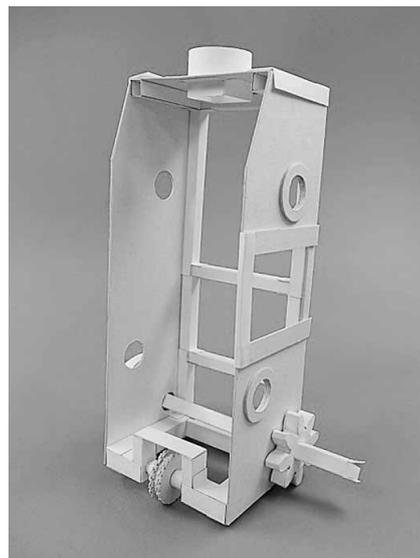


図6 左車輪側の車軸に歯数8の歯車を通したところ

3.2 人形本体の構造設計

人形本体の構造設計を考える。春駒人形の車軸、クランク軸、肩部のクランク軸は、それぞれ、本体の両側面で支えられた両端支持ばりとし、強度を保持する。図5から図8は歯車伝動の車軸の組み立てを表したものである。図9は、玩具馬の頭部に連結したクランク軸の組み立てである。図10は本体クランク軸から肩部の軸への動力伝達に歯車を取り付けているところである。軸間距離が大であるため中間

歯車を導入する。図11と図12は、肩部の軸にカムを適用する。図13から図16は、車軸から本体クランク軸への動力伝達をベルト・ベルト車に取り替えているところである。図17は、本体クランク軸から肩部の軸への動力伝達を歯車からベルト・ベルト車に取り替えるところである。図18から図20は、カムの動きが伝わるよう人形頭部を組み立てているところである。

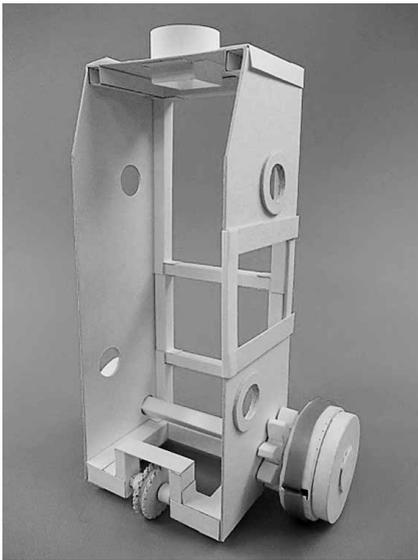


図7 スペース、左車輪、補強材、留め具の取り付け

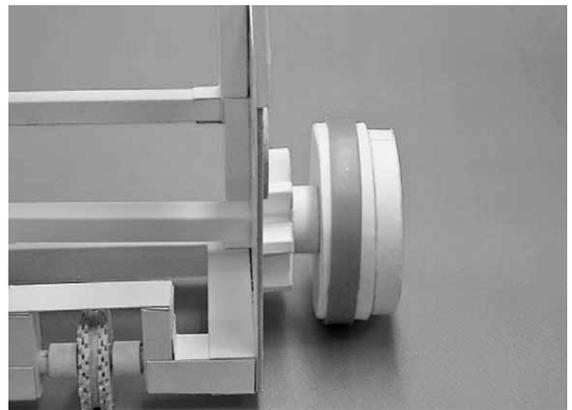


図8 車軸左から歯車、スペース、左車輪、補強材の順

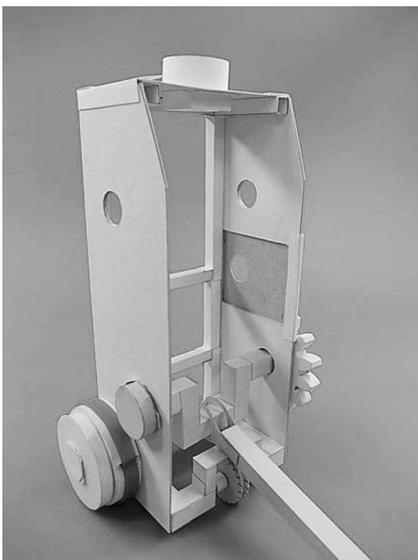


図9-1 クランク軸、歯数14枚の歯車、留め具の取り付け

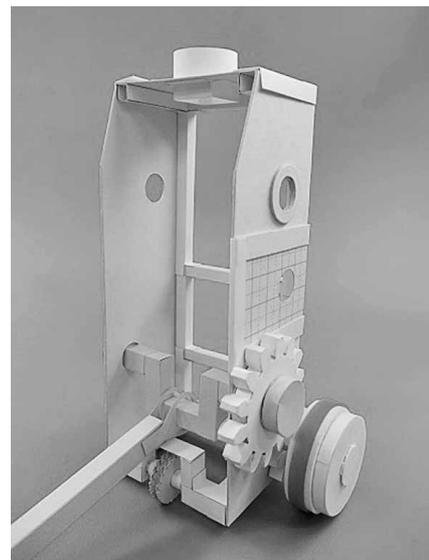


図9-2 右側面からの図

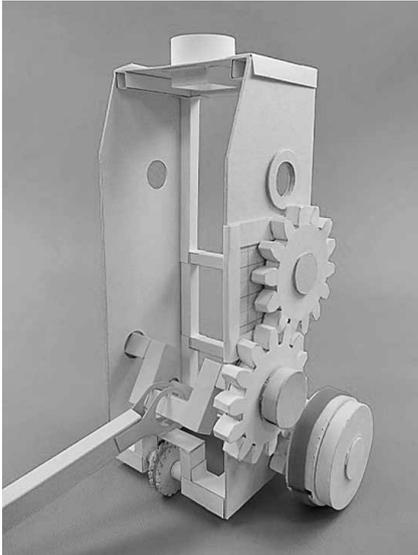


図10 歯数14の中間歯車, 留め具の取り付け

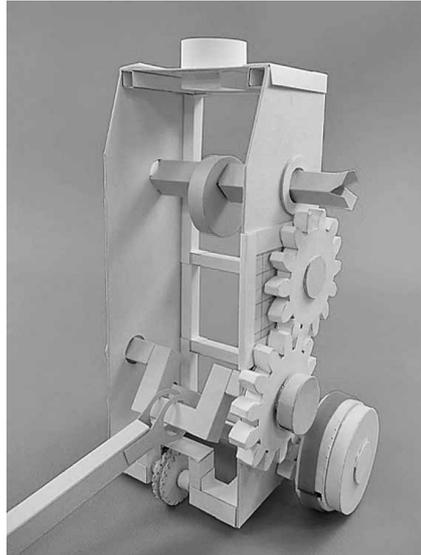


図11 カム, カム軸の取り付け

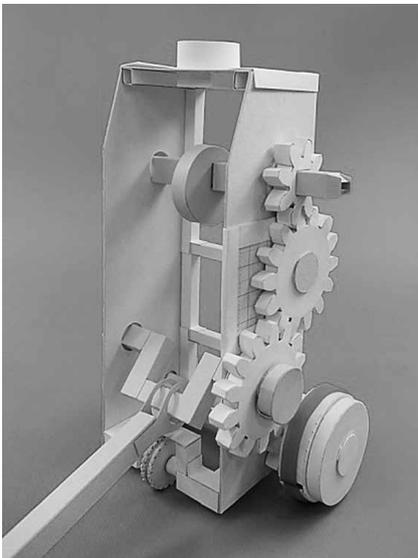


図12 カム軸に歯車を通す (歯車による動力伝達モデルの組立終了, ①歯車—歯車—カム)

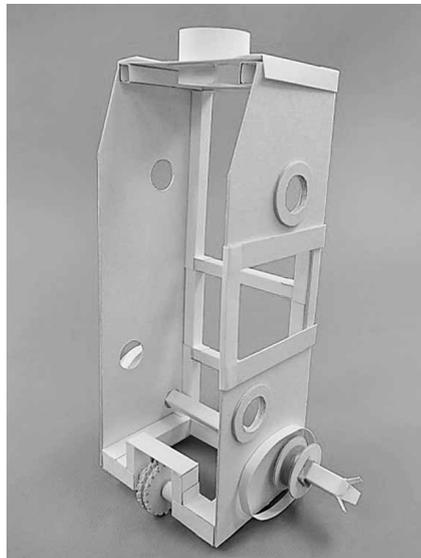


図13 ベルト・ベルト車の取り付け



図14 ベルト・ベルト車を車輪, 補強材に取り付ける



図15 ベルト・ベルト車をクランク軸に取り付け, 胴体部に通す

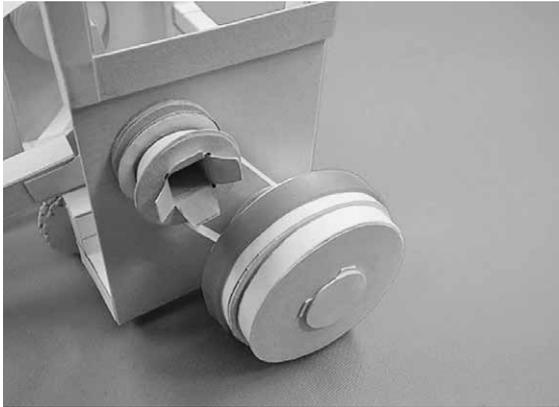


図16 クランク軸と車輪をつなぐベルトを通す

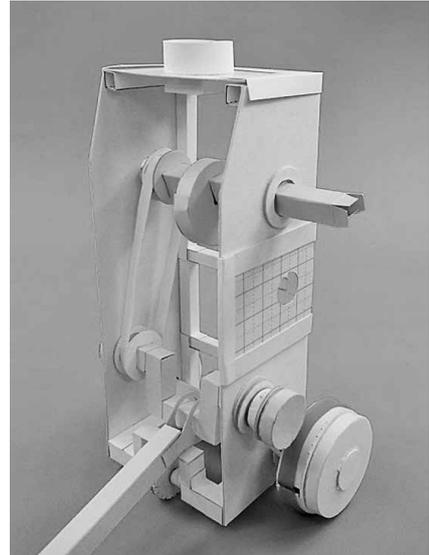


図17 クランク軸とカム軸をベルトでつなぐ (⑦
ベルト・ベルト車—ベルト・ベルト車—カム)

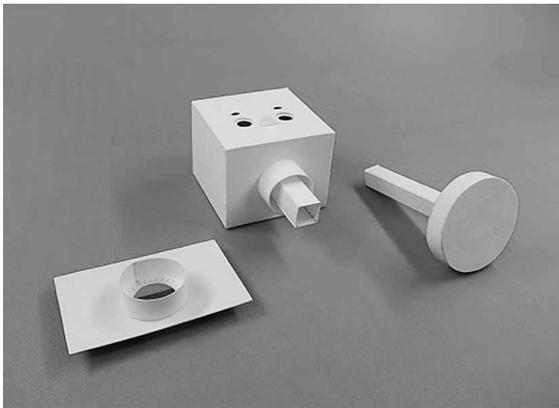


図18-1 人形頭部の組立

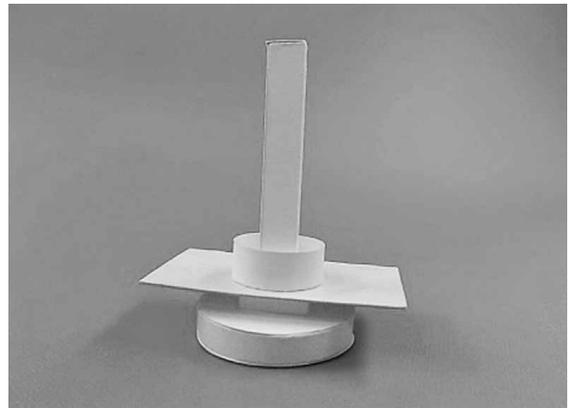


図18-2 頭部のベース

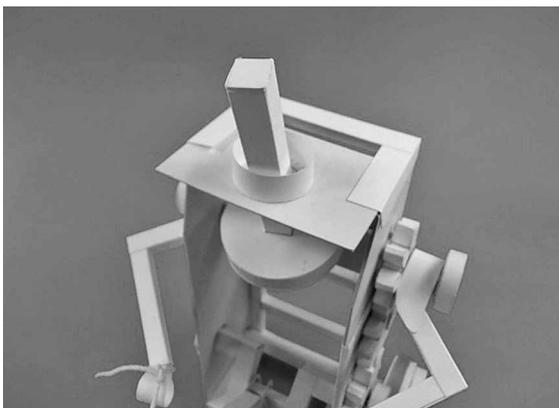


図19 頭部ベースをスライドさせて挿入

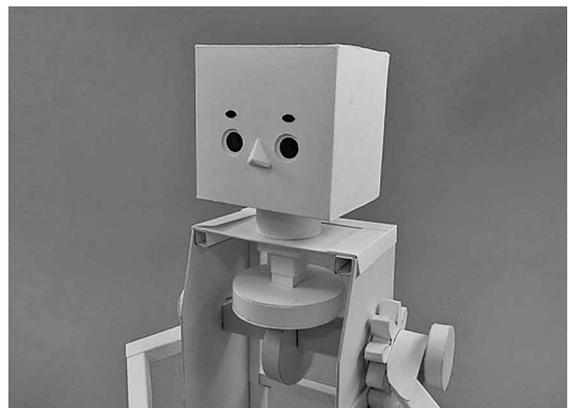


図20 人形に頭部を取り付け組立終了

4. 考察

機械要素の製作と機械要素を取り替えることによって生じる春駒人形の動きの違いについて考察する。

(1) 車軸と本体クランク軸

軸間距離が短い場合の動力伝達である。これを歯車とベルト・ベルト車の2種類を製作し、動作の比較を行った。歯車の場合は、2枚のインボリュート歯車の展開図を描く。歯数を、それぞれ Z_1 、 Z_2 、モジュールを m とすると、歯車のピッチ円直径は、そ

れぞれ $d_1=mZ_1$, $d_2=mZ_2$ となる。歯車間の中心距離は $m(Z_1+Z_2)/2$ であるため、人形本体側板に歯車設置のための領域を確保する必要がある。歯車は2枚のため本体クランク軸の回転方向は車軸と逆回転になることも注意を要する。一方、ベルト・ベルト車の場合、それぞれのプーリの直径を d_1 , d_2 , 回転速度を n_1 , n_2 , プーリの軸間距離を a , ベルトの長さを L とすると、

$$L=2a+\pi(d_1+d_2)/2+(d_2-d_1)^2/4a$$

であり、速度伝達比 i は、

$$i=n_2/n_1=d_1/d_2$$

となる。プーリ設置領域の確保と所定長さのベルトが必要になる。

(2) 本体クランク軸と人形の肩部軸

軸間距離が長い場合の動力伝達である。このとき、歯車を用いる場合とベルト・ベルト車を用いる場合について動きの比較を考察した。

軸間距離が長い場合に歯車を適用するには、歯車を列状に並べて用いる。これを歯車列という。今、3つの歯車を直線的に並べて動力伝達を行う歯車列を考える。それぞれの歯車の歯数を Z_1 , Z_2 , Z_3 , 回転速度を n_1 , n_2 , n_3 とすると、速度伝達比 i は、

$$i=n_1/n_3=Z_3/Z_1$$

となり、中間の歯車には依存しないことがわかる。結果として、同じ方向の回転を伝えるためには、歯車を奇数枚使用する必要があるが、中間歯車の種類については制約はないことに気づく。

(3) 人形の肩部軸と人形の頭部

人形の肩部軸の回転運動を人形頭部に伝える場合、カム利用とクランク利用に分けて、動きの違いを観察した。

肩部の回転軸と人形頭部の動きをカムによって運動伝達する場合、カム形状を変えることによって頭部の上下運動を自由に变化させることが可能になる。カムの代わりにクランクを用いれば人形の頭部の上下運動の制御は可能であるが、カムのような自由な変化は望めない。

5. 結言

本研究では、ペーパークラフトによるからくりおもちゃの製作に関する研究を行った。具体的には、動力伝達部品を取り替えて動きを学習できる春駒人

形づくりについて考察し、以下のようにまとめられる。

- (1) からくりおもちゃの動きの学習が容易にできるよう、ペーパークラフトによる春駒人形の学習教材を開発した。
- (2) 機械のメカニズムの取り替えで春駒人形の動きを容易に変えることができるよう構造設計を行った。
- (3) 提案した春駒人形の学習教材を活用することでメカニズムの動きの違いが観察でき、有益な製作につながるペーパークラフトのモデル学習となった。

文 献

- [1] 立川昭二, からくり, 法政大学出版, pp.297-370, 1980.
- [2] 立川昭二, '心ある機械'を復元して, 科学朝日, pp.83-85, 1969.
- [3] 立川昭二, 「機巧図彙」の周辺——明治前機械技術史の一側面, 科学史研究, pp.113-123, 1967.
- [4] 加藤一郎, 自動人形西洋事情, 日本機械学会誌, Vol.82, No.732, pp.1203-1207, 1979.
- [5] 立川昭二, 日本にあった自動機械「からくり」, 科学, Vol.36, No.7, pp.376-378, 1966.
- [6] 吉田光邦, ものと人間の文化史「機械」, 法政大学出版局, pp.161-195, 1975.
- [7] 大橋和正, 暮らしに役立つ技術と工学の基礎知識, 共立出版, pp.1-23 (第1章), 2008.
- [8] 大橋和正, “ペーパークラフトによる動くおもちゃの製作実践”, 岡山大学教育学部研究集録, Vol.145, pp.77-84, 2010.
- [9] 大橋和正, “対戦型ロボットも機構設計に関する授業実践”, 岡山大学教育学部研究集録, Vol.129, pp.97-102, 2005.
- [10] 大橋和正, 妹尾一道, “ロボットコンテストを利用したものづくり教育に関する研究”, 岡山大学教育学部研究集録, Vol.144, pp.7-12, 2010.
- [11] 大橋和正, “小学校におけるものづくり教育の実践”, 岡山大学大学院教育学研究科研究集録, Vol.153, pp.89-95, 2013.